IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

88. ÉVF. ★ 1. SZÁM ★ 1984. JANUÁR—FEBRUÁR

TARTALOM

Wirth Endre: Bevezető megjegyzések 1

Wirth Endre — Markó Tamás — Sövér Ferenc: A jégesőelhárítás értékelése: fizikai hatások és gazdasági következmények 3

Zoltán Csaba — Geresdi István: Zivatarfelhők egydimenziós stacionárius jet modellje (angol nyelven) 21

Székely Csaba — Zoltán Csaba: A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei . 32

Molnár Károly — Csabai Dolores — St. Stoyanov: Jégesők előrejelezhetősége zivatarfelhő-modell segítségével 46

Irodalom 52

Krónika 53

CONTENTS

Wirth, E.: Introductory remarks 1

Wirth, E. — Markó, T. — Sövér, F.: The evaluation of hail suppression: physical effects and economical consequences 3

Zoltán, Cs. — Geresdi, I.: A one-dimensional steady-state jet model for thunderclouds (in English) 21

Székely, Cs. — Zoltán, Cs.: The hailpad possibilities of its usefulness 32

Molnár, K. — Csabai, D. — Stoyanov St.: Possibility of hail forecasting by applying a thunderstorm model 46

Literature 52

Chronicle 53

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 88. ★ NO. 1. ★ JAN.—FEB. 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)
GEORGII, 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, (Beográd)
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)
WHELPDALE, 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 Osztályá n 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

Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január—február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 1. No. 1 Jan.—Feb. 1684 Budapest

Bevezető megjegyzések

Az Időjárás jelen számában a zivatarfelhő modellezésével, a jégesők modell segítségével történő előrejelzésével, a zivatarcellák mozgásával, a jégszemek fizikai sajátosságainak „indikátorral" történő mérésével és a védekezés gazdasági hatékonyságának vizsgálatával foglalkozunk. A következő számokban kívánjuk publikálni a jégesők klimatológiájára, a jégkárok szerkezetére, a védekezés döntési modelljére, valamint a jégeső elleni védekezés előzményeire és perspektíváira vonatkozó dolgozatokat.

A felhőfizikai kutatások eredményei alapján ma már sikerrel kísérelhetjük meg a felhők módosítását, a csapadék mennyiségének megnövelése, illetve a jégeső okozta károk csökkentése céljából. Mivel a jégesők Magyarországon igen komoly károkat okoznak, néhány évvel ezelőtt az Országos Meteorológiai Szolgálat megszervezte a jégeső elleni védekezést. A védekezést szovjet módszerrel, rakétákkal a felhőbe juttatott mesterséges jégmagvak segítésével végezzük.

A jégeső elleni első rakéta 1976. július 23-án röppent fel Magyarországon a Baranya megyei Tenkes hegyről: Ezzel a meteorológiai szolgáltatások új korszaka kezdődött el Magyarországon. E szolgáltatást az Állami Biztosító finanszírozza; ezért, és a munka értékeléséhez szükséges adatok rendelkezésre bocsátásáért ezúton is köszönetünket fejezzük ki.

1979-ben a Minisztertanács — értékelve a hároméves kísérleti időszakot — határozott a védekezés megerősítéséről és kiterjesztéséről. (Ez utóbbi feladat megoldásán az OMSZ jelenleg is fáradozik.) A döntés helyességét ma már hét esztendő káradatainak vizsgálata alapján támasztjuk alá. Tevékenységünk azonban nem korlátozódik a védekezésből származó gazdasági megtakarítás és a hatékonyság kimutatására. A főleg pályakezdő fiatalokból álló szakembergárda ui. az operatív munkában számos megoldatlan kérdéssel találkozott, amelyekre mintegy három évvel ezelőtt kezdte intenzívebben keresni a választ.

Vizsgálataink végcélja gyakorlati: a beavatkozások sikeresebb végrehajtása. Ennek eléréséhez sokszor olyan kutatómunkát kell folytatni, ami egyesek szemében fölöslegesnek tűnhet. Mi szükségesnek ítéljük ezeket, így is hangsúlyozva, hogy ismereteink jelenlegi szintjén — amely a jégesőképződés folyamatainak bonyolultságához képest igen alacsony — a kutatások elhanyagolásának következményei beláthatatlanok.

Wirth Endre
az Alkalmazott Felhőfizikai Központ vezetője

Introductory remarks

In the present number of Időjárás the numerical modeling of thunderclouds, the forecast of hailstorms by means of a jet model, the movement of thunderstorm cells, the measurements of the physical characteristics of hailstones by hailpads and the investigation of the economical efficiency of hail prevention are dealt with. The following numbers are intended to involve papers relating to hail climatology, the structure of damages from hail, the decision model of the suppression and to the antecedents and perspectives of hail prevention in Hungary.

On the basis of the results of cloud physics research we have become able to try the modification of clouds to produce more precipitation or to prevent hail losses. Since in Hungary hail losses are very serious, a project was organized by the Meteorological Service in the Southern part of the country in order to modify hail clouds, on the basis of Soviet methods, by means of artificial ice nuclei emitted by rockets.

In Hungary the first anti-hail rocket was launched on 23rd of July, 1976, from Tenkes-hill, Baranya county, opening a new era of meteorological services in the country. The prevention is financed by the State Insurance Company; we wish, hereby to express them our thanks for this and also for presenting us the necessary data to evaluate the results.

In 1979, the Council of Ministries, evaluating the given experimental period of three years, adopted a resolution of strengthening and extension of the hail prevention. (The Meteorological Service of Hungary is settling a solution of this latter problem.) Nowadays, we are able to support the correctness of this decision on the basis of examining the data of seven years' losses. Our research, yet, is not restricted to the analysis of economic savings and effectiveness due to the suppression. Our staff, consisting of mostly young specialists, was faced with a number of unresolved problems in the practical work and it began to search intensively after the solutions about three years ago.

The purpose of our investigations is quite practical: to perform the seeding of Cb clouds more succesfully in order to reduce losses from hailfalls. However, to reach this aim research is needed, seeming useless to some people. We, on the contrary, deem them necessary, underlying, also in this way that, at the present level of our art, being very low as compared to the complicated processes of hail formation, the consequences of neglecting research are unpredictable.

E. Wirth
Head of Applied Cloud Physics Centre

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 1. Jan. – Feb. 1984. Budapest

A jégesőelhárítás értékelése: fizikai hatások és gazdasági következmények

WIRTH ENDRE, MARKÓ TAMÁS és SÖVÉR FERENC, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ, H-7601 Pécs, Pf. 353*

A jégesőelhárítás értékelése: fizikai hatások és gazdasági következmények. A dolgozat célja kettős. Egyrészt áttekintjük az értékelés általános problémáit, amelyek a jégesők saját változékonyságából, ill. a beavatkozások elsődleges (fizikai) és másodlagos (gazdasági) hatásainak bonyolult kapcsolatából erednek; továbbá két nevezetes randomizált jégesőelhárítási kísérlet példáján bemutatjuk a prediktor- és válaszváltozók kiválasztásának és alkalmazásának lehetőségeit a fizikai hatások detektálására. Másrészt eljárásokat adunk a Magyarországon (Baranyában) 1976 óta folyó védekezés gazdasági következményeinek becslésére. Így alkalmazzuk a már korábban használt gazdasági megtakarítás fogalmát és definiáljuk a gazdasági hatékonyságot és a jövedelmezőséget. Az Állami Biztosító statisztikáin alapuló számítások egyértelműen a védekezés eredményességét mutatják.

⁂

The evaluation of hail suppression: physical effects and economical consequences. The aim of this paper is twofold. First, its goal is to review the general problems of evaluation of the hail suppression experiments, originating both from the great variability of hailfalls themselves and from the complex relationships between the primary (physical) and secondary (economical) effects of the seeding, in addition to demonstrate by means of two notable randomized hail prevention experiments the possibilities of the selection and application of predictor and response variables for the detection of physical effects. Second, some procedures are presented to estimate the economical consequences of the hail suppression project which has been conducted since 1976 in Hungary (Baranya county). The earlier introduced term of economical earnings and the newly defined economical effectiveness and rentability are applied to the statistics of the State's Insurance Company. The results of the calculations seem to show unanimously the efficiency of suppression.

⁂

Bevezetés. A Meteorológiai Világszervezet adatai szerint (*Summers*, 1979) a hetvenes évek elején 34 országban folytattak jégesőelhárítási kísérleteket és 32 más ország tervezett vagy hajtott végre – sokszor közösen – a témával kapcsolatos kutatásokat vagy előkészítő munkákat. Az 1975–81 közötti időszakban 14 országban közel 70 millió hektárnyi területen végeztek ilyen típusú beavatkozásokat (*WMO-regiszterek*, 1976–82).

E felhőmagvasítási tevékenységet világszerte két alapvetően különböző céllal folytatják. A tudományos jellegű, randomizált kísérletek – az ún. *experiment*-ek – a magvasítás meteorológiai következményeinek kinyomozását tekintik legfontosabb feladatuknak. A kereskedelmi jellegű vállalkozások – a *project*-ek – deklarált célja viszont a jégeső okozta károk csökkentése.

A Regisztereket tanulmányozva feltűnik, hogy az experimentek az összes érintett („védett") területnek csak mintegy 4%-án folytak (elsősorban Kanadában és az USA-ban). E területi aránynak megfelelően a projectek

száma is sokszorosan múlta felül a tudományos kísérletek számát a hetvenes évtizedben.

A kereskedelmi jégesőelhárítási vállalkozások „sajátossága", hogy gyakran semmiféle eredményelemzést nem tartalmaznak. Például egy 1973-ban készített felmérés szerint hét, hosszú időtartamú és jelentős területre kiterjedő kísérlet közül *(I. táblázat)* „külső" (tehát független) szakértői csoport csupán egyet elemzett rendszeresen és egyet esetenként; kettőt a felhőmagvasító társaság, vagyis maga a végrehajtó „ellenőrzött", hármat pedig egyáltalán nem vizsgáltak a fizikai hatások szempontjából (*Borland*, 1977).

I. TÁBLÁZAT

Néhány nagyobb jégesőelhárítási kísérlet Kanadában és az USA-ban. (A kísérleteknél a feltüntetett különböző időtartamok a kísérlet körülményeiben bekövetkezett fontos változásokra utalnak, pl. megváltoztatták a beavatkozás módszerét.)

Ország (állam)	Időtartam	Területi kiterjedés (millió ha)	Értékelés
Kanada: Alberta	1956 – 72; 1973-tól	2,8	van (független)
USA: Colorado	1951 – 65; 1966-tól	1,8	van (nem független)
N – Dakota	1961 – 63; 1964-től	1,4	1972-től nincs
N – Dakota („Tri-county")	1951 – 61; 1962 – 69; 1970-től	1,8	1951 – 72: van, 1973-tól: nincs
S – Dakota	1951 – 62; 1962-től	12,0	esetenként van (független)
Texas	1970-től	0,5	nincs
Texas	1973-tól	0,5	van (nem független)

Ez a körülmény jól jelzi, hogy a főleg mérsékelt égövben jelentkező és világszerte legalább évi kétmilliárd dollárnyi veszteséget okozó (*Summers*, 1979) jégesők mérséklésének igénye komoly gazdasági hajtóerőt képvisel. A kívánt eredmény érdekében a „felhasználó" és a „végrehajtó" is bizonyos kockázatot hajlandó vállalni: feltételezi – de szakmailag nem erősíti meg – a védekezés alapjául szolgáló elgondolás helyességét. Erre főképp az ad lehetőséget, hogy – sok más tudományos felfedezéssel ellentétben – a felhőfejlődés mikrofizikai eljárással történő módosításának lényege roppant egyszerűen magyarázható; és mivel a módszer – némi befektetéssel – könnyen kivitelezhetőnek tűnik, igen jól „eladható", tehát jövedelmező ötletet is képvisel. Ezt az ötletet – különösen az USA-ban – sokan igyekeztek hasznosítani, hangoztatva, hogy: „...a kereskedelmi felhőmagvasító nem engedheti meg magának azt a luxust, hogy a bizonytalanságot használja fel a döntésképtelenség igazolására..." (*Howell*, 1966). Ugyanakkor az ilyen típusú beavatkozások nem, vagy csak hosszú idő elteltével teszik lehetővé olyan (statisztikailag kielégítő) mennyiségű adat összegyűjtését, ami tudományos szem-

pontból is meggyőző lehet. Jól érzékelteti ezt *Henderson* (1975) véleménye, aki személyes benyomásait összegezve írja a szovjet kísérletekről: „... tudományos bizonyítékokat szolgáltatni, vagy gazdasági hasznot nyújtani olyan szignifikancia szinten, ami elfogadható azok számára, akik az eredményeket értékelik: két teljesen különböző dolog. Ezt a szovjet kutatók pontosan értik és ... erősen úgy vélik, hogy a tudomány az operatív fejlődést gyorsan fogja követni". *Henderson* azt is érzékelteti, hogy itt tulajdonképpen két filozófiai alapállás régi harca tükröződik. Az egyik szerint: „Tegyünk valamit, még akkor is, ha nem értünk mindent!" A másik azt hangoztatja: „Alapozzuk

II. TÁBLÁZAT

Jégeső-elhárítási kísérletek eredményei néhány országban

Ország (állam)	Időtartam	A változás %-ban	
		jégeső-jellemző	eső
USA:			
Texas	1970–73	–48 kárarány	0
Dakota	1961–75	–31 biztosítási díj	?
N–Dakota	1968–71	–30 „fizikai" és káradatok	+23
S–Dakota	1972–75	–20 kár	+7
Colorado, NHRE	1972–74	(+4) és (+40) között jégeső össztömeg	+23
Szovjetunió: *			
Kaukázus	1972–79	–70 kár	?
Krasznodár	1972–79	–70 kár	?
Ukrajna	1972–79	–92 kár	?
Üzbegisztán	1972–79	–92 kár	?
Grúzia	1972–79	–96 kár	?
Azerbajdzsán	1972–79	–95 kár	?
Moldávia	1972–79	–89 kár	?
Tadzsikisztán	1972–79	–86 kár	?
Örményország	1972–79	–87 kár	?
		Átlag: –86%	
Dél-Afrika	1971–74	–40 intenzitás	–4

* Az egyes területegységek nagysága szerint súlyozott területi átlagok. Összterület 1979-ben 5,8 millió ha. (*Changnon*, 1977, *Burcev*, 1980).

meg jobban ezt a tevékenységet, mielőtt bármit is tennénk". Az első vélemény általában erősebb, annál is inkább, mert a finanszírozó intézmények nem a költséges és hosszadalmas, bár lényegében nélkülözhetetlen kutatásokban, hanem a befektetett pénzösszegek minél gyorsabb, kamatos visszatérülésében érdekeltek. Ezért azután az operatív beavatkozások gyakran a tudományos ismereteket meghaladó mértékben és keretek között folytak (és folynak); sajnos azonban időtartamuk és egyéb jellegzetességeik legtöbbször nem teszik lehetővé a korrekt értékelést.

Azoknál a kísérleteknél, amelyeket (legtöbbször a biztosítási adatok elemzésével) valamilyen gazdasági értékelésnek alávetettek, az eredmények széles határok között változtak. Erre példa a *II. táblázat*, amelyben *Changnon* (1977) reprezentatív felmérése alapján öt amerikai és egy dél-afrikai kísérlet, továbbá *Burcev* (1980) után a kilenc szovjet köztársaságban folyó védekezési munkák átlagos eredményeit mutatjuk be.

A fentiek ismeretében nem meglepő, hanem inkább természetes, hogy az

elmúlt évtizedben az időjárásmódosítás területén a legvitatottabb témává éppen a jégeső elleni védekezés vált. A hetvenes évek közepétől az egyöntetűen jó hatékonyságról beszámoló szovjet publikációk (pl. *Burcev*, 1976) a nyugati szaksajtóban – az ottani negatív eredmények miatt – különösen heves reakciókat váltottak ki (*Changnon*, 1977; *Atlas*, 1977; *Battan* 1977; *Federer et al.* 1978/79). Élesedtek a viták a nemzetközi konferenciákon is (WMO-konferenciák: *Proceedings...*, 1973; *Conference-Workshop*, 1982 stb.).

Az okokat elsősorban talán a beavatkozások értékelésének nehézségeiben kell keresnünk. E nehézségek itt is tudásunk hiányosságaiból erednek. Közismert ugyanis, hogy a negyvenes évek óta bekövetkezett óriási fejlődés ellenére ma sem vagyunk képesek a felhő-, és csapadékképződés folyamatainak kvantitatív jellemzésére, ill. előrejelzésére. (Ez a megállapítás különösen érvényes a mezoléptékű folyamatokra.) Az is triviális, de idevágó megállapítás, hogy ha rendelkeznénk e feladatokat megoldó módszerekkel, a beavatkozások hatásait is könnyűszerrel ellenőrizhetnénk.

A megbízható fizikai ismeretek hiánya miatt tehát az értékelés különböző fázisaiban statisztikai eljárásokat kell – és szokás – alkalmazni. Ehhez „elegendően nagyszámú", (vagy: „elegendően hosszú" időtartamra vonatkozó) „megbízható", „homogén", továbbá a vizsgált jelenségre „jellemző" stb. adat szükséges. (Ezeket az adatokat természetesen a kísérlet végrehajtása közben végzett különböző típusú mérések szolgáltatják.) E kívánalmakat igen nehéz, ha egyáltalán lehetséges teljesíteni (*Foote* és *Knight*, 1979; *Federer et al.*, 1982). Ennek fő oka valószínűleg a jégeső legjellemzőbb sajátossága: a minden skálán megnyilvánuló különleges változékonyság (*Changnon*, 1976).

A következőkben röviden jellemezzük ezt a változékonyságot, majd részletesebben foglalkozunk a beavatkozások fizikai és gazdasági hatásainak meghatározása során fellépő problémákkal.

1. *A jégesők és jégkárok változékonysága; kapcsolatuk a beavatkozások értékelésének nehézségeivel*

Említettük azt a közismert tényt, hogy a jégeső a legváltozékonyabb meteorológiai jelenségek egyike. Összefoglalva e változékonyság jellemzőit, nagy különbségeket tapasztalunk: a jégszemek nagyság szerinti eloszlásában (az átlagos, a modális és a maximális méretekben is); a felületegységre hulló jégszemek számában (a felületi koncentrációban) – lásd pl. *Székely* és *Zoltán* (1984) –; a sűrűségben („kemény" és „puha" jégszemek egyaránt előfordulnak); a megjelenés időpontjában (a nap és az év bármely időszakában jelentkezhetnek); az időtartamban; az intenzitásban (a területegységre időegység alatt lehulló jég mennyiségében); végül mindezek, továbbá a jeget hordozó felhőgócok mozgása miatt a talajon megjelenő jégfoltok, vagy jégutak kiterjedésében. A változékonyság tehát sokféle skálán jelentkezik és nyilván az előidéző okok sokféleségéből származik.

A jégesőelhárítás – a konkurrens embriók hipotézisének alkalmazásával (l. *Wirth*, 1969, 1984) – a felsorolt tényezőknek (vagy azok egy részének) megváltoztatását kívánja elérni; ennek sikeressége pedig a magvasítás elsődleges, vagy fizikai hatásait reprezentálja. A védekezés tulajdonképpeni célja azonban a *károk csökkentése*, ami viszont meteorológiai szempontból „csak" másodlagos, *gazdasági következmény*. Sajnos, az elsődleges és másodlagos következmények között nincs egyértelmű összefüggés. A beavatkozások fizikai eredményeire ugyanis rárakódik a növényfajtától és a vegetációs periódustól függő „jégérzékenység" kombinált hatása. Ez azt jelenti, hogy ugyanolyan

(vagy hasonló) káreloszlás elvileg a fizikai hatások sokféle kombinációja révén alakulhat ki, és ellenkezőleg: nagyjából hasonló jégesők igen különböző károkat okozhatnak.

A jégesők és jégkárok változékonyságának illusztrálására bemutatjuk a *III. táblázatot*, amely az 1962–82 közötti időszak adatai alapján készült Baranyára.

III. TÁBLÁZAT

A jégesők változékonyságát jellemző néhány adat Baranyában 1962–1982 között

	Átlag	Maximum	Minimum	Szórás
Jégesős napok száma	24,3	50	3	10,9
Kártérítés mFt	66,2	196	0,3	48,9

(A megye területe kereken 4500 km². Jégesős nap: amikor e területen belül április 1. és október 31. között jégeső fordult elő a biztosítási adatok szerint. A kártérítési összeg ugyancsak ÁB-statisztikákból származik.)

Az elmondottak miatt alapvetően fontos lenne olyan, magára a jégesőre jellemző paraméterek kiválasztása, amelyek szoros kapcsolatban állnak a kárral. Ilyennek látszik pl. a lehullott jég össztömege, vagy a teljes becsapódási energia meghatározott területi és időbeli határok között összegezve. Egyes vizsgálatok szerint azonban e paraméterek csak mérsékelt korrelációt mutatnak a becsült kárral (*Wojtiw* és *Renick*, 1973). Hasonló kutatások nálunk is elkezdődtek (*Szabó* és *Vástyán*, 1980), és véleményünk szerint folyamatos végzésükre, sőt kiterjesztésükre az elsődleges és másodlagos hatások megbízható összefüggéseinek feltárása érdekében feltétlenül szükség van.

A jégesőelhárítási kísérletek értékelésére tehát elméletileg igen különböző jellemzőket választhatunk akár a fizikai hatások, akár a gazdasági következmények osztályából. Nem véletlen, hogy ez a kettősség igen fontos további vitaforrássá vált. Egyesek szerint ui. (*Federer*, 1980) a felsorolt okok miatt eleve reménytelen megpróbálkozni azzal, hogy a védekezés hatásait a gazdasági következmények vizsgálata útján mutassuk ki. Mások viszont állítják (*Changnon*, 1977), hogy a különböző kultúrák jégkárstatisztikáinak tanulmányozása (minden ellentmondásosságuk és megoldatlan kérdéseik ellenére) a legjobb általános eszköz a jelenség és a védekezés közvetett hatásainak feltérképezésére. A szovjet szakirodalomban évtizedeken keresztül – mindmáig – ugyanez a szemlélet tükröződött (*Szulakvelidze*, 1967; *Abshaev et al.*, 1980). Ugyanakkor nem kétséges, hogy a változékonyság miatt a magvasítás fizikai hatásait – legalábbis jelenleg – a természetes fluktuációk „zajától" csak akkor lehet elkülöníteni, ha a változások jelentősek. (Jelentős változáson általában a lehullott jég össztömegének, vagy a jégesők területi kiterjedésének *legalább* 40%-os csökkenését értik.)

A különböző éghajlati körzetekben és hosszú évek során kimutatott szovjet eredményeket – amelyek 70–96% közötti átlagos kárcsökkenésről számolnak be (lásd a *II. táblázatot*) – éppen azért éri kritika a legutóbbi időben, mert azokat a fizikai hatások detektálása helyett állítólag nem kielégítően ellenőrizhető gazdasági adatokra alapozzák.

A szakemberek ugyanakkor megegyeznek abban, hogy a SZU-ban kidolgozott koncepció gyakorlatilag az egyetlen fizikailag megalapozott lehe-

tőség a jégeső elleni védekezésre; továbbá, hogy ezt a feladatot szakmai és szervezési szempontból is mintaszerűen oldják meg.

Mivel jégesőelhárítási módszerünk és eszközeink lényegében megfelelnek a SZU-ban alkalmazott eljárásnak, ugyanakkor a másodlagos effektusokra vonatkozó – az ÁB-tól származó – adataink pontossága a célnak megfelelő, az értékelés e módszerét ért kritikákra saját eredményeink bemutatásával is igyekszünk választ adni. Az első magyarországi kísérlet színhelyén, Baranyában ui. aránylag hosszabb időre (21 évre) vonatkozó, egyedülállóan jó minőségű és mennyiségű biztosítási és egyéb jellegű adatsorok állnak rendelkezésre. (A biztosítási adatok – amelyek speciálisan képzett kárbecslő-szakemberek felméréseiből származnak – a területre azért is reprezentatívnak tekinthetők, mert ebben az időszakban a biztosítási „fedettség" a nagyüzemeket tekintve gyakorlatilag 100%-os volt.)

A védekezés értékelése azonban – a meteorológus szempontjából – az elsődleges hatások kimutatását is igényli. A lehetőségek és nehézségek bemutatása itt is szükségesnek látszik annak érzékeltetésére, hogy milyen típusú és mennyiségű vizsgálat lenne szükséges a fizikai következmények tudományos szempontból is meggyőző értékeléséhez.

2. *A fizikai hatások értékelése*

A jelenleg általánosan elfogadott védekezési koncepció (*Szulakvelidze*, 1967) szerint a természetes jégszemek *növekedését* gátoljuk meg: magvasító anyagot juttatunk a felhőbe, ezzel ún. konkurrens jégesőembriókat hozunk létre, amelyek a természetes embriókkal „versengve" növekszenek a rendelkezésre álló, korlátozott mennyiségű folyékony víztartalom terhére. Végeredményben sokkal több, de kisebb méretű jégszem képződik. Ez a módosítás a kisebb jégszemek gyorsabb olvadása és rohamosan (az átmérő köbével) csökkenő kinetikus energiája miatt az alábbi változásokra vezet: csökken a jégeső intenzitása (a felületegységre időegység alatt lejutó össztömeg és kinetikus energia), a jégeső időtartama, a jégfoltok mérete stb., végül mindezek miatt szükségszerűen – a jégeső okozta kár is.

Az elsorolt tényezők a védekezés *fizikai hatásainak* összességét jelentik. Elvileg akár egy (esetleg néhány) jellegzetes hatás (vagy hatásegyüttes) mérésével is lehetne számszerűen értékelni a magvasítás eredményét. A fizikai értékelés e lehetősége akkor válna valóságossá, ha

1. rendelkezésünkre állnának olyan „prediktorváltozók", amelyek a legfontosabb jégeső-jellemzők mennyiségi előrejelzését lehetővé tennék, és
2. a beavatkozások ún. „válaszváltozóit" olyan pontossággal tudnánk mérni, amely kétségtelenné tenné a természetes folyamatoktól való eltéréseket.

A *prediktorváltozók* (vagy a belőlük szerkesztett függvény) olyan jellemzők, amelyek a jelenség kialakulásában és lefolyásában döntő szerepet játszanak, és maguk nem változnak a kísérlet folyamán. Ebből következik, hogy csak olyan jellemzőkről lehet szó, amelyeket a kísérlet előtt határozunk meg. A prediktorváltozóktól (ill. függvénytől) azt várjuk, hogy a válaszváltozók értékeit minél pontosabban képesek legyenek előrejelezni a jelenség természetes lefolyása esetén. Nyilvánvaló, hogy elvileg igen sok ilyen változót találhatunk a termodinamikai paraméterektől a dinamikai jellemzőkön keresztül egészen a mikrofizikai sajátosságokig (pl. az instabilitás mértéke, a feláramlás számított értéke, a természetes jégmagvak koncentrációja stb., vagy akár az egyes változók felhőmodellel előrejelzett értékei, pl. *Zoltán* and *Geresdi*, (1984).

A *válaszváltozók* száma ugyancsak igen nagy lehet. A beavatkozások fizikai koncepciója miatt valószínűleg legjobb lenne a jégszemek nagyság szerinti eloszlásának (egyúttal térfogati koncentrációjának) pontos meghatározása. Megfelelhet azonban az ebből levezethető bármely mértékszám is, ha mérhető és valódi válaszváltozónak, tehát a jelenségre jellemzőnek tekinthető. Mivel azonban jelenleg nem ismerjük a beavatkozások egzakt hatásmechanizmusát, továbbá feltételezhetjük, hogy ezt a hatásmechanizmust egymagában egyik válaszváltozó sem tükrözi kielégítően, célszerű minél több ilyen változót, ugyancsak még a *kísérlet* végrehajtása *előtt* kiválasztani. Erre azért is szükség van, mert így növelhetjük az értékelés objektivitását és nem utolsósorban: elegendő időnk marad arra, hogy megfelelően előkészítsük a kérdéses változó megbízható mérését. *Flueck* és *Mielke* (1977) rámutatnak arra is, hogy a jól megtervezett kísérletben egy (legfeljebb két) döntő és több másodrendű válaszváltozót tanulmányoznak. Ez azért fontos, mert remélhető, hogy minél több változó alakulását vagyunk képesek követni, annál nagyobb a hatás kinyomozásának esélye. A mellékesnek tekintett változóról ui. a körültekintő vizsgálatnál kiderülhet, hogy fontos; viszont a kísérlet megismétlése azért, mert újabb, nem várt szempontok merültek fel, gyakran pénzügyi okok miatt lehetetlen.

A prediktor- és válaszváltozók kiválasztásának lehetőségeit az alábbiakban a hetvenes évek két legnevezetesebb kísérlete segítségével illusztráljuk.

A svájci „*Grossversuch IV*"-ben (1976—1981) a prediktor-változókat széleskörű adatgyűjtés és adatelemzés után választották ki. Kétféle: aerológiai, ill. szinoptikai és radar-mérésekből származtatott változókat alkalmaztak. (Ilyenek voltak pl. a felhőalap hőmérséklete, a 850 mb-os szint magasságának eltérése a normál légköri értékektől; továbbá a 45 dBZ-es radarkontúr területe, a felhőtető mért magassága stb.) A válaszváltozó értékének előrejelzésére ezekből a változókból szerkesztették meg a prediktorfüggvényt (*Federer et al.*, 1978/79).

A „*National Hail Research Experiment*" (NHRE) folyamán (1972—74 között) a zivatarfelhők radarparamétereit, többek között az érintett területen lévő, vagy azt megközelítő felhők —5 °C feletti tartományban megjelenő, 45 dBZ-es reflektivitási kontúrt tekintették prediktornak (*Foote* és *Knight* 1979).

A *Grossversuch IV.* elsődleges válasz-változója a jégesők kinetikus energiája volt (*Federer et al.*, 1978/79). Ezt a jégesőindikátorok talajhálózata által mért értékekhez kalibrált radarmérésekkel határozták meg (*Waldvogel et al.*, 1978). Mivel azonban az adatok erősen aszimmetrikus eloszlásúak — ami a jégkárok szerkezetében is tükröződik — tényleges válaszváltozóként a kinetikus energia logaritmusát használták. Így véleményük szerint csökken annak a lehetősége, hogy a szélsőséges esetek jelentősen befolyásolják az értékelés eredményét.

Az *NHRE*-ben — hosszas vizsgálatok és viták után — végül is az érintett területre hulló teljes jégtömeget tekintették elsődleges válaszváltozónak (*Lovell*, 1972). Ennek két oka volt. Egyrészt úgy vélték, hogy a jégesőelhárítás valóban a talajra lejutó összjégtömeget csökkenti, mivel a jégszemek nagyobb aránya olvad el földetérés előtt; másrészt mintavételi és méréstechnikai problémák miatt valószínűnek látszott, hogy ez a jellemző pontosabban mérhető, mint a jégszemek nagyság szerinti eloszlása. Ennek ellenére ez utóbbi paramétert, továbbá a jégfoltok területi kiterjedését másodlagos, a jégesők kinetikus energiáját és a radarreflektivitás mértékét, valamint az embriók

típusát harmadlagos fontosságú válaszváltozóként a kísérlet teljes időszakában szintén mérték (*Crow* et al., 1979).

E kísérleteknél nagy figyelmet fordítottak a statisztikai tervezésre is, amellyel – mint már említettük – lehetőség nyílik arra, hogy ismereteink hiányosságait némileg áthidaljuk. Ennek megfelelően mindkét kísérletet randomizálták; a randomizálási egység a nap volt. Így az adatokat elvileg két olyan, meteorológiai szempontból hasonló osztályba sorolták, amelyek – a feltevések szerint – csupán a magvasítás tényében különböztek egymástól.

Mindezek ellenére tény, hogy e kísérletekkel nem sikerült statisztikailag meggyőző módon demonstrálni a beavatkozások feltételezett hatását (*Knight*, et al., 1979; *Federer* et al., 1982). Az okokra itt nem térhetünk ki; a lehetséges magyarázatot másik dolgozatban kívánjuk megadni. Itt csupán arra hívjuk fel a figyelmet, hogy – mint már jeleztük – megfelelő prediktorfüggvény előállítására, továbbá a válaszváltozó kielégítő mérésére jelenleg – úgy tűnik – nincs lehetőségünk.

Leszögezhetjük tehát, hogy bár nem adhatjuk fel a fizikai értékelés megvalósítására irányuló igényt, még kevésbé azt a célt, hogy felderítsük a fizikai és gazdasági hatások közötti kapcsolatokat, a sajátos hazai körülmények között is meg kell találnunk és alkalmaznunk kell azokat az egyéb információkat, amelyek segítségével a jégesőelhárítás hatását demonstrálni tudjuk. Ilyen – e pillanatban kizárólagos – lehetőséget az ÁB jégkárokra vonatkozó részletes és objektívnek tekinthető statisztikai adatai kínálnak.

3. *A gazdasági hatás kimutatása*

3.1 *Definíciók.* A védekezés gazdasági hatását többféle mutatóval jellemezhetjük. A hároméves (kísérleti) időszakban az átlagos gazdasági megtakarítás *(ÁGM)* fogalmával dolgoztunk (*Földvári* és *Wirth*, 1979). Ezt a következőképpen értelmeztük: az éves gazdasági megtakarítás *(GM)* a „megvédett" mezőgazdasági termékek védekezésre fordított kiadásokkal csökkentett értéke:

$$GM = V - T - K \tag{1}$$

ahol V a várható, T a ténylegesen bekövetkezett kár, K pedig a jégesőelhárítás költsége. Ennek többéves átlaga az $ÁGM$. Definiáljuk most a gazdasági hatékonyságot *(H)*, és a jövedelmezőséget *(J)*. A jégesőelhárítás gazdasági hatékonyságán azt a százalékban kifejezett számot értjük, amely megadja, hogy a jégesőelhárítás nélkül bekövetkező jégkárnak hányad részét sikerült megelőzni:

$$H = \frac{V - T}{V} 100\ (\%) \tag{2}$$

A jövedelmezőséget a kiadásokkal csökkentett „megelőzött" kár és a kiadások hányadosaként határozzuk meg, vagyis a GM-t viszonyítjuk a kiadásokhoz:

$$J = \frac{V - T - K}{K} 100\ (\%) \tag{3}$$

Megjegyezzük, hogy a (2) mutatót közgazdasági értelemben nem lehet hatékonyságnak nevezni, mégis mind az angol, mind az orosz nyelvű szakirodalomban használatos rá ez az elnevezés (*Rouet* és *Megreditchian*, 1980; *Stanchev* és *Simeonov*, 1977). Ugyanakkor felhívjuk a figyelmet arra, hogy az ál-

talunk jövedelmezőségnek nevezett mutatót is szokás hatékonyságnak hívni (*Poluektova* és *Tsykunov*, 1973).

Az utóbbi két fogalom megkülönböztetése igen fontos, hiszen elvileg elképzelhető olyan rendszer, amelynek gazdasági hatása kimutatható, de haszna a kiadásokat nem fedezi.

Az (1)–(3) mutatókat célszerű hosszabb időtartamra – egy vagy több évre – vonatkoztatni egyrészt az ÁB éves elszámolási rendszere, másrészt az időjárás évi menete miatt. A fenti definíciók azonnal felvetik a *kár mérésének*, valamint a *várható kár becslésének* problémáját.

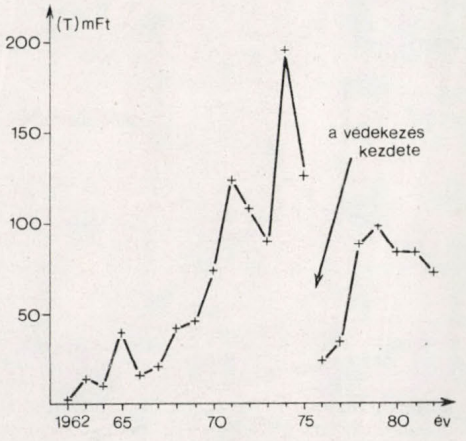
3.2 *A jégkárok jellemzése, a várható kár becslése.* A kárt – bekövetkezése után – többféleképpen is mérhetjük: a károsodott mezőgazdasági területtel, a jégeső okozta terméscsökkenéssel, ennek pénzben kifejezett értékével, az ÁB által kifizetett kártérítéssel, esetleg a biztosítási gyakorlatban alkalmazott kárhányaddal, vagy káraránnyal is. (A kárhányad a kártérítési összeg és a biztosítási díj aránya, a kárarány pedig a kártérítési összeg és a biztosított érték hányadosa, mindkettő százalékban kifejezve.) A jégkárt a legkézenfekvőbb a kártérítéssel jellemezni, annál is inkább, mivel ez az adat közvetlenül összehasonlítható a jégesőelhárítás költségeivel. Mindezek a lehetőségek felhasználhatók a védekezés nélkül várható kár jellemzésére is. Ennek megállapítására általában kétféle módszert alkalmaznak (*Wirth*, 1976a):

1. A „védett terület" *(VT)* és valamely megfelelően kiválasztott „kontroll terület" *(KT)* jégesőre vagy jégkárra jellemző adatainak összehasonlítását.
2. A *VT* megfelelő adatsorainak összehasonlítását a védekezés előtti és alatti évekre.

A világ különböző részein (pl. a Szovjetunióban a hetvenes években) végrehajtott kísérleteknél gyakran az első módszert használták, annak ellenére, hogy jó *KT*-et nehéz kiválasztani. Ennek ugyanis a *VT*-hez

- klimatológiailag és földrajzilag hasonlónak kell lennie,
- hasonló termelési szerkezetűnek kell lennie,
- ugyanakkor nem szabad a *VT*-hez közel feküdnie, hogy a magvasítás hatásai át ne terjedjenek.

Mivel a Baranya megyei jégesőelhárítás éppen a sajátos termelési- és kárszerkezet (nagyobb érték, nagyobb károk stb.) miatt települt az adott helyre, a fenti követelményeknek megfelelő *KT* kiválasztására nem volt lehetőség.

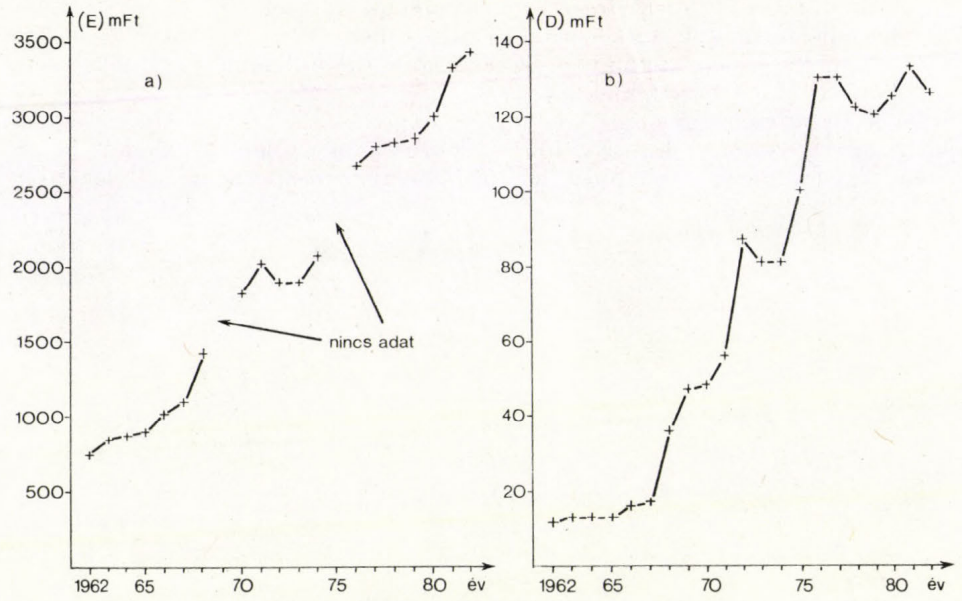


1. ábra: A jégkártérítések alakulása Baranyában 1962-től 1982-ig (*T*: az Állami Biztosító által fizetett kártérítés)

Ez világosan kitűnik *Gulyás* és *Légrádi* (1978) tanulmányából is, akik a megyék 13 évből származó kárstatisztikái alapján multilineáris regresszióval becsülték meg a Baranyában védekezés nélkül várható károsodott terület nagyságát, de nem találtak elég szoros kapcsolatot. Emiatt értékelésünkben az idősoros összehasonlítás módszerét alkalmaztuk. A kísérleti időszak végén, az *ÁGM* számításánál egyszerűen az előző öt év (1971 – 75) átlagos kártérítését tekintettük összehasonlítási alapnak (*Földvári* és *Wirth*, 1979). A várható kár ilyen becslése nyilvánvaló túlegyszerűsítés. Az *1. ábrán* ugyanis látható, hogy a károk az évek során — egészen 1975-ig — emelkedő tendenciát mutatnak. Az okok a fajlagos, területegységre jutó termelési érték növekedésével és — kisebb részben — a károsodott terület változásával kapcsolatosak. Feltételezzük, hogy védekezés nélkül a növekedés — a fejlődés lassuló üteme miatt talán kissé csökkenő mértékben — tovább folytatódott volna. A pénz értéke ugyancsak változik, így a különböző időszakok folyó forintértékeinek összehasonlítása félrevezető.

A várható éves kár biztosabb becsléséhez olyan független változókat kell keresnünk, amelyek e mutatóval tényleges és szoros kapcsolatban állnak. Elvileg ilyenek lehetnek pl.: a jégesők gyakorisága, időtartama, a jégszemek méreteloszlása és a jégfoltok területe is. Ugyanakkor — mint korábban már említettük — a jégeső hatása függ a növényi kultúrától; de ugyanannak a kultúrának változik az érzékenysége a tenyészidőszak folyamán, sőt az évek során általában változik a vetésterület, a termésátlag és a termények egységára is.

A felsoroltak közül csupán az utóbbiak — a termésátlagok és az egységárak — mutatnak évről-évre növekvő tendenciát. Így ezekkel indokolt becsülni a kárt. A két mennyiséget egyesíti az éves *növénytermelési érték*, mint agráripari mutató, ill. az ennek többé-kevésbé megfelelő *biztosított érték*, mint



2. ábra: A biztosított érték *(a)* és a növénybiztosítási díj *(b)* évenkénti alakulása Baranyában (*E:* biztosított érték, *D:* biztosítási díj)

biztosítási jellemző. Különböző okok miatt (pl. mert a kistermelők általában nem, a termelőszövetkezetek pedig gyakran a ténylegesnél kisebb termésátlagra biztosítanak stb.) ez utóbbi mindig kisebb a termelési értéknél. A biztosított érték és a jégeső-előfordulás gyakorisága együttesen alakítják ki a biztosítási díjat. Ez változékonyabb ugyan, mint a növénytermelési érték, de növekedési trendje ugyancsak kifejezett. A *2. ábrán* e két mennyiség időbeli alakulását mutatjuk be.

Nyilvánvaló, hogy a meghatározott mezőgazdasági kultúrában, adott időpontban lehullott jégeső által okozott kár egyenesen arányos a terméshozammal és az egységárral. Bár az arányossági tényező változik a növénytől, ennek fejlettségi állapotától és a jégeső fizikai jellemzőitől függően, összességében mégiscsak a biztosított termelési érték lineáris regressziójával indokolt becsülni a kárt. E mennyiség ui. független a jégesőelhárítás bevezetésétől és hatékonyságától, így — ha a kárral elég szoros kapcsolatban van — használható a védekezés nélkül várható kár becslésére is. Az összehasonlítás kedvéért megvizsgáltuk a kár és a biztosítási díj közötti összefüggést is.

A védekezés előtti időszak adatai alapján a regressziós egyenesekre az alábbi kifejezések adódtak:

$$V_1 = 0{,}10 \cdot E - 79533, \tag{4}$$

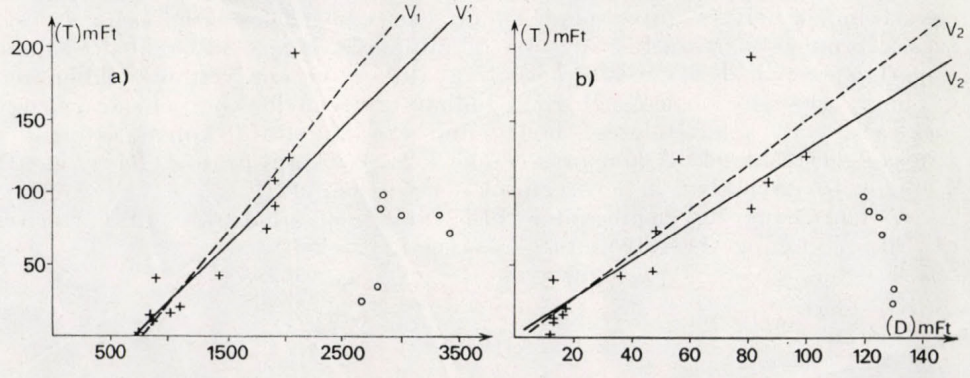
ill.

$$V_2 = 1{,}55 \cdot D - 3635 \tag{5}$$

ahol E a biztosított termelési érték, D a biztosítási díj (eFt-ban) az adott évben. E becslések a varianciát rendre 0,232-szeresére, ill. 0,294-szeresére csökkentették, ami azt jelenti, hogy a kár változékonyságának nagy részét meg lehet magyarázni e két mennyiség változásával. Az adatokra illesztett regressziós egyenesek a *3. ábrán* láthatók.

Látható, hogy a várható kár becslésének szempontjából a biztosított termelési érték és a biztosítási díj gyakorlatilag ekvivalens. E becsléseket elfogadhatónak tartjuk, és feltesszük, hogy a maradék változékonyságért a jégesők változékonysága a felelős.

A védekezést megelőző időszakból azonban a meteorológiai információk közül csupán a jégkáros napok dátuma áll rendelkezésünkre, az is csak többkevesebb biztonsággal. (A bizonytalanság oka, hogy a gazdaságok nem mindig jelentik helyesen a jégkár időpontját, az ÁB pedig, amelynek adataira támaszkodunk, nem ellenőrzi a bejelentések pontosságát.) Egyetlen, a jégesővel



3. ábra: A kár becslése a biztosított összegből *(a)* és a biztosítási díjból *(b)* +: védekezés előtti, ○ védekezés utáni értékek

kapcsolatos adatot ismerünk tehát: a jégkáros napok éves számát. Így a fenti regressziós maradékokat ezzel próbáltuk meg kapcsolatba hozni. A korrelációs együttható mindkét regressziós egyenes maradékaira 0,005-nél kisebb volt, tehát *az éves jégkár gyakorlatilag független a jégkáros napok számától.* Ez nem nagyon meglepő, mivel – a jégkárstatisztikák szerint – az éves kár nagy részét 3–6 jégeső okozza.

A továbbiakban a védekezés nélkül bekövetkező kár túlbecslésének elkerülése érdekében meghatároztuk a regressziókat úgy is, hogy a kiugróan magas jégkárt és nagy maradékot adó 1974-es év adatait figyelmen kívül hagytuk. Ekkor a regressziós egyenesek a következők szerint módosultak *(3. ábra)*:

$$V'_1 = 0{,}08 \cdot E - 59477, \tag{4'}$$

$$V'_2 = 1{,}30 \cdot D + 847. \tag{5'}$$

E becslések a varianciát rendre 0,106-szorosára, illetve 0,183-szorosára csökkentették, így a továbbiakban a (4') formulát használjuk a védekezés nélkül bekövetkező kár becslésére. A várható kár és a károsszeg megállapításánál számolnunk kell a következő jelenséggel is: A károk a valóságban mindig nagyobbak, mint az ÁB által kifizetett kártérítési összeg, a következők miatt:

a) Nem csak a biztosított területen következik be jégkár (az „egyéb" gazdaságoknak – háztáji, kiskert stb.– általában nincs biztosítása);

b) Az ÁB nem téríti a teljes kárt, mert:
- 5% alatti kárt nem térítenek;
- a mezőgazdasági növények többségénél a tényleges terméskiesés nagyobb az ÁB által megállapítottnál, ugyanis ez utóbbi *általában* csak az effektív súlycsökkenésre vonatkozik, és nem tartalmazza a következményes károkat;
- a díjat az előrejelzett termésre fizetik, és a kárt ennek %-ában értékelik. Ha a tényleges termés nagyobb lett volna, mint az előrejelzett, a tényleges kár is nagyobb lenne, mint a kifizetett;
- a biztosítási egységárak rendszerint elmaradnak az értékesítési egységárak mögött.

c) A károk abszolút értéke a termésátlagoktól is függ, amelyek évről-évre a tervezettnél is gyorsabb mértékben növekszenek (a termékszerkezet gyors változása stb. miatt).

Mindezek miatt a V várható kárt is mindig alulbecsüljük. Ezt a hatást multiplikatívnak tételezhetjük föl – kivéve a *b)* első pontját. Utóbbinál nem egyértelmű a helyzet, mivel elképzelhető, hogy a védekezés hatására az összes kár nagyobb része lesz 5% alatti, mint a megelőző időszakban. Ennek következtében a V-t kevésbé becsüljük alul, mint amilyen mértékben nagyobb a valóságos kár a T-nél. Ezt azonban nincs módunkban ellenőrizni, így megtartjuk azt a feltételezést, hogy mind a V, mind a T konstansszorosa a valóságos értékeknek. A konstans értéke 1/2–1/3 körül mozog (*Bálint* et al., 1969), a továbbiakban ennek reciprokát c-vel jelöljük.

A fenti hatás figyelembevételével a valóságos várható kár, ill. kártérítés cV, ill. cT, így az (1)–(3) mutatók korrigált értékei

$$GM' = c\,(V-T) - K$$

$$H' = \frac{c(V-T)}{cV} \cdot 100\ (\%)$$

$$J' = \frac{c(V-T)-K}{K} \cdot 100\ (\%)$$

Látható, hogy $c > 1$ miatt a GM és a J értéke megnő, míg a H értéke változatlan marad.

Ahhoz, hogy GM'-t és J'-t meghatározzuk, c jó becslésére lenne szükség. Ehhez azonban nem állnak rendelkezésünkre kellően részletes adatok, így a továbbiakban a túlbecslés elkerülése végett mindig csak a tényleges kifizetett értékekre támaszkodunk.

Ezek után a fenti becslésekkel végzett hatékonyságvizsgálatok eredményeit ismertetjük.

IV. TÁBLÁZAT

Várható kár, kártérítés, költség és gazdasági megtakarítás Baranyában 1976–82 *között, a várható kár különböző becslései esetén* (mFt/év-ben)

Év	Várható kár becslése			Kártérítés	Költség	Gazdasági megtakarítás		
	1971–1975 átlaga	V_1	V_1'			1971–1975 átlaga	V_1	V_1'
	alapján					alapján		
1976	128	191	159	23	10	95	158	126
1977	128	203	168	38	24	66	141	106
1978	128	207	171	89	20	19	98	62
1979	128	208	172	93	23	12	92	56
1980	128	225	186	85	28	15	112	73
1981	128	258	212	84	31	13	143	97
1982	128	267	220	71	40	17	156	109
Átlagos gazdasági megtakarítás: 1976–1978						49	136	101
1976–1982						30	124	86

Történeti okokból – mivel ilyen volt az első hatékonyságszámítás (*Földvári* és *Wirth*, 1979) – először a megelőző öt év (az ún. bázisidőszak) átlagos kártérítésével becsüljük a várható kárt. Ez Baranya megyére 128 mFt. A *IV. táblázat* tartalmazza az egyes évekre ily módon kapott gazdasági megtakarítást, valamint az *ÁGM*-et.

Az egész megyére vonatkozó adatok alapját tehát az 1976–78-as „kísérleti" években az *ÁGM* – a 32 mFt-os beruházási összeget is figyelembe véve – 49 mFt/év.

Az *ÁGM*-et – ugyanígy becsülve a kárt – megvizsgáltuk hét év időszakra is. A *IV. táblázat* szerint a védekezés első hét esztendejének *ÁGM*-je 30 mFt. Látható az is, hogy a kísérleti időszak sokkal jobb értéke az első két évnek tulajdonítható. Az akkori kiemelkedő eredményhez valószínűleg időjárási okok (pl. a jégeső kisebb gyakorisága) is hozzájárultak: bár az 1977-es év összesen 30 védekezéses napja és az ezalatt felbocsátott kb. 550 db rakéta megfelelnek pl. az 1979-es igen jeges év hasonló adatainak (34 nap és 530 rakéta).

Sokkal megbízhatóbb értékeket kapunk az *ÁGM*-re, ha a várható kárt a (4') képlettel határozzuk meg. Így kitűnik (IV. táblázat), hogy a kísérleti időszakra kapott *ÁGM* legalább 101 mFt, és még a hétéves időtartamra sem kevesebb 86 mFt-nál.

Itt is megfigyelhető ugyanaz a hatás, mint az előbbi *ÁGM*-becslésnél. Az első két év kiugróan jó eredményének köszönhetők a kísérleti időszak jóval magasabb értékei, és ezután a *GM* viszonylag csekély ingadozással változik évről évre. Itt felvetődik az az általános kérdés, hogy jogos-e a védekezés hatásának kimutatásánál az egész megyére és nem csupán a *VT*-re vonatkozó ÁB-adatokra támaszkodni. Úgy véljük igen, mivel a *VT*-et a megye azon részén jelöltük ki, ahol a legmagasabb termelési érték a legnagyobb jégeső gyakorisággal párosult. Ezért nyilvánvaló, hogy e terület az ÁB kárstatisztikáiban a legnagyobb károkkal jelentkezett. A *VT* határa egyébként sem

V. TÁBLÁZAT

A kártérítés (mFt) *és a károsodott terület* (km²) *alakulása az* 1971–75, *az* 1976–78 *és az* 1976–82 *közötti időszakban*

	Baranya megye		Magyarország	
	mFt	km²	mFt	km²
1971–75 átlaga	128	401	1000	2225
1976–78 átlaga	50	158	1393	3428
Változás %-ban	−61	−61	+39	+54
1976–82 átlaga	69	215	1233	2976
Változás %-ban	−46	−46	+23	+34

éles vonal, hanem egy meglehetősen széles zóna, amelyben a védekezés hatása kifelé csökkenő mértékben érvényesül (*Wirth*, 1976b.).

Emiatt és mivel a *VT* és a mezőgazdasági nagyüzemek határa egyáltalán nem esik egybe, a továbbiakban is az egész megyére vonatkozó adatokkal dolgoztunk. Ez azért is indokolt, mert a kárstatisztikák feldolgozása sokkal egyszerűbb és közigazgatásilag jól körülhatárolt területen kevésbé munkaigényes.

3.3 *A gazdasági hatékonyság és a jövedelmezőség.* Először itt is azoknak a számításoknak az eredményeit ismertetjük, amelyeket a bázisidőszak átlagával végeztünk. Az *V. táblázat*-ban megadtuk a bázis-, a kísérleti- és az 1976–82-es évekre Baranya megyére, valamint — összehasonlításul — az ország egész területére az átlagos éves kártérítési értékeket és a károsodott terület átlagos nagyságát. Az adatok mindkét időszakra országosan jelentős növekedést mutatnak, a baranyai károk és károsított területek egyidejű jelentős csökkenése mellett. A (2) képlettel számolt három-, ill. hétéves hatékonyság 61, ill. 46%.

A *VI. táblázat* első sorában feltüntettük a *H*-t az egyes évekre is. Ezek átlaga — a *V* évenkénti állandó értéke miatt — éppen a fentebb kiszámított több éves hatékonyságokkal egyezik meg. A második sorban a (4') képlettel számított várható kárból kapott éves hatékonyság-értékek szerepelnek. Összehasonlításképpen megadtuk a hatékonyság becslését a (4) formula felhasználásával is (3. sor).

Amint látható, a (4) és a (4') képlettel végzett becslések közötti eltérések nem túl jelentősek, viszont az évenkénti változékonyság elég nagy. A hétéves védekezés átlagos jellemzéséhez a (2)-ben szereplő mennyiségeket vonatkoztassuk erre az időszakra úgy, hogy az egyes változók helyébe a megfelelő évenkénti adatok összegét írjuk. Így 62,4%-os átlagos hatékonyság adódik. Ez alig tér el (jelen esetben) az évenkénti hatékonyságok átlagától (62,6%). Általában belátható, hogy a hatékonyságok átlagával szemben az átlagos ha-

tékonyság nemcsak az évenkénti hatékonyságok változására érzékeny, hanem a megelőzött kár konkrét nagyságára is, így ezt jobb mutatónak tartjuk.

Eredményeink ellenőrzése céljából az alábbiakban más módszerekkel is megvizsgáljuk az átlagos hatékonyságot.

Tételezzünk fel h %-os hatékonyságot. Ez annyit jelent, hogy 7 év alatt védekezés nélkül

$$V_{ö} = \frac{100}{100-h} \sum_{i=1}^{7} T_i \tag{7}$$

lenne az összkár, ahol T_i a védekezés i-edik évében bekövetkezett tényleges

VI. TÁBLÁZAT

A jégesőelhárítás gazdasági hatékonysága (H %) *évente (1) : bázisidőszakos becsléssel számítva, (2) : 4 alapján, (3) : 4' alapján számítva*

Év	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Átlag
H % *(1) :*	82,4	70,1	30,2	27,1	33,6	34,1	44,7	46,3
H % *(2) :*	85,5	79,5	48,1	42,7	54,6	60,3	67,6	62,6
H % *(3) :*	87,9	83,0	57,0	52,6	62,4	67,3	73,3	69,1

kár. Feltételezésünk realitásáról a következő eljárással győződhetünk meg. Legyen H a valóságos hatékonyság, V pedig a valóságos várható kár. Mivel a h és a $V_{ö}$ között egyértelmű a kapcsolat, ezért:

$$P\,(H<h) = P\,(V < V_{ö}) \tag{8}$$

Feladatunk most a jobb oldalon szereplő valószínűség meghatározása. Ehhez a regressziós becslés felhasználásával meghatározzuk a $V - \sum_{i=1}^{7} V'_{1i}$ próbastatisztika eloszlását, amiből a

$$P\,(V > V_{ö}) = P\left(V - \sum_{1=i}^{7} V'_{1i} < V_{ö} - \sum_{i=1}^{7} V'_{1i}\right) = F\left(V_{ö} - \sum_{i=1}^{7} V'_{1i}\right) \tag{9}$$

összefüggés alapján éppen a keresett valószínűséget kapjuk. A V'_{1i} a (4') becslés a védekezés i-edik évében, F pedig a próbastatisztika eloszlásfüggvénye. F közelítő meghatározását úgy végeztük el, hogy az 1962–73-as időszakból minden lehetséges módon kiválasztottunk 7 évet. (1975-ből nincs adatunk a kiválasztott értékre, 1974-et pedig a magas kár miatt hagytuk ki.) Ezek után a h „valódiságát" a

$$P\left(H \geq h\right) = 1 - F\left(V_{ö} - \sum_{i=1}^{7} V'_{1i}\right) \tag{10}$$

képlettel kapott valószínűséggel jellemezhetjük, vagyis azzal: mi annak a valószínűsége, hogy a valóságos H nagyobb az általunk föltételezettnél? A *VII. táblázat*-ban néhány h-ra megadtuk a (10) szerinti valószínűséget. Látható, hogy az így meghatározott átlagos hatékonyság nagy valószínűséggel

VII. TÁBLÁZAT

Különböző szintet meghaladó átlaghatékonyságok (h) valószínűségei a 10 *formula alapján*

h %	55	60	61	62	63
P (H > h)	1,00	1,00	0,98	0,70	0,16

60 és 63% között van, vagyis meglepően jól egyezik a korábban kapott eredménnyel.

Felvetődhet a kérdés: a viszonylag kevés pontból meghatározott regressziós becslés alapján számított hatékonyság-értékek elég megbízhatók-e? Ezért az átlagos hatékonyságot meghatároztuk más módszerrel is.

VIII. TÁBLÁZAT

Különböző szintet meghaladó átlaghatékonyságok valószínűsége a kárhányadok alapján

h %	40	49	50	51	53	56	60
P (H>h)	1,00	0,99	0,98	0,95	0,89	0,70	0,35

Vizsgáljuk a hét év alatt bekövetkezett kár és az ezen időszakban befizetett biztosítási díj hányadosát (vagyis az átlagos kárhányadot). Ekkor — h %-os hatékonyságot föltételezve — az átlagos kárhányad

$$\overline{KH} = \frac{V_{\ddot{o}}}{\sum_{i=1}^{7} D_i} = \frac{100}{100-h} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{7} T_i}{\sum_{i=1}^{7} D_i} \qquad (11)$$

lett volna védekezés nélkül. (Az összegezés a védekezés éveire történik, $V_{\ddot{o}}$-t a (7) képlettel határoztuk meg.) Az előbbi eljárást megismételve az átlagos kárhányadok eloszlásából határozzuk meg a $P(H > h)$ valószínűségeket. Az eredményeket — néhány h-ra — a *VIII. táblázat* tartalmazza.

Itt valamivel alacsonyabb értékeket kaptunk, 50—55%-os hatékonyság tételezhető fel nagy valószínűséggel. Az eltérés a korábbi eredményektől egyrészt azzal magyarázható, hogy — biztosítási rendszerünk sajátosságai miatt — a kárral együtt a biztosítási díj is csökken a védekezés következtében; másrészt azzal, hogy a biztosítási díj és a kár között a lineáris kapcsolat kevésbé jó, mint a biztosítási összeg és a kár között.

Így eredményeink nem ellentmondók, a védekezés nélkül bekövetkező kár becslésére használhatjuk a (4') formulát. Ezek után térjünk rá a jövedelmezőség vizsgálatára.

A (3) képlethez T rendelkezésre áll, V-t pedig a bázisidőszak átlagával illetve (4') alapján határozzuk meg. A jégesőelhárítás költségei két különböző jellegű részre bonthatók: beruházási és fenntartási kiadásokra. A beruházá-

IX. TÁBLÁZAT

A jövedelmezőség alakulása a vizsgált időszaktól függően a bázisidőszakos (a) és a (4') becslés (b) alapján számolva

Időszak	K (mFt)	*a)*		*b)*	
		V — T (mFt)	J (%)	V — T (mFt)	J (%)
1976	42	105	150	136	224
1976—77	66	195	196	266	303
1976—78	86	234	172	348	305
1976—79	109	269	147	427	292
1976—80	137	312	128	528	285
1976—81	168	356	112	656	291
1976—82	208	413	99	825	287

si tételek amortizációs kulcsait nem ismerjük, így – az egyszerűség kedvéért – az egész összeget figyelembe vettük. Az éves fenntartási költségek egy részével hasonló a helyzet, tudniillik a beszerzett álló- és fogyóeszközök, valamint anyagok nem használódnak el teljesen az adott évben, de ezt a részt sem áll módunkban meghatározni.

A *IX. táblázat*-ban – a várható kár kétféle meghatározására – különböző időszakokra adjuk meg a jövedelmezőséget. *K* értékét a kezdeti beruházás és a vizsgált évek fenntartási költségeinek összegeként határoztuk meg.

X. TÁBLÁZAT

A növénybiztosítási összeg: E, *növénybiztosítási díj:* D *és a jégkártérítés:* T *Baranyában*, 1962–1982

Év	E (eFt)	D (eFt)	T (eFt)
1962	761 454	12 028	264
1963	847 547	12 879	14 402
1964	865 523	12 833	10 470
1965	906 545	13 413	39 617
1966	1 023 964	15 517	15 122
1967	1 090 391	17 246	19 817
1968	1 435 248	36 002	41 767
1969	–	46 586	45 805
1970	1 820 951	47 662	74 833
1971	2 026 097	55 879	123 205
1972	1 907 625	87 098	107 139
1973	1 902 360	80 910	89 593
1974	2 074 060	80 815	195 990
1975	–	99 860	126 964
1976	2 672 800	129 912	23 058
1977	2 793 485	130 067	34 591
1978	2 826 462	122 374	88 885
1979	2 840 924	120 217	98 701
1980	3 010 489	125 279	84 620
1981	3 331 051	132 883	84 207
1982	3 422 612	126 146	71 194

Mint a IX. táblázatból látható, a (4') becslés szerint minden, a jégeső elhárításra fordított forint már rövid távon is körülbelül három forint tiszta hasznot eredményez.

Számításaink ellenőrizhetősége végett az alábbi, *X. táblázat*-ban megadtuk a felhasznált biztosítási adatokat.

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Állami Biztosító Központja Mezőgazdasági Kárrendezési Osztályának és Baranya-megyei Igazgatóságának az értékeléshez szükséges adatok rendelkezésünkre bocsátásáért és az évek folyamán tanúsított jó együttműködési készségükért.

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.* Gidrometeoizdat, Leningrad.

Atlas, D., 1977: The paradox of hail suppression. *Science 195*, 139–145.

Bálint Gy., Csaplak, A., Czakó F. és *Wirth E.*, 1969: *Koncepciótervezet a jégeső-elhárító kisérletek előkészítésére.* OMFB-kiadvány, Budapest.

Battan, L. J., 1977: Weather modification in the Soviet Union–1976. *Bulletin of the American Meteorological Society 58*, 4–19.

Borland, S. W., 1977: Hail suppression: progress in assessing its cost and benefits. *Met. Mon. 16*, 155–175.
Burcev, I. I., 1976: Hail suppression. *Papers presented at the Second WMO Scientific Conference on Weather Modification.* WMO-No. 443, Genevaú, 217–222.
Burcev, I. I., 1980: Hail suppression activities in the Soviet Union. *Papers presented at the Third WMO Scientific Conference on Weather Modification.* WMO, Geneva, 547–554.
Changnon, S. A., 1976: Scales of hail. *J. Appl. Met. 12*, 1–38.
Changnon, S. A., 1977: On the status of hail suppression. *Bull. Am. Met. Soc. 58*, 20–27.
Conference-Workshop on Hailstorms and Hail Prevention, 1982, Sofia, Bulgaria.
Crow, E. L., Long, A. B., Dye, J. E., Heymsfield, A. J. and *Mielke, P. W.*, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part II: Surface data base and primary statistical analysis. *J. Appl. Met. 18*, 1538–1558.
Federer, B., 1980: Aktuelle Probleme der Wolkenphysik. *Meteorol. Rundsch. 33*, 43–49.
Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Rosini, E., Vento, D., Admirat, P. and *Mezeix, J. F.*, 1978/79: Plan for the Swiss randomized hail suppression experiment. Design of Grossversuch IV. *Pageoph. 117*, 548–571.
Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Schweingruber, M., Mezeix, J. F., Doras, N., Vento, D. and *Stahel, W.*, 1982: First results of Grossversuch IV. *Conference-Workshop on Hailstorms and Hail Prevention.* Sofia, Bulgaria.
Foote, B. G. and *Knight, C. A.*, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part I: Design and conduct of the experiment. *J. Appl. Met. 18*, 1526–1537.
Flueck, J. A. and *Mielke, P. W.*, 1977: Design and evaulation of hail suppression experiments. *Met. Mon. 18*, No. 38. 225–233.
Földvári, J. és *Wirth, E.*, 1979: *Jégeső-elhárítás Magyarországon.* Baranya megyei Tanács kiadványa, Pécs.
Gulyás, O. és *Légrádi, G.*, 1978: Kísérlet a jégeső-elhárítás hatékonyságának becslésére. Kézirat.
Henderson, T. J., 1975: Observation of the Soviet hail projects. *J. Weather Mod. 7*, 101–108.
Howell, W., 1966: Conceptual models that guide applied cloud seeding. *Bull. Am. Met. Soc. 47*, 397–400.
Knight, C. A., Foote, G. B. and *Summers, P. W.*, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part IX: Overall discussion and summary in the context of physical research. *J. Appl. Met. 18*, 1629–1639.
Lovell, C. C., 1972: Some aspects of the suppression program in the National Hail Research Experiment. *Preprints Third Conf. Weather Modification*, Rapid City, Amer. Met. Soc., 44–47.
Poluektova, L. P. and *Tsykunov, V. V.*, 1973: On physical and economical effectiveness of hail-suppression projects. *Proceedings of the WMO/IAMAP Scientific Conference on Weather Modification* Tashkent, 459–472.
Proceedings of the WMO/IAMAP Scientific Conference on Weather Modification. Tashkent, 1973. WMO – No. 399.
Rouet, J. P. and *G. Der Megreditchian*, 1980: Methodological aspects of the statistical control using hailpad data, of the effectiveness of a hail modification experiment. *Papers presented at the Third WMO Scientific Conference on Weather Modification*, WMO, Geneva, 771–776.
Stanchev, K. and *Simeonov, P.*, 1977: Ob ocenke effektivnosti vozdeystvia na gradovye processy na dvuh poligonah v Bolgarii. *Hidrologia i Meteorologia 26*, 37–46.
Summers, P. W., 1979: Major Weather modification activities other than precipitation enhancement. *PEP Report*, No. *13*, 153–171.
Szabó, L. és *Vástyán, Z.*, 1980: Jégkáranalízis. Kézirat.
Székely, Cs. és *Zoltán, Cs.*, 1984: A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei. *Időjárás, 88.* 32–45.
Szulakvelidze, G. K., 1967: *Livnyeviye oszadki i grad.* Gidrometeoizdat, Leningrád.
Wirth, E., 1969: Jégesőképződési elméletek és megelőzési módszerek a Szovjetunióban. *Időjárás, 73*, 99–108.
Wirth, E., 1976a: A jégeső-elhárítás gazdasági hatékonyságának becslési módszerei. Kézirat.
Wirth, E., 1976b: A „védett terület" definíciója. Kézirat.
Wirth, E., 1984: A jégesőelhártás Magyarországon. Megjelenés alatt az *Időjárás*-ban.
Waldvogel, A., Federer, B., Schmid, W. and *Mezeix, J. F.*, 1978: The kinetic energy of hailfalls. Part II: Radar and hailpads. *J. Appl. Met. 17*, 1680–1693.
WMO-Registers of National Weather Modification Projects, 1976–1982, Geneva, Switzerland.
Wojtiw, L. and *Renick, J. H.*, 1973: Hailfall and crop damage in Alberta. *Preprints 8th Conf. Severe Local Storms*, Denver, Am. Met. Soc., 138–141.
Zoltán, Cs. and *Geresdi, I.*, 1984: One dimensional steady-state jet model. *Időjárás, 88.* 12-31.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 1. Jan. – Feb. 1984. Budapest

A one-dimensional steady-state jet model for thunderclouds

ZOLTÁN, CS.—GERESDI, I., *Hungarian Meteorological Service, Applied Cloud Physics Center, H-7601 Pécs, Pf. 353*

Zivatarfelhők egydimenziós stacionárius jet modellje. A modellt az operatív jégesőelhárítás számára fejlesztettük ki. A leírásában kritikus szerepet játszó besodródási arányt két közelítő összefüggéssel is megadtuk. A felhőalap hőmérsékletének és magasságának számítására négyféle módszert próbáltunk ki. A modellt egy konkrét meteorológiai helyzetben teszteltük. A számított paraméterek közül a felhőtető magasságát radar mérésekkel hasonlítottuk össze.

⁂

A *one-dimensional steady-state jet model for thunderclouds.* A one-dimensional steady-state cloud model developed for operational hail suppression is presented. The entrainment rate is given in two different ways. The temperature and the height of the cloud base are determined by four methods. The model is tested in a concrete meteorological situation. From the calculated parameters the height of the cloud top is compared with radar measurements.

⁂

Introduction. Numerical cloud models have played more and more important role in weather modification since early 1970s. Their usefulness were proven in precipitation enhancement experiments (*Weinstein*, 1972; *Simpson* and *Wiggert*, 1971) and they grew in favour in hail suppression too. The models make possible to calculate some parameters of a thunderstorm cell, which can be measured little, or not at all, by radiosonde and common weather radar. Several types of models were developed depending on their application. Two or three dimensional and time dependent models are mostly, used in theoretical investigations (e. g. to calculate the efficiency of cloud seeding in hail suppression, *Farley* and *Orville*, 1982). The application of these models require great computer capacity. In addition to collect input data and to control the results require a sophisticated technology. In the operational hail suppression the one-dimensional jet models have come into general use (*Weinstein*, 1971). Their application is advantageous in many respects. In spite their simplicity they give some cloud parameters (e. g. heigth of the cloud top, water content) well enough. Their input data can be given by a sounding. Their short running time makes possible to provide data for the short and ultra-short range weather forecast and for the operational hail suppression (*Stoyanov* and *Boev* 1978). In the paper we deal with a one-dimensional steady-state cloud model developed for use in operational hail suppression. It is a modified version of an earlier model (*Geresdi* et al., 1982). The description of the phase changes of water substance is given here in more detail.

List of symbols

A	constant in freeze equations	$0.66\,K^{-1}$
a	constant in distribution of water drops	$m^{-3}kg^{-1}$
B	constant in freeze equations	$100\,m^{-3}s^{-1}$
b	constant in distribution of water drops	m^{-1}
c_p	specific heat of dry air at constant pressure	$1007\,Jkg^{-1}K^{-1}$
D	diameter of water drop	m
dQ_c	released heat of condensation	J
dQ_d	released heat of deposition	J
dQ_f	released heat of freezing	J
e	weighted vapour pressure in the jet	Pa
e_o	vapour pressure in the environment	Pa
e_i	saturation vapour pressure with respect to ice	Pa
e_w	saturation vapour pressure with respect to water	Pa
g	acceleration of gravity	$9.81\,ms^{-2}$
L_c	latent heat of condensation	Jkg^{-1}
L_d	latent heat of deposition	Jkg^{-1}
L_f	latent heat of fusion	Jkg^{-1}
m	mass of air parcel	kg
N_w	water drop concentration of diameter D	kg^{-1}
n_w	water drop concentration	kg^{-1}
P	probability of a drop freezing	
p	air pressure	Pa
q	water vapour mixing ratio in the jet	$kg \cdot kg^{-1}$
q_o	water vapour mixing ratio in the environment	$kg \cdot kg^{-1}$
$\overline{q_o}$	average water vapour mixing ratio in the environment	$kg \cdot kg^{-1}$
R	gas const. for dry air	$286.7\,Jkg^{-1}K^{-1}$
r	jet radius	m
T	temperature in the jet	K
T_o	temperature in the environment	K
T^v	virtual temperature in the jet	K
T^v_0	virtual temperature in the environment	K
t	time	s
V	volume of air parcel	m^3
v	updraft velocity	ms^{-1}
v_o	wind velocity in the environment	ms^{-1}
w	vertical component of the updraft velocity	ms^{-1}
x	variable of integration	
z	height	m
α	entrainment coefficient	0.1
ε	ratio of gas constant for dry air to that of water vapour	0.622
Θ	potential temperature	K
$\overline{\Theta}$	average potential temperature	K
μ	entrainment rate	m^{-1}
ϱ	density of moist air in the jet	kgm^{-3}
ϱ_w	density of water	$1000\,kgm^{-3}$
σ	hydrometeor mixing ratio	$kg \cdot kg^{-1}$
σ_i	ice mixing ratio	$kg \cdot kg^{-1}$
σ_{iw}	liqued water mixing ratio	$kg \cdot kg^{-1}$

1. *The dynamics of the jet*

Lagrangian method is used for dynamic description of the updraft. The following simplifications are introduced: the jet and its environment are steady-state, the isobaric surfaces crossing the jet are horizontal and the horizontal cross-sections of the jet are circles at any level.

Let the air parcel be a cylinder of thickness Δz and of radius r and its base horizontal *(Fig. 1)*. The mass of the air parcel is $m = \varrho r^2 \pi \Delta z$, where ϱ is the density of moist air in the jet. (Δz is so small, that the air parcel can be considered homogeneous.)

2. *Continuity of air*

The concept of entrainment, formulated first by *Stommel* (1947) has been proven by observations and measurements (e. g. *Squires* and *Turner*, 1962).

In our model it was supposed, that the inflowing air mixes well with the air parcel at any level. (It must be noted that there is also detrainment in real cases, but our model does not includ this effect.) According to the most generally used approximation, the inflow velocity is proportional to the vertical velocity component of the air parcel (*Squires* and *Turner*, 1962; *Orville* et al., 1980, *Stoyanov*, 1975). On the basis of these assumptions the entrainment rate μ is

$$\mu \equiv \frac{1}{m}\frac{dm}{dz} = \frac{2\alpha}{r}\cdot\frac{T^v}{T_0^v}, \tag{1}$$

where T^v and T_0^v are the virtual temperatures in the jet and in its environment, respectively. The proportionality factor α is equal to 0.100 ± 0.015 in case

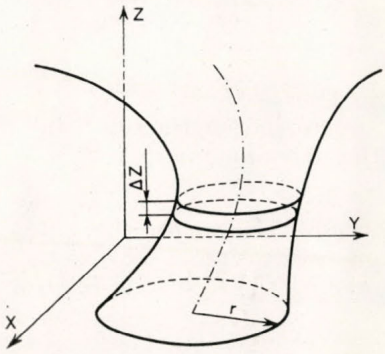


Fig. 1 : Schematic illustration of the jet and the air parcel

of large updraft velocity. According to *Sloss'* (1967) measurements the entrainment rate can not be given by (1). *Simpson* (1971) fitted the next empirical relationship to these measurements:

$$\mu = 7.6\cdot10^{-5}\,\mathrm{m}^{-1} + \frac{7\cdot8\cdot10^{-2}}{r} \tag{2}$$

Substituting the expression of the mass of air parcel into the definition of the entrainment rate for the change in the jet radius with height, we obtain

$$\frac{dr}{dz} = \frac{r}{2}\left[\mu - \frac{1}{w}\frac{dw}{dz} - \frac{1}{\varrho}\frac{d\varrho}{dz}\right], \tag{3}$$

where w is the vertical component of the updraft velocity. (In the calculations Δz was supposed to be so small that $\frac{1}{\Delta z}\cdot\frac{d\Delta z}{dt} \approx \frac{dw}{dz}$. This requirenment can be satisfied, because $\lim_{\Delta z \to 0} \frac{1}{\Delta z}\cdot\frac{d\Delta z}{dt} = \frac{dw}{dz}$.) Using the barometric formula and the ideal gas law we can eliminate the density from (3):

$$\frac{dr}{dz} = \frac{r}{2}\left[\mu - \frac{1}{w}\frac{dw}{dz} + \frac{g}{RT_0^v} + \frac{1}{T^v}\cdot\frac{dT^v}{dz}\right] \tag{4}$$

where g is the gravitational acceleration and R is the gas constant for dry air.

3. *The equation of motion*

Supposing that all hydrometeors are always falling at their terminal velocity, the vector equation of motion of the air parcel is

$$d(m\boldsymbol{v}) = \boldsymbol{v}m\left[\frac{T_0^v - T^v}{T_0^v} + 5\right]dt + \boldsymbol{v}_0\,dm, \tag{5}$$

where $\boldsymbol{v}$ is the updraft velocity in the jet, $\boldsymbol{v}_0$ is the velocity of the environment, ζ is the mixing ratio of the sum of the liquid water and ice (hydrometeor mixing ratio).

It is supposed that the compensating downflow occurs at a great distance from the jet and for this reason the entraining air has no vertical velocity component (*Squires* and *Turner*, 1962).

4. *Continuity of total water content*

In the jet the total water content of the ascending parcel is changed by the entrainment:

$$d[m(\sigma + q)] = q_0\,dm, \tag{6}$$

where q and q_0 are the water vapour mixing ratios in the jet and out of the jet, respectively. The water vapour mixing ratio can be given approximately by the following relation:

$$q \approx \varepsilon\frac{e}{p}, \tag{7}$$

where ε is the ratio of the gas constant for dry air to that of water vapour, p is the air pressure. A weighted vapour pressure is used in the jet (*Squires* and *Turner*, 1962; *Wisner* et al., 1972):

$$e = \frac{e_w\,\sigma_w + e_i\,\sigma_i}{\sigma}, \tag{8}$$

where σ_w and σ_i are the mixing ratios of liquid water and ice, e_w and e_i are the saturation vapour pressures over flat water and ice surfaces, respectively. The vapour pressures and their derivatives are given by the empirical Tetens formulas:

$$e_w = \exp\left(\frac{23.684T - 4948.2\ \mathrm{K}}{T - 35.9\ \mathrm{K}}\right);\quad \frac{de_w}{dz} = e_w\frac{4097.9\ \mathrm{K}}{(T - 35.9\ \mathrm{K})}\cdot\frac{dT}{zd};$$
$$e_i = \exp\left(\frac{28.291T - 6019.1\ \mathrm{K}}{T - 7.5\ \mathrm{K}}\right);\quad \frac{de_i}{dz} = e_i\frac{5806.9\ \mathrm{K}}{(T - 7.5\ \mathrm{K})^2}\cdot\frac{dT}{dz}. \tag{9}$$

Using (6), (7) and (8) we obtain the height derivative of the hydrometeor mixing ratio:

$$\frac{d\sigma}{dz} = \frac{\mu\left(e_0 - e - \dfrac{\sigma p}{\varepsilon}\right) - \left[D_1\dfrac{dT}{dz} + (e_w - e_i)\dfrac{\sigma}{1}\cdot\dfrac{d\sigma_w}{dz} + e\dfrac{g}{R\,T_0^v}\right]}{\dfrac{p}{\varepsilon} - (e_w - e_i)\dfrac{\sigma_w}{\sigma^2}} \tag{10}$$

where $D_1 = \left(e_w \frac{4097.9\text{K}}{(T-35.9\text{K})^2} - e_i \frac{5806.9\text{K}}{(T-7.5\text{K})^2}\right)\frac{\sigma_w}{\sigma} + e_i \frac{5806.9\text{K}}{(T-7.5\text{K})^2}$

and e_0 is the vapour pressure in the environment. The $d\sigma_w/dz$ and dT/dz terms are unknown in the above equation, therefore they will be analysed in detail in the next two sections.

5. *The liquid water mixing ratio*

In the model the change in the liquid water mixing ratio is caused by three effects:

a) The growth of mass of the ascending air parcel
b) Condensation and evaporation
c) Freezing of water drops

The change of liquid water in the air parcel can be written in the following manner:

$$d(m\sigma_w) = d'(m\sigma_w) + d''(m\sigma_w). \tag{11}$$

Here d' denotes the change due to condensation or evaporation and d'' denotes the change due to freezing. Condensation and evaporation are supposed to be proportional to the change in mass of all hydrometeors:

$$d'(m\sigma_w) = f\, d(m\sigma). \tag{12}$$

To specify f is one of the problems in cloud modelling, because exact solution of the diffusion equation is very difficult, if not impossible, in a three-phase, dispersed, non steady-state system. Essentially different approaches can be found in the literature (e. g. *Squires* and *Turner*, 1962; *Wisner* et al., 1972). In our model, we use the the next simple approximation:

$$f = \begin{cases} \frac{\sigma_w}{\sigma} \cdot \frac{e_i}{e_w} & \text{if} \quad T < 273\text{ K} \\ 1 & \text{if} \quad T > 273\text{ K}. \end{cases} \tag{13}$$

If $T > 273\text{K}_1$ the relation expresses that in this temperature range the model does not contain ice. If $T < 273\text{K}$, $f = \frac{\sigma_w}{\sigma} \cdot \frac{e_i}{e_w}$ means that the change in liquid water due to condensation or evaporation should be proportional to its mixing ratio if the ratio of the vapour pressure over water to that of ice were constant, and in this temperature range condensation proceeds more slowly than deposition.

For the calculation of the freezing process we use an empirical equation suggested by *Bigg* (1953). On the basis of laboratory experiments he has suggested the following relation for the freezing probability P for a drop diameter D:

$$\ln(1-P) = B \int_0^t \frac{\pi}{\sigma} D^3 \left[\exp(A(273\text{K}-T)) - 1\right] dx. \tag{14}$$

The values of the constants A and, in particular, B, depend on conditions of the experiment. Instead of the values suggested by *Bigg*, the ones used by *Wisner* et al., (1972) were applied. After differentiation of (14), the number of drops of diameter D frozen during dt can be obtained:

$$dN_w = -B \frac{D^3\pi}{6} N_w [\exp(A(273\text{K} - T)) - 1]dt \tag{15}$$

It will be assumed that the water drop size distribution is of the Khrgian – Mazin type everywhere in the jet:

$$N_w(D) = aD^2 \exp(-bD)\, dD \tag{16}$$

The values of the constants a and b can be calculated from the water drop concentration n and the liquid water mixing ratio. Using this distribution, the change in water drop concentration and liquid water mixing ratio due to freezing is given by

$$\frac{d''n_w}{dz} = -\frac{\sigma_w B[\exp(A(273\text{K} - T)) - 1]}{w\varrho_w}, \tag{17}$$

$$\frac{d''\sigma_w}{dz} = -\frac{28\sigma_w^2 B[\exp(A(273\text{K} - T)) - 1]}{5n_w w\varrho_w} \tag{18}$$

The height derivative of the liquid water mixing ratio can be written with knowledge of f and $\frac{d''\sigma_w}{dz}$

$$\frac{d\sigma_w}{dz} = \mu[f\sigma - \sigma_w] + f\frac{d\sigma}{dz} + \frac{d''\sigma_w}{dz}. \tag{19}$$

It was supposed that $d''(m\sigma_w) = md''\sigma_w$

The number of hydrometeors is assumed to be constant in the air parcel. For this reason the change in its mass influences the water drop concentration

$$\frac{dn_w}{dz} = \frac{d''n_w}{dz} - \mu n_w \tag{20}$$

Using (10) and (19)

$$\frac{d\sigma}{dz} = \frac{\mu[e_0 - e - \sigma D_2] - D_1\frac{dT}{dz} - e\frac{g}{RT\frac{v}{o}} - \frac{1}{\sigma}(e_w - e_i)\frac{d''\sigma_w}{dz}}{D_2} \tag{21}$$

where $D_2 = \frac{P}{\varepsilon} + \frac{1}{\sigma}(e_w - e_i)\left(f - \frac{\sigma_w}{\sigma}\right)$.

6. *The temperature in the jet*

Using the first law of thermodynamics, the change in the enthalpy of the air parcel can be written as

$$d(c_p mT) = c_p T_o\, dm + dQ_f + dQ_d + dQ_c + Vdp \tag{22}$$

The first term on the right side is the enthalpy of entraining air, dQ_f is the released heat of freezing, dQ_d and dQ_c are those of deposition and condensation, respectively. These heats can be given by

$$\frac{dQ_d}{dz} + \frac{dQ_c}{dz} = L_d(1-f)\frac{d(m\sigma)}{dz} + L_c f\frac{d(m\sigma)}{dz}, \tag{23}$$

$$\frac{dQ_f}{dz} = -L_f m \frac{d'' \sigma_w}{dz}, \tag{24}$$

where L_d is the latent heat of deposition, L_c is the latent heat of condensation and L_f is the latent heat of fusion. The dependence on temperature of these latent heats are given by the following equations *(Pruppacher* and *Klett*, 1978):

$$L_c = 2.5003 \cdot 10^6 \left(\frac{273.15\text{K}}{T} \right)^{\gamma} \text{JKg}^{-1}, \tag{25}$$

where $\gamma = 0.167 + 3.67\ 10^{-4}\text{K}^{-1}\text{T}$,

$$L_f = (-10.465\text{K}^{-2} \cdot \text{T}^{-2} + 7747.2\text{K}^{-1} \cdot \text{T} - 1.0017 \cdot 10^6)\ \text{JKg}^{-1}. \tag{26}$$

and $L_d = L_c + L_f$.

Using (9), (21), (22), (23) and (24) the following equation is obtained for the temperature lapse rate in the jet:

$$\frac{dT}{dz} = \left\{ \mu \left[D_2 (T_0 - T) + \frac{\hat{L}}{c_p} (e_0 - e) \right] - D_2 \left(\frac{L_f}{c_p} \frac{d'' \sigma_w}{dz} + \frac{g}{c_p} \cdot \frac{T^v}{T_0^v} \right) - \right. \tag{27}$$

$$\left. - \frac{\hat{L}}{c_p} \left[e \frac{g}{R T_0^v} + (e_w - e_i) \frac{1}{\sigma} \frac{d'' \sigma_w}{dz} \right] \right\} \Big/ \left(D_2 + \frac{\hat{L}}{c_p} D_1 \right),$$

where $\hat{L} = L_d - f L_f$.

7. *Initial conditions*

The model describes the updraft in a mature thunderstorm. For solving the differential equations which describe the jet one has to know the environmental parameters of the ascending air parcel (temperature, humidity, wind velocity) and its initial stage. The air parcel is started at the condensation level (cloud base), where the initial parameters are:

height of the cloud base,	cloud radius,
cloud temperature,	liquid water mixing ratio,
updraft velocity,	drop concentration.

The data from soundings, considering their representativeness, give a right description about the environment of the air parcel, but they are insufficient to determine the above-mentioned parameters at the cloud base.

The following methods were tried to determine the height and the temperature of the condensation level by the help of radiosoundings and surface measurements:

a) Calculate the average mixing ratio and potential temperature in the lower 900 m of sounding representative of the environment just prior to thunderstorm activity:

$$\bar{q}_0 = \frac{1}{900} \int_0^{900} \varepsilon \frac{e(z)}{p(z)} dz\ , \qquad \bar{\Theta}_0 = \frac{1}{900} \int_0^{900} \Theta_0 (z)\ dz\,. \tag{28}$$

Lift these values upward along their respective isopleths until saturation is reached. Then the temperature and height correspond to the temperature

and height of the cloud base. This procedure was suggested by *Foster* and *Bates* (1956).

b) Potential temperature and mixing ratio of the air parcel is equal to the average values measured at the surface of the given territory. This air parcel is lifted to determine the height and temperature of the cloud base in the above manner.

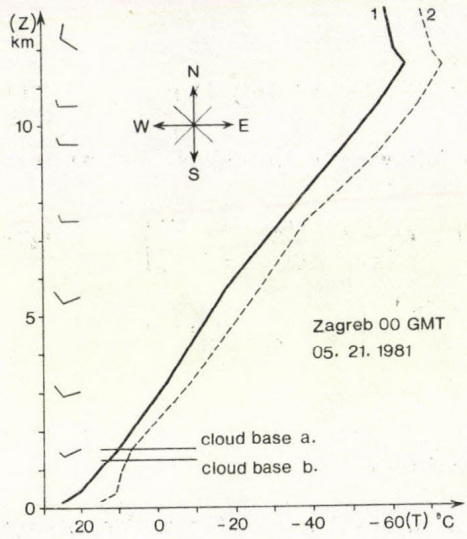


Fig. 2: The sounding of Zagreb. 21. 05. 1982. 00 GMT. Both different heights of cloud bases calculated by method *a.* and *b.* are also drawn. [(1) temperature, (2) dew point temperature, flags indicate the direction and the velocity of wind, half flag means 2 – 3 m/s, flag means 4 – 6 m/s]

c) At the condensation level the virtual temperature of the air parcel is equal to that of its environment (*Squires* and *Turner*, 1962). The height was determined by using the procedure described at *a)*

d) The temperature was determined as in *c)*, the height of the cloud base was calculated in the same way as in.

The initial values of updraft velocity, cloud radius and microphysical parameters were taken from the literature, because direct measurements had not been available.

The initial radius was chosen to be 5 km on the basis of measurements reported by *Byers* and *Braham*, (1949). 3 km and 7 km initial radii were being tried out too. Using these values the greatest difference between the calculated cloud tops was about 1 km. (Here the cloud top means the height where the vertical component of the updraft velocity becomes zero *(Simpson* and *Wiggert*, 1971*)*.) The difference was found to depend on the entrainment ratio. Using expression (1) the differences were greater than in the case of expression (2).

At the condensation level the horizontal velocity component of the air parcel was supposed to be equal to that of its environment. The initial vertical velocity component of the jet was chosen to be 5 m/s. When this initial value was changed by ± 2 m/s only differences of several hundred metres in the cloud top were obtained.

On the basis of data reported by *Mason* (1957) the mean droplet radius

is about 5 μm and the average droplet concentration is 10^8 kg^{-1} at the base of continental Cumulonimbus. The initial value of the liquid water mixing ratio can be calculated from these data and equals to 5.24 10^{-5} kg/kg.

8. *Results*

The model described in this paper can not be applied in the case of fronts. Therefore, to present results of the model we chose such a day (21. 05. 1982).

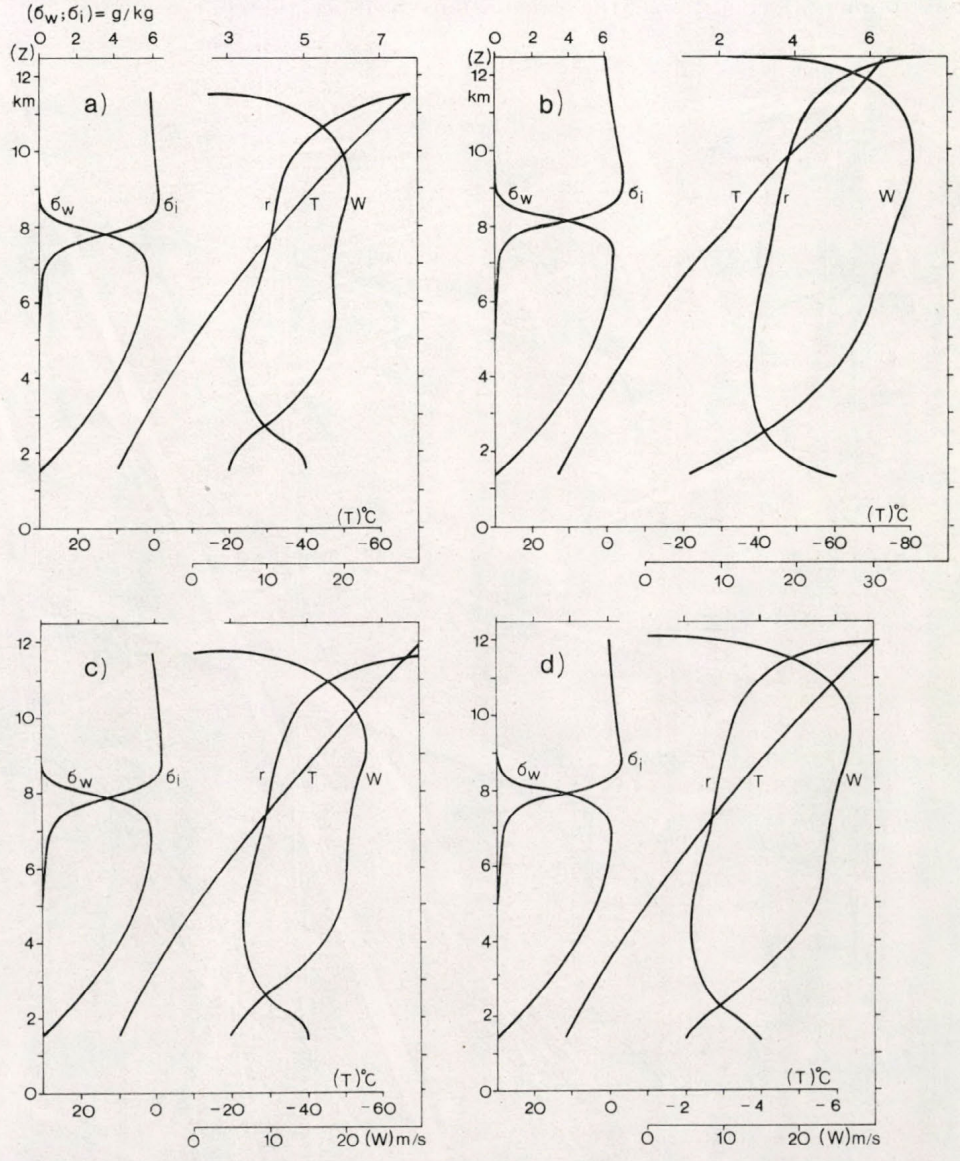


Fig. 3: Cloud parameters calculated by using entrainment rate *(1)*, the cloud bases determined by *a*, *b*, *c*, and *d* methods, respectively.(*T* is the cloud temperature, *W* is the vertical component of the updraft velocity, *r* is the jet radius, σ_w is the liquid water mixing ratio, σ_i is the ice mixing ratio)

when heavy showers and thunderstorm were formed in homogeneous air-masses in the west-part of the country. The sounding of Zagreb 21. 05. 1982. 00 GMT was used to define the environment of the jet, because the general orientation of the flow was from south-west *(Fig. 2.)*. The cloud base was determined by using the data of meteorological stations located in the southern part of Transdanubia as well. The height of cloud bases calculated by method *a)* and *b)* are shown in Fig. 2. Using the above initial and environmental conditions, the calculations were carried out applying both

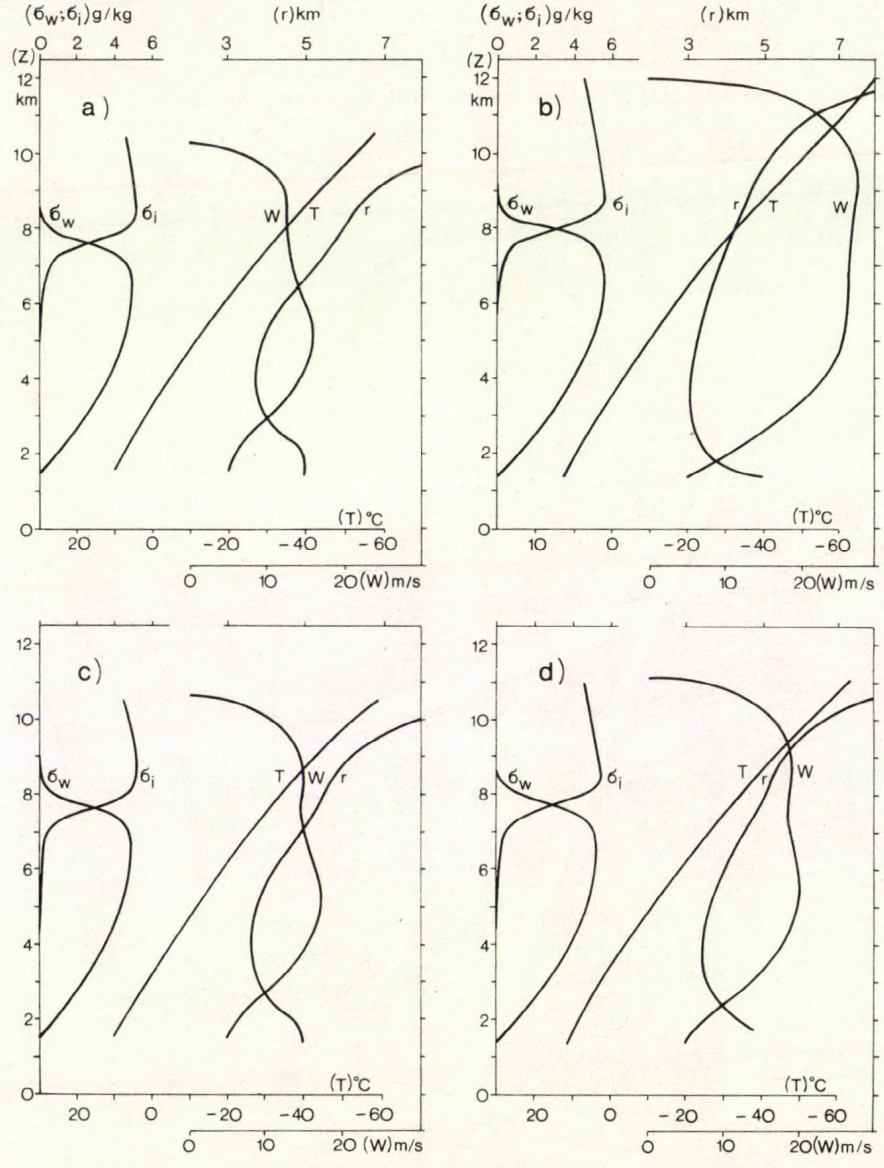


Fig. 4: As in Fig. 3. except that the entrainment rate is given by expression *(2)*

entrainment rates [equations (1) and (2)]. Results are shown in *Fig. 3* and *Fig. 4.*

The height of the cloud top calculated from the model is the only parameter which can be checked by radar measurements. (In our case the error of height measurements using an X-band radar is about ± 500 m.) The tallest thunderstorms of this day were 12 km high in Baranya county between 9 and 11 GMT. The comparisons between the calculated and measured maximum cloud tops show greater differences than the measuring error in Fig. *3b*, *Fig. 4a, c, d.* In cases of *4a, c* and *d* the entrainment rate was given by (2). This type of entrainment rate probably can not be used in our situation. In case of 3b the cloud base was determined by method *b)*. In our opinion this method overestimates the temperature of the air parcel at the cloud base. (In this case the temperature excess was greater than 1 °C.)

Naturally, these problems can not be resolved by investigation only a single case. More reliable and more accurate inference can be drawn only by using a large enough and more representative input and control data set. Unfortunately, no radar or other kind of control measurements are available can be regarded representative. This situation will substantially be improved by the installation of three (storm warning) weather radars in Hungary in the near future.

REFERENCES

Bigg, E. K., 1953: The Formation of Atmospheric Ice Crystals by the Freezing Droplets. *Qart. J. Roy. Met. 79*, 510–519.

Byers, H. R. and *Braham, R. R.*, 1949: The Thunderstorm. U. S. Govt. Print. Office, Washington D. C.

Farley, R. D. and *Orville, H. D.*, 1982: The Numerical Modelling of Hailstorm and Cloud Seeding Effects. *Conference-Workshop on Hailstorm and Hail Preventation*, Sofia.

Foster, D. S. and *Bates, F. C.*, 1956: A Hail Size Forecasting Technique. *Bull. Amer. Meteor Soc. 37*, 135–141.

Geresdi I., Molnár K. and *Zoltán Cs.*, 1982: Egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell. *Beszámolók 1980*, 225–233. (OMSZ Budapest)

Mason, B. J., 1957: *The Physics of Clouds.* Clarendon Press, Oxford.

Orville, H. D., Hirsch, J. H. and *May, L. E.*, 1980: Application of a Cloud Model to Cooling Tower Plumes and Clouds. *J. Appl. Meteor. 19*, 1260–1272.

Pruppacher, H. R. and *Klett, J. D.*, 1978: *Microphysics of Clouds and Precipitation.* D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.

Simpson, J., 1971: On Cumulus Entrainment and One-Dimensional Models. *J. Atm. Sci. 28*, 449–455.

Simpson, J. and *Wiggert, V.*, 1971: 1968 Florida Cumulus Seeding Experiment: Numerical Model Results. *Mon. Weath. Rev. 99*, 87–117.

Sloss, P. W., 1967: An Empirical Examination of Cumulus Entrainment. *J. Appl. Meteor. 6*, 878–881.

Squires, P. and *Turner, J. S.*, 1962: An Entraining Jet Model for Cumulo-nimbus Updraught. *Tellus 14*, 422–434.

Stommel, H., 1947: Entrainment of Air into a Cumulus Cloud. *J. Meteor. 4*, 91–94.

Stoyanov, S., 1975: Struynaya model konvektivnich oblakov. *Hidrologia i Meteorologia 3.*

Stoyanov, S. and *Boev, P.*, 1978: Fiziko-statistitseskij podhod k analizu gradovich yavlenij na osnove rastsetov s pomosju strujnoj modeli konvektivnich oblakov. *Hidrologia i Meteorologia 5.*

Weinstein, A. I., 1971: Application of Numerical Models to Cumulus Cloud Modification. *J. Weath. Mod. 3*, 177–185.

Weinstein, A. I., 1972: Ice-Phase Seeding Potential for Cumulus Cloud Modification in the Westen United States. *J. Appl. Meteor. 11*, 202–210.

Wisner, C., Orville, H. D. and *Myers, C.*, 1972: A Numerical Model of Hail-Bearing Cloud. *J. Atm. Sci. 29*, 1160–1181.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 1. Jan. – Feb. 1984. Budapest

A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei

SZÉKELY CSABA—ZOLTÁN CSABA, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ, H-7601 Pécs, Pf. 353*

The hailpad and possibilities of its usefulness. The paper reports on some characteristics of the hailpad itself and those of the hailpad measurements too. After presentation of the hailpad, the calibration problems and quantities which can be measured by hailpads are discussed. Selected data of hailpad measurements in Baranya county during 1978 – 81 are presented in figures and in a table.

⁎

A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei. A cikk a jégesőindikátor és a jégesőindikátoros mérések jellemzőbb tulajdonságait tárgyalja. A jégesőindikátor bemutatása után a hitelesítés problémáival, majd a jégesőindikátorral mérhető mennyiségekkel foglalkozik. Tájékoztatást ad az 1978 – 81. évi Baranya megyei jégesőindikátoros mérésekről.

⁎

Az időjárási jelenségek mennyiségi leírása a meteorológiai kutatások egyik alapvető kérdése. Egyes jelenségek (pl. a hőmérséklet, a szélsebesség és -irány, a légnyomás stb.) megfigyelése és mérése alapvetően megoldottnak tekinthető, míg más jelenségek esetében a helyzet nem kielégítő. A jégeső is ez utóbbiak közé tartozik, annak ellenére, hogy minden évben jelentős gazdasági károkat okoz. (*Bálint* 1967) adatai szerint ez a kár Magyarországon, évi átlagban kb. 2,4%-os termésveszteség; ÁB-adatok alapján pedig 1971 és 1981 között átlagosan évi 1 – 1,5 milliárd Ft 300 – 350 ezer ha területen.)

Bár jégesőre vonatkozó megfigyelések Magyarországon a XVIII. század végétől ismertek (*Aujeszky*, 1947), a pontosabb mennyiségi leírásokhoz szükséges mérések megszervezésére csak a jégesőelhárítás bevezetése (1976) óta történtek lépések (*Wirth* és *Zoltán*, 1979).

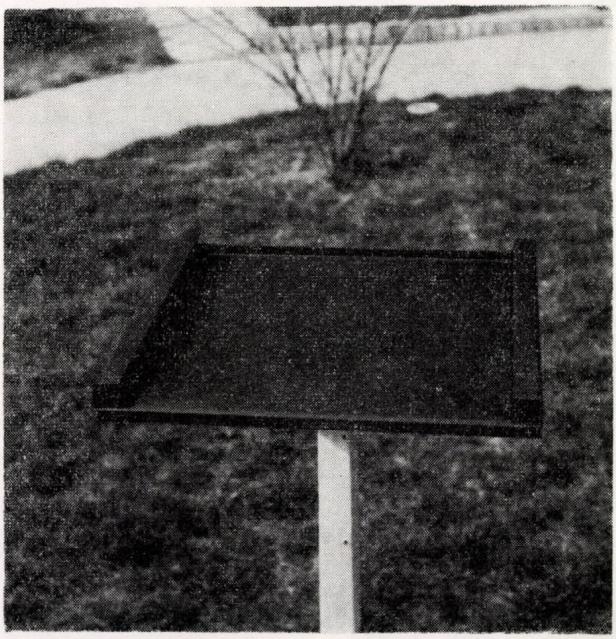
A nehézségek a jégesők szeszélyes tér- és időbeli eloszlásából, valamint a mérendő mennyiségek jellegéből adódnak. A jégfoltok jellemző méretei néhány száz métertől néhányszor tíz kilométerig terjednek. Magyarországon egy-egy meteorológiai állomáson megfigyelt és feljegyzett jégesők sokévi átlaga 1 – 3 között mozog (*Bacsó* et al., 1953), de előfordul az is, hogy egy megfigyelőhelyen évekig nem esik jég.

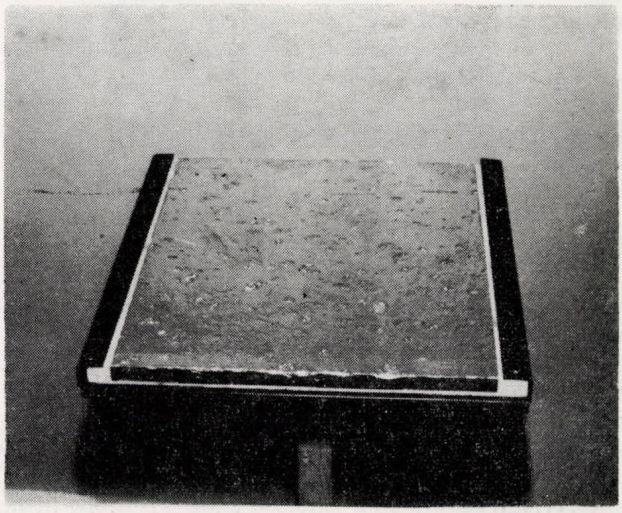
Ezek szerint megbízható információk csak sűrű mérőhálózattal nyerhetők. Ez megköveteli, hogy a mérőműszerek olcsók és könnyen kezelhetőek legyenek. Ugyanakkor feltétlenül mérnünk kell a jégszemek számát és méreteloszlását. Ezen paraméterek ugyanis nemcsak a képződési folyamatok elméleti vizsgálatánál fontosak, hanem jelentős mértékben befolyásolják a jégesők okozta gazdasági károkat is.

A jégszemek méretének megfigyelésére nincs egységesen elfogadott ész-

lelési útmutatás. Magyarországon például az észlelő csak az állomás területére lehullott legnagyobb jégszem méretét köteles jelenteni az időjárási táviratban; a nagyság megállapítása vizuálisan (a borsó, mogyoró, cseresznye, dió, galamb- és tyúktojás méretével való összehasonlítással) történik (*Bálint* és *Wirth*, 1970). Ez a módszer nem kielégítő.

A méreteloszlás mérésére szolgáló műszerek többsége viszonylag drága: a jégszemeket mechanikailag osztályozza és fotoelektromosan számlálja, vagy





1. ábra: Magyarországon jelenleg használt jégesőindikátor

a becsapódó jégszemek impulzusát méri (*WMO*, 1969; *Towery* et al., 1976). Megemlítjük, hogy történtek kísérletek magyar jégszemosztályozó szabadalmaztatására is (*Horváth*, 1969).

A jégszemek spektrumának és tömegének mérésére jelenleg az egyetlen olcsó és könnyen kezelhető mérőeszköz a jégesőindikátor. A cikk a jégesőindikátor és a jégesőindikátoros mérések jellemzőbb tulajdonságait tárgyalja, valamint tájékoztatást ad a magyarországi mérésekről.

Mi a jégesőindikátor?

A jégesőindikátor a talajfelszíni jégesőmegfigyelések egyik eszköze. Többek között a jégszemek mennyiségének, méreteloszlásának, illetve hálózatban

I. TÁBLÁZAT

Az első — 1959-ben alkalmazott — és néhány, Európában használatos jégesőmérő-lap fontosabb adatai

Jégesőmérő-lap	Méret [cm]	A habosított műanyag	Borítása
Schleusener, (1969) USA	12,5×12,5×1,5	styrofoam	2/3-án vékony, 1/3-án vastag alumínium fóliával burkolt
Francia	30×30×2,5	roofmate	festett
Olasz	20×20×2,0	poliuretán	20 μm-es alumínium fólia, ragasztva
Bolgár	30×30×2,5	poliuretán	50 μm-es alumínium fóliával burkolt
Olasz–Svájci	35×35×2,0	poliuretán	festett
Magyar (1979–81)	20×20×2,0	poliuretán vagy roofmate	festett vagy alumínium fólia, ragasztva
Magyar (1982)	30×30×2,0	poliuretán	10 μm-es alumínium fólia ragasztva

felállítva a jégfoltok és a jégesős napok számának meghatározására szolgál. Két részből áll: a jégesőmérő lapból, és az állványból. A jégesőmérő lap egy deformálható lap, amelyen a jégszemek értékelhető nyomokat hagynak. A mérőlapot vízszintes helyzetben, teljes felületén szilárd alátámasztást biztosító állványban, úgy szokás elhelyezni, hogy a ráeső jégszemek útja zavartalan legyen *(1. ábra)*.

Az első jégesőindikátoros méréseket 1959 nyarán ÉK Coloradóban végezték, az ott folyó jégesőelhárítási kísérlet hatékonyságának a becsléséhez (*Schleusener* and *Jennings*, 1960). A használt mérőlapok anyaga és hitelesítése lényegileg megegyezett a jelenleg használtakéval, a jégnyomok kiértékelhetősége azonban sokkal rosszabb volt. A jégesőindikátorokat azóta különböző kísérletekben sok helyen használták (pl. *Admirat*, 1973; *Oomoto*, 1973; *Morgan* and *Towery*, 1975; *Mezeix* et al., 1976; *Changnon*, 1977; *Federer* et al., 1977; *Morgan* et al., 1980; *Simeonov*, 1982).

A gyakorlatban használt jégesőmérő lap többnyire négyzet alakú, valamilyen habosított műanyagból készült, felülete a vízhatlanság biztosítása, a napsugárzás károsító hatásának kiküszöbölése és a kiértékelés megkönnyítése céljából festett, vagy alumíniumfóliával borított. Az első és néhány Európában használatos jégesőmérő lap fontosabb adatait az *I. táblázatban* tüntettük fel.

A jégnyomok alakja többnyire ovális. A nagy- és kistengely aránya általában kisebb 3-nál (*Schleusener* and *Jennings*, 1960). Ezeket a tengelyeket szokás nagyobbik, ill. kisebbik átmérőnek is nevezni.

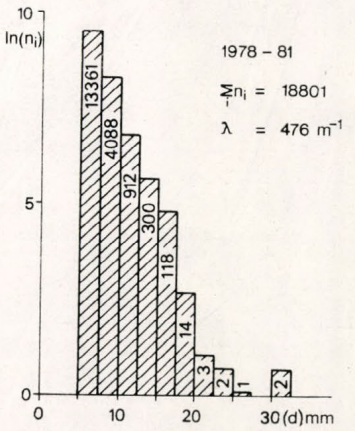
A jégnyomok kiértékelése azok kisebbik átmérőjének megmérésével tör-

ténik, amelyből a következő fejezetben leírt hitelesítési eljárás segítségével következtethetünk a jégszemek méretére.

Vento (1978), valamint *Mezeix* és *Admirat* (1978) javasolták a nagyobbik jégnyomátmérő mérését is. Szerintük a két átmérő hányadosából megállapítható a szélsebesség nagysága.

A szélsebesség és szélirány mérésére régebben öt mérőlapot használtak kockaszerű elrendezésben, égtájak szerint tájolva. Az oldallapokon, ill. a fedőlapon keletkezett jégnyomok számából a spektrum figyelembevételével elvileg számíthatók ezen paraméterek (*Vento*, 1976; *Vento* and *Morgan*, 1976).

Az indikátoros szélmérések mégsem terjedtek el. Ennek fő oka a szél sebességének és irányának szeszélyes váltakozása, valamint a jégszemek szabálytalan alakja.



2. ábra: A jégszemek méreteloszlása az 1978–81. évi Baranya megyei indikátorhálózat adatai alapján

1. *A jégesőmérő lap hitelesítése*

A hitelesítés célja a mérőlapon lévő jégnyomokról megállapítani, hogy azokat milyen jégszemek okozták. Természetesen ehhez egyszerűsítő feltevéseket kell tennünk. A nemzetközi gyakorlatban (*Vento*, 1975; *Sarrat* et al., 1977; *Lozowski* and *Strong*, 1978; *Lozowski* et al., 1978; *Vento*, 1980; *Zoltán* et al., 1981; *Montefinale* and *Ferrari*, 1982) egységesen a következő alapfeltételezések használatosak:

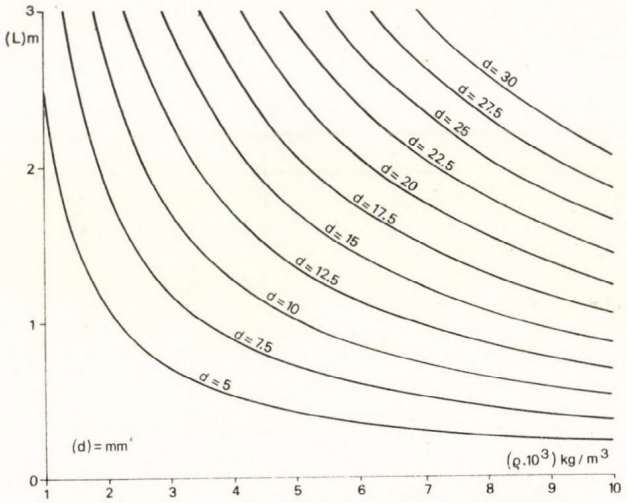
a) a jégszemek gömb alakúak,
b) a jégszemek becsapódáskor nem deformálódnak,
c) a jégszemek sűrűsége egyenlő,
d) a jégszemek a határsebességükkel esnek,
e) a függőlegesen becsapódó jégszem által okozott lenyomat átmérője csak a jégszem méretétől és kinetikus energiájától függ,
f) a jégnyomok kisebbik átmérője megegyezik azzal az átmérővel, amely akkor jönne létre, ha a jégszemek függőlegesen esnének.

A feltevésekhez a következő megjegyzéseket fűzzük:

a) Már *Schleusener* és *Jennings* (1960) azt találták, hogy a jégszemek többsége (kb. 75%-a) közel gömb alakú. Ezt későbbi mérések is megerősítették (pl. *Matson* és *Huggins* (1979) által vizsgált 621 jégszem közül 522 a gömbalakúak kategóriájába sorolható). *Long* et. al. (1979) szerint az európai, délafrikai és kanadai mérések úgy összegezhetők, hogy a 2 cm-nél kisebb átmérőjű jégszemek többsége gömb alakú, kis része pedig kónikus. A 2–4 cm

átmérőjű jégszemek rendszerint gömb vagy ellipszoid alakúak és durva felületűek. A nagyobb jégszemek alakja ellipszoid vagy szabálytalan, felületük durva. A leggyakrabban előforduló jégszemek 2 cm-nél kisebb átmérőjűek. (A jégszemek méret szerinti eloszlását az 1978–81. évi Baranya megyei jégesőindikátoros mérések alapján a *2. ábrán* mutatjuk be.)

b) A kemény és puha jégszemek arányára a legkülönbözőbb értékek találhatók. A puha jégszemek aránya különböző mérésekben pl.: *Schleusener* és *Jennings* (1960): 10%; *Summers* (1968): 50%; *Held* (1973): 23%. Ez a változékonyság természetesen a jégesők változékonyságából adódik. Annak valószínűsége, hogy a jégszem kemény, a jégszem méretével nő (*Long* et. al., 1979).



3. ábra: Az L ekvivalens ejtési magasság függése a golyó sűrűségétől és d átmérőjétől

A puha jégszemek lenyomata a jégesőmérő lapokon jellegzetesen más, mint a keményeké. A puha jégszemek a jégesőelhárítás szempontjából kevésbé jelentősek, mivel csak kisebb károkat okoznak.

c) A jégszemek sűrűségét különböző szerzők 800–910 kg/m³-nek becsülik (*Vittori* and *Caporiacco*, 1959; *Macklin* et al., 1960 stb.). Indikátorok hitelesítéséhez 900 kg/m³ körüli értéket szokás használni (*Schleusener* and *Jennings*, 1960; *Vento*, 1976; *Lozowski* et al., 1978).

d) A tapasztalat és a számítások (*Zoltán*, 1980) szerint a jégszemek a talaj közelében nagyjából a határsebességükkel esnek, azaz esésük közben a nehézségi és a közegellenállási erő egyensúlyt tart. Így becsapódáskor a d átmérőjű jégszem vízszintesen a szél sebességével mozog, a függőleges sebességkomponens – négyzetes közegellenállási törvényt feltételezve – a következő:

$$v_j = (4\varrho_j g d/3\varrho_1 C_j)^{0,5}, \qquad (1)$$

ahol ϱ_j, illetve ϱ_1 a jégszem, illetve a lebegő sűrűsége, C_j a jégszem alakellenállási tényezője, g a nehézségi gyorsulás.

A C_j alakellenállási tényező értékét vagy állandónak tételezik fel (*Vento*, 1976: $C_j = 0{,}6$; *Lozowski* és *Strong*, 1978: $C_j = 0{,}5$; *Lozowski* et al., 1978: $C_j = 0{,}6$), vagy valamilyen, a Reynolds-számtól függő mérési eredményt használnak (*Schleusener* and *Jennings*, 1960; *Zoltán* et. al., 1981). Az általunk használt paraméter értékek: $\varrho_1 = 1{,}22$ kg/m³, $\varrho_j = 900$ kg/m³, $g = 9{,}81$ m/s², C_j-re *Matson* és *Huggins* (1979) eredményét használjuk, amelyet természetes körülmények között eső jégszemek esetében mértek a talaj közelében:

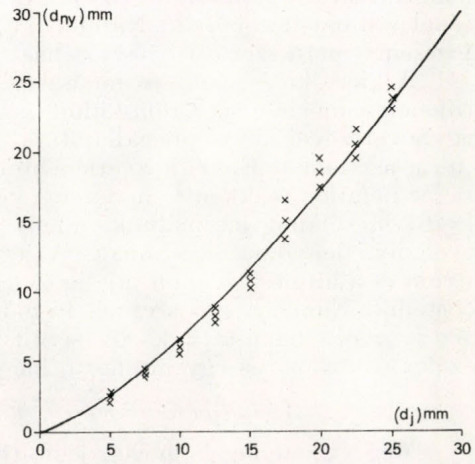
$$C_j = 3{,}92\ Re^{-0{,}1689}, \qquad (2)$$

ahol $Re = \varrho_1 v_j d/\eta$ a Reynolds szám, η a levegő viszkozitása. η-ra a 15°C levegő viszkozitását használva $\eta = 1{,}796\ 10^{-5}$ kg/(ms) (1) és (2)-ből:

$$v_j = K\ d^{\alpha}, \qquad (3)$$

ahol $K = 198{,}5\ \mathrm{m}^{1-\alpha}/\mathrm{s}$ és $\alpha = 0{,}6384$.

e) Schleusener és *Jennings* (1960) $7{,}8 \cdot 10^3$ kg/m^3 sűrűségű acél és $2{,}6 \cdot 10^3$ kg/m^3 sűrűségű márványgolyókat ejtett mérőlapokra, és azt találta, hogy azonos méret és kinetikus energia esetén a keletkezett nyomok alakja és mérete nem különbözik lényegesen egymástól. *Lozowski* és *Strong* (1978) acél,



4. ábra: Hitelesítő görbe (AFK 1982). d_{ny} a nyom, d_j a jégszem átmérője

üveg, és jéggolyókra találta ugyanezt. A nyomok keletkezésére vonatkozó elméletek (*Lozowski* and *Strong*, 1978; *Matson* and *Huggins*, 1979) szintén megerősítik a fentieket.

Ez lehetővé teszi, hogy a mérőlapokat acélgolyókkal hitelesítsük. Ennek előnye az, hogy az ejtési magasság jelentős mértékben lecsökken *(3. ábra)*. Ahhoz, hogy a d átmérőjű ϱ_a sűrűségű acélgolyó az azonos méretű jégszem mozgási energiájával csapódjon a mérőlap felületébe, a golyót

$$L = -\frac{v_a^2}{2g} \ln\left(1 - \frac{\varrho_j}{\varrho_a}\frac{v_j^2}{v_a^2}\right)$$

magasságból kell ejtenünk, ahol $v_a = (4dg\varrho_a/3\varrho_1 C_a)^{0,5}$ az acélgolyó határsebessége ($C_a = 0{,}45$ az acélgolyó alakellenállási tényezője). Ezt a magasságot ekvivalens ejtési magasságnak nevezik.

f) A jégszemek a szél miatt általában nem függőlegesen esnek. Laboratóriumi kísérletek szerint (*Lozowski*, 1977; *Vento*, 1977; *Lozowski* and *Strong*, 1978; *Lozowski* et. al., 1978) a mérőlapokba különböző szögek alatt becsapódó, azonos méretű, a mérőlapokra merőlegesen azonos nagyságú sebességkomponenssel rendelkező acélgolyók által okozott lenyomatok kisebbik átmérői 10%-nál kisebb mértékben különböznek egymástól. *Long* et al. (1979) mérései szerint az eltérés a „szél nélküli" esettől kb. annyi százalék, ahány m/s a szélsebesség. A maximális jégnyom-átmérőben a változás 50%-nál is nagyobb lehet (*Lozowski* et al., 1978; *Long* et al., 1979). (Megjegyezzük, hogy ezekben a kísérletekben az acélgolyó függőlegesen esett, a ferde becsapódást a mérőlap megdöntésével érték el.)

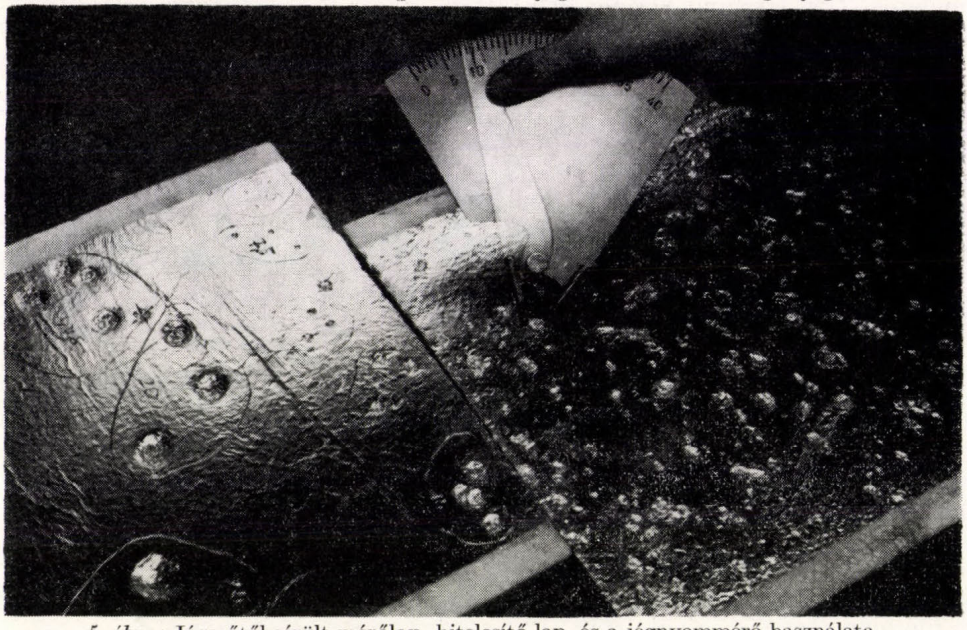
Az előzők alapján a jégesőmérő lapot a következőképpen hitelesítjük: Különböző méretű acélgolyókat ejtünk a mérőlapra, mindegyiket az ekvivalens ejtési magasságból. A keletkezett lenyomatok átmérője és az acélgolyók sugara közötti összefüggés alapján, adott jégnyom esetén meghatározhatjuk a hozzátartozó jégszem méretét. Megjegyezzük, hogy a hitelesítést időről-időre meg kell ismételni, mivel a mérőlapok anyaga gyártási sorozatonként más és más tulajdonságú lehet.

A kisebbik nyomátmérő—jégszemátmérő összefüggést szokás folytonos görbével is megadni. (A *4. ábrán* bemutatjuk az 1982-es hitelesítésünkből kapott görbét.) Általában azonban csak az a kérdés, hogy a jégszem egy adott méretintervallumba esik-e. Ezt adatkezelési problémák, a hitelesítés és a kiértékelés hibái indokolják. Nálunk 5,0 mm—7,5 mm; 7,5 mm—10,0 mm;... jégszemátmérő szerinti beosztás használatos.

A kiértékelés szokásos módszere: minden egyes jégnyom kisebbik átmérőjének a megmérése külön-külön, majd a mért átmérő és a hitelesítési görbe egybevetésével annak megállapítása, hogy melyik méretintervallumba soroljuk a jégszemet. Ennél közvetlenebb és az intervallumba sorolás bizonytalanságát némileg csökkentő módszer a következő: hitelesítési görbe helyett hitelesítő mérőlapot használunk, amelyen az intervallumhatároknak megfelelő acélgolyó lenyomatok vannak. A jégnyomok intervallumba sorolása a jégnyom és a hitelesítő lapon található lenyomatok közvetlen összehasonlításával történik. Ennek a módszernek fő előnye a jelentős munkaidő-megtakarítás. Az *5. ábrán* bemutatunk egy sérült mérőlapot, a jégnyomátmérő mérésére szolgáló eszközt és egy hitelesítő mérőlapot.

2. *Az indikátorok mérete és az indikátorhálózat sűrűsége*

Még viszonylag homogén jégfoltban is előfordulhat, hogy egy indikátor nagyságú felületre nem esik jég. Az 1978—1981-es években Magyarországon használt 0,04 m² felületű mérőlapokon 100 jégszem/m² sűrűségű jégesőben an-



5. ábra: Jégesőtől sérült mérőlap, hitelesítő lap, és a jégnyommérő használata

nak valószínűsége, hogy a mérőlapra nem esik jég 1—2%, 20 jégszem/m² esetén kb. 50%. Az újabban használt 0,09 m² felületű mérőlapoknál ezek a valószínűségek kb. fele ekkora sűrűségű jégesőknél érvényesek. Látszik, hogy ez az effektus elsősorban a jégeső mért spektrumát torzítja. A jégesős napok és a jégfoltok vizsgálatánál viszont az indikátorhálózat sűrűsége és elhelyezkedése a mérvadó.

Mint már említettük, a jégfoltok jellemző méretei igen széles határok között (néhány száz métertől néhányszor tíz kilométerig) változnak. Nagyobb területen olyan sűrű mérőhálózat telepítésére, amely biztosan detektálja a legkisebb jégfoltokat is, nincs lehetőség. Az, hogy a mérőhálózat megfelelő sűrűségű-e, mindig a konkrét feladattól függ.

3. Egyetlen indikátorral mérhető paraméterek

Indikátorral a mérőlap felületére hullott jégszemek számát és nagyságát lehet mérni. Ez megköveteli az egyes jégnyomok elkülönítését, és kisebbik átmérőjének pontos mérését.

A jégnyomok elkülönítésekor két problémát kell megoldani. Az egyik a jégnyom és az egyéb hatások (eső, állatok, ágak, ujjlenyomat stb.) által bekövetkezett sérülések szétválasztása. Ez nem okoz jelentős problémát (pl. az eső síma benyomódásokat hoz létre, amelyek követik a mérőlap habanyagának szemcsés szerkezetét; a jégszemek lenyomata durvább, a habanyag sérül, a jégszem élei, kitüremkedései határozott nyomokat hagynak). A másik probléma a nyomok átfedése. Ez az úgynevezett telítési probléma kevésbé sérült mérőlapok esetén könnyen tárgyalható (*Zoltán, és Vento*, 1979; *Székely* és *Zoltán*, 1982). *Huggins* et al. (1980) szerint 7—8 ezer jégnyom/m² esetén, hacsak néhány 1 cm-nél nagyobb átmérőjű jégnyom van, a nyomok rendszerint megkülönböztethetők, de ha az 1 cm-nél nagyobb a nyomok sűrűsége meghaladja az 500—700 jégnyom/m²-t, az átfedések már zavaróak. Súlyosan sérült mérőlapok (jégnyomsűrűség nagyobb, mint kb. 10^4 jégnyom/m²) már csak igen nehezen, vagy egyáltalán nem értékelhetők.

A kisebbik átmérő mérésének szubjektív hibái a már említett intervallumba sorolással, vagy a kiértékelők számának növelésével csökkenthetők. *Huggins* et al. (1980) szerint a hiba a kiértékelő számának négyzetgyökével arányosan csökken. Több kiértékelő alkalmazásától azonban általában eltekintenek, mivel ez jelentősen megnöveli a kiértékeléshez szükséges munkaórák számát.

A kiértékeléskor kapott adatok a (d_i, d_{i+1}) átmérőintervallumba eső jégszemek n_i felületi koncentrációi. Ezekből a következő mennyiségeket származtathatjuk:

1. Az exponenciálisnak feltételezett méreteloszlás λ paraméterét:

$$(\bar{n} = \int_{d_i}^{d_{i+1}} n_0 e^{-\lambda x}\, dx;\ n_0 = \lambda e^{\lambda d_1},\ \sum_{i=1} n_i),$$

ahol λ-át a legkisebb négyzetek módszerével határozzuk meg. (A jégszemek méreteloszlása, több jégeső átlagában közel exponenciális, lásd pl. a *2. ábrát*, vagy *Crow* et al. (1979) adatait.)

2. A jégszemek felületi koncentrációját: $n = \sum_{i=1} n_i$;

3. A felületi tömegkoncentrációt: $M = \sum_{i=1} n_i \varrho_j \frac{\pi}{6} \overline{d_i^3}$, ahol

$$d_i^3 = \int_{d_i}^{d_{i+1}} [X^3/(d_{i+1}-d_i)]dX.$$

4. A kinetikus energia felületi sűrűségének azon részét, amely a függőleges sebességkomponensből számolható, a (3) alapján):

$$E = \sum_{i=1} n_i\,(\pi/12)\,\varrho_j\,K^2\,\overline{d^{2\alpha+3}},$$

ahol $$\overline{d^{2\alpha+3}} = \int_{d_i}^{d_{i+1}} [x^{2\alpha+3}/(d_{i+1}-d_i)]\,dX.$$

Az 1–4. pontban felsorolt mennyiségek a jégeső időtartamára integráltak és így nem mondanak semmit a jégeső időbeli lefolyásáról. Ha valamilyen forrásból (pl. az indikátor kezelőjétől) a jégeső t időtartama ismert, számíthatjuk:

5. a tömegáramsűrűséget: $\dot{M} = M/t$.

6. az energiaáramsűrűséget: $\dot{E} = E/t$.

7. a Z ekvivalens radarreflektivitási tényezőt: *Ulbrich* (1878) alapján −0,01 cm vízréteget feltételezve a jégszemek felületén – E és Z között az összefüggést a következő számértékegyenletek adják meg, ha $\dot{E}$-t J/(sm-)-ben, Z-t mm^6/m^3-ben értjük:

3,21 cm-es hullámhosszon: $\dot{E} = 4{,}11 \cdot 10^{-4}\ (Z/100)^{1{,}05}$

10 cm-es hullámhosszon: $\dot{E} = 4{,}75 \cdot 10^{-4}\ (Z/100)^{0{,}87}$

II. TÁBLÁZAT

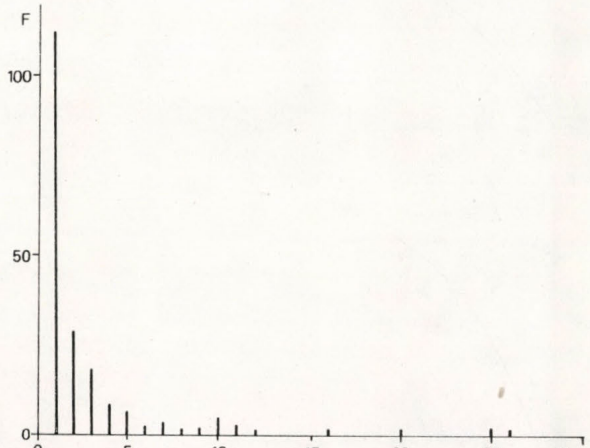
Néhány jégesőmérő-lap adataiból számított paraméter-értékek Dél-Baranyában
(A jelölések értelmezése a szövegben)

Dátum	Jéghullás		n_i db/m²							n	λ	M	E	$\dot{M}$	$\dot{E}$	Z_{10} / $Z_{3,21}$ x 10^{-4}	
	kezdete h'	időtart. min.	5,0–7,5	7,5–10,0	10,0–12,5	12,5–15,0	15,0–17,5	17,5–20,0	20,0–22,5	db/m²	1/m	g/m²	J/m²	g/sm²	mW/m²	mm⁶/m³	
			d_i mm														
1978																	
V. 16.	11^{31}	10	2400	250	0	50	150	0	0	2850	909	735	50	1,2	83	3,8	1,6
V. 20.	14^{35}	5	1050	400	200	0	0	0	0	1650	476	390	19	1,3	63	2,7	1,2
V. 29.	18^{38}	2	450	350	100	100	50	0	5	1050	278	460	32	3,8	269	14,3	4,8
VI. 24.	19^{03}	3	200	0	0	0	0	0	0	200	104	24	1	0,1	4	0,1	0,1
VI. 25.	14^{39}	3	6000	500	100	0	50	0	5	6650	909	1049	45	5,8	252	13,6	4,5
VII. 19.	12^{30}	5	0	50	100	50	100	0	0	300	124	349	31	1,2	104	4,9	1,9
1979																	
V. 26.	18^{54}	14	925	475	550	600	325	125	0	3000	179	2459	213	2,9	254	13,7	4,5
VI. 12.	14^{00}	10	200	375	125	175	150	25	25	1075	164	942	88	1,6	146	7,2	2,7
VI. 18.	11^{20}	20	1275	700	275	200	50	0	0	2500	322	914	59	0,8	49	2,1	0,9
1980																	
V. 22.	11^{40}	10	3225	2325	575	0	0	0	0	6125	385	1525	73	2,5	122	5,9	2,3
VI. 27.	10^{30}	3	1650	1500	625	100	125	0	0	4000	278	1483	93	8,2	519	31,1	9,0
VII. 29.	03^{23}	1/3	100	25	0	0	0	0	0	125	625	20	1	1,0	38	1,5	0,8
1981																	
IV. 28.	12^{26}	11	4200	50	0	0	0	0	0	4250	1667	519	17	0,8	25	1,0	0,5
VI. 04.	10^{30}	10	2325	775	75	25	50	25	25	3300	476	903	63	1,5	105	5,0	2,0
IX. 26.	09^{47}	3	1650	800	100	25	0	0	0	2575	476	554	26	3,1	142	7,0	2,2

Z értelmezése a következő: rádiólokátorral mérhető a visszaszórási hatáskeresztmetszet átlagos térfogati sűrűsége, az η radarreflektivitás. Ez egyszeres szórást feltételezve elméletileg a következőképpen adható meg, ha a visszaszóró részecskék egyenlő „n" komplex törésmutatójú, homogén térfogati eloszlású gömbök, amelyek sugara a Rayleigh-tartományba esik (azaz a szóródó rádióhullámok λ hullámhosszánál jóval kisebb):

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left| \frac{n^2-1}{n^2+2} \right|^2 \sum_i n_i d_i^6,$$

ahol n_i a d_i átmérőjű részecskék térfogati koncentrációja. η kifejezésében a felhőre jellemző paraméterek egyszerűen kiemelhetők. A $Z^* = \sum_i n_i d_i^6$ meny-



6. ábra: 1978–81. években X darab indikátorral detektált jégfoltok F szám

nyiség a radarreflektivitási tényező. Mivel nagyobb részecskék esetén a felhőparaméterek nem emelhetők ki a reflektivitás kifejezéséből, a radarmeteorológiában a Z ekvivalens reflektivitási tényező a használatos:

$$Z = \frac{\lambda^4}{\pi^5} \left| \frac{n^2+2}{n^2-1} \right|^2 \eta$$

A Rayleigh-tartományban $Z = Z^*$, ezen kívül pedig Z függ a hullámhossztól.

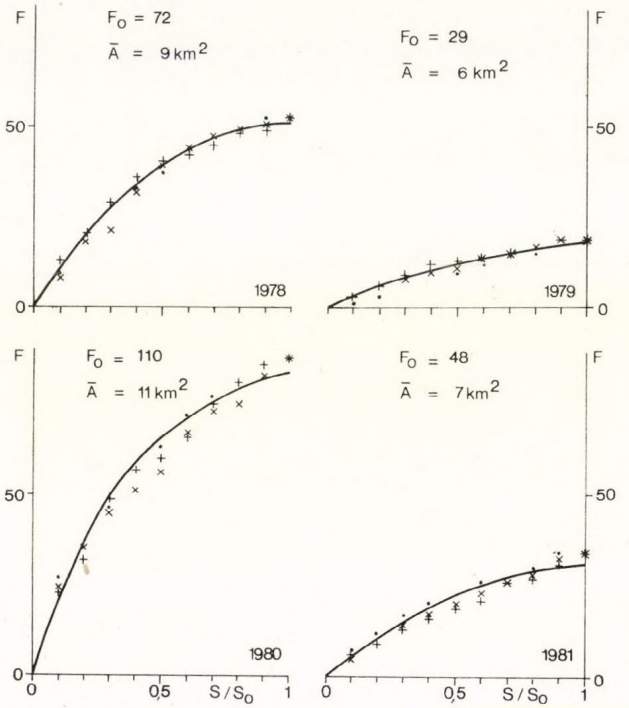
Ezen paraméterek jellegzetes értékeire a *II. táblázat*ban adtunk példákat, feltüntetve a jégszemek intervallumonkénti eloszlását, valamint a jégeső kezdetének időpontját és időtartamát. Megjegyezzük, hogy a jégeső időpontját gyakran csak körülbelül tudjuk (nap, napszak), és időtartamára pedig sokszor egyáltalán nincs adatunk. Ilyenkor természetesen az 5–7 paraméterek nem számolhatók.

4. Indikátorhálózattal mérhető mennyiségek

Indikátorhálózattal elvileg mérhető egy adott területen a jégesők száma és az egyes jégfoltok szerkezete. Itt csak a jégesős napok és a jégfoltok számának meghatározását tárgyaljuk.

A jégfoltok mérete és szeszélyes elhelyezkedése miatt az indikátorhálózat sűrűségét ésszerűtlenül nagyra kellene választanunk, ha minden jégfoltot detektálni akarnánk.

Reális sűrűségű hálózat esetében *Götz* és *Mészáros* (1968) nyomán a következőképpen járhatunk el: legyen N a mért jégesős napok, F a mért jégfoltok száma, S az indikátorhálózat sűrűsége. A hálózatból véletlenszerűen indikátorokat elhagyva meghatározhatjuk az empirikus $N-S$ és $F-S$ függvénykapcsolatokat. Az $N-S$, $F-S$ függvények monoton növekvő telítési függvények.



7. ábra: A jégfoltok mért száma *(F)* az indikátorhálózat S sűrűségének függvényében. $S_5 = 0{,}16$ km^2 az indikátorhálózat tényleges sűrűsége. A ●, ×, + jelek különböző egyenletes eloszlású véletlen szám-generátor által csökkentett sűrűségű indikátorhálózattal mért értékek. A folytonos vonal az illesztett elméleti görbe, F_0 ennek telítési értéke, $\bar{A}$ pedig a jégfoltok területének becsült, várható értéke

Telítési értékük a jégesős napok, illetve a jégfoltok száma. Ha a mérési adatokra grafikusan telítési függvényt illesztünk, ennek telítési értékét azonosíthatjuk a fenti mennyiségek valamelyikével.

A telítési függvény illesztését numerikusan is elvégezhetjük, ha alakjára valamilyen feltételezést teszünk (*Zoltán* és *Cseh*, 1979 kéziratban). Ez az eljárás kiküszöböli a grafikus módszer szubjektivitását. A következőkben ennek a módszernek egy továbbfejlesztett változatát mutatjuk be, amely a jégfoltok átlagos méretére is becslést ad.

Legyen az indikátorhálózat sűrűsége S. Tételezzük fel, hogy egy A felületű jégfolt detektálásának valószínűsége:

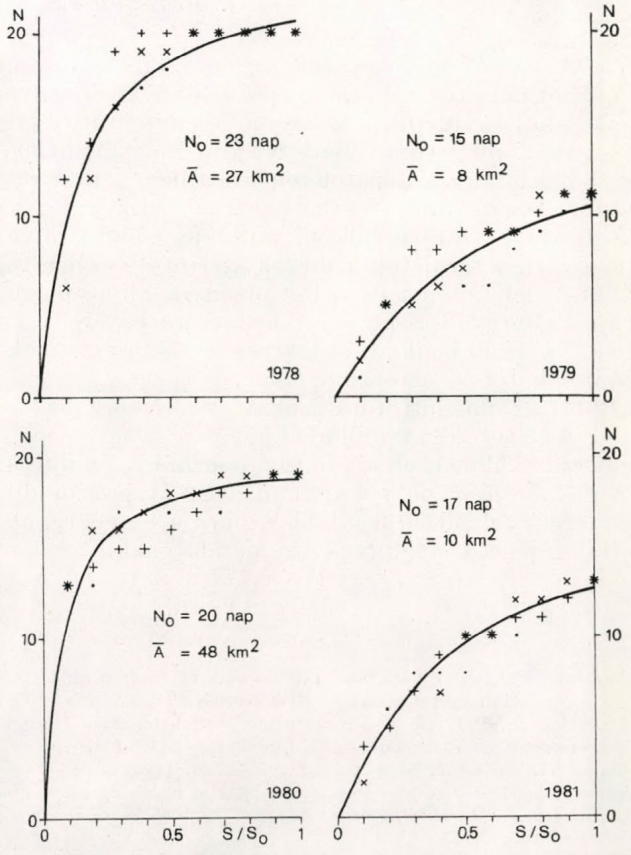
$$P = \begin{cases} 1 & \text{ha } A > 1/S \\ AS & \text{ha } A \leq 1/S \end{cases}$$

Tegyük fel továbbá, hogy a jégfoltok méret szerinti eloszlásának sűrűségfüggvénye $n(A)$. Ekkor F_0 foltból az indikátorhálózat várhatóan

$$F = \left(\int_0^{1/S} AS\, n(A)\, dA + \int_{1/S}^{\infty} n(A)\, dA \right) F_0 \qquad (4)$$

foltot detektál.

$n(A)$ alakjának meghatározására az 1978–81. évi mérésekből indultunk ki. Az egyes foltok körülhatárolása után (ez egyéb adatok hiányában gyakran szubjektív) meghatároztuk, hogy a foltokat hány indikátor detektálta. Az indikátorhálózat sűrűsége ezekben az években közel egyenlő volt (0,16 indikátor/km²). A foltok számának eloszlását az azt detektáló indikátorok



8. ábra: A jégesős napok mért száma (N) az indikátorhálózat S sűrűségének függvényében. $S_0 = 0{,}16$ km² az indikátorhálózat tényleges sűrűsége. A ●, ×, + jelek különböző egyenletes eloszlású véletlenszám-generátor által csökkentett sűrűségű indikátorhálózattal mért értékek. A folytonos vonal az illesztett elméleti görbe, N_0 ennek telítési értéke, $\bar{A}$ pedig a jégfolt területek napi összegének becsült várható értéke

számának függvényében a *6. ábrán* mutatjuk be. Ennek alapján $n(A)$-ra exponenciális eloszlást választottunk:

$$n(A) = \frac{1}{\bar{A}} \exp\left(-\frac{A}{\bar{A}}\right),$$

ahol $\bar{A}$ a jégfoltok méretének a várható értéke. Ezzel (4) a következőképpen alakul:

$$F = F_0 \bar{A} S (1 - \exp[-1/\bar{A}S)].$$

Ha a fentiekben $\bar{A}$ a jégfoltok területének napi összegét jelöli, akkor F helyett N-t, a jégesős napok mért számát és F_0 helyett N_0-t, a jégesős napok tényleges számát kell írnunk.

Az $F-S$ és $N-S$ empirikus függvények mindegyikét évenként háromszor határozzuk meg, ehhez a különböző S sűrűségeket indikátorok véletlen-

szerű elhagyásával állítottuk elő, esetenként más és más egyenletes eloszlású véletlenszám-generátort használva. F és N empirikus értékei a *7.* és *8. ábrán* láthatók, a legkisebb négyzetek módszerével (a három görbére együttesen) illesztett elméleti görbékkel együtt. Az ábrán feltüntettük a telítési értékeket, valamint az A paraméter értékét is.

5. Megjegyzések

A vázolt magyarországi jégesőindikátoros mérések klimatológiai szempontból nem tekinthetők teljes értékűeknek, mivel olyan területre vonatkoznak, ahol egyidejűleg aktív időjárásmódosítás: jégeső elleni védekezés folyt.

1982 júniusában Bács-Kiskun megyében 500 km^2 területen 60 indikátorból álló mérőhálózatot telepítettünk, amit 1983-ban 1143 km^2-re (127 indikátor) bővítettünk. Várhatóan csak viszonylag rövid adatsorunk lesz a módosítatlan zivatarfelhőkből hulló jégesőkre, mivel a jégesőelhárítás beindítása ezen a területen a tervek szerint 1985-ben fog megtörténni. Mégis ez az adatsor lehetőséget nyújthat bizonyos klimatológiai jellemzők (jégszem spektrum; pontgyakoriság stb.) becslésére és így a későbbiekben fontos szerepe lehet a jégeső elleni védekezés hatékonyságának megítélésében. Ezen felül rádiólokátoros, aeroszinoptikus és jégkár-adatokkal párosítva jelentősen segítheti az elméleti kutatásokat.

A jégeső olyan időjárási jelenség, amely nemcsak jelentős gazdasági károkat okoz, hanem elméleti szempontból is rendkívül érdekes. Úgy véljük, jobb megismeréséért nem volna túl nagy ár jégesőindikátorok (esetleg jégspektrométerek) telepítése legalább azokra a helyekre, ahol csapadékmérések, illetve elvileg jégeső megfigyelések már folynak.

IRODALOM

Admirat, P., 1973: Natural „hailcores" and their abilities to estimate the effenciency of hail prevention systems. *Proc. WMO/IAMAP Sci. Conf. Weather Mod.*, 197–206.

Aujeszky, L., 1947: Jégeső-gyakoriság és valószínűség Budapesten 1871–1945. *Országos Meteorológiai és Földmágnestani Intézet kisebb kiadványai, 19*, Budapest.

Bacsó N., Kakas J. és *Takács L.*, 1953: *Magyarország éghajlata.* OMSZ, Budapest.

Bálint Gy., 1967: A jégverés okozta károk a mezőgazdaságban. *Időjárás 71*, 44–50.

Bálint Gy. és *Wirth E.*, 1970: Jégesők Magyarországon és a jégesőelhárítás lehetőségei. *Kertgazdaság 2*, 49–67.

Changnon, S. A., 1977: The scales of hail. *J. Appl. Meteor. 16*, 626–648.

Crow, E. L., Long, A. B., Dye, J. E. and *Ulbrich, C. W.*, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part III: Analysis of halistone size distribution for seeding and yearly effects. *J. Appl. Meteor. 18*, 1559–1568.

Federer, B., Schmid, W. and *Waldvogel, A.*, 1977: The design of Grossversuch IV, a randomized hail suppression experiment, in Switzerland. *First international workshop on the measurement of hail.* Banff, Canada.

Götz G. és *Mészáros E.*, 1968: A jégesők gyakoriságának területi eloszlása a nyári félévben Magyarországon. *Időjárás 72*, 46–54.

Held, G., 1973: Ten years of hail observations in the Pretoria-Witwatersrand area. *J. de Rech. Atmos. 7*, 195–197.

Horváth, E., 1969: Eljárás és berendezés a jégeső nagyságrendek szerinti szétválasztására és mérésére. Kézirat.

Huggins, A., Crow, E. L. and *Long, A. B.*, 1980: Errors in hailpad data reduction. *J. Appl. Meteor. 19*, 733–747.

Long, A. B., Matson, R. J. and *Crow, E. L.*, 1979: The hailpad: construction and materials, data reduction, and calibration. *NCAR/TN-144+STR.* Boulder, Colorado.

Lozowski, E. P., 1977: Comment on "The hailpad calibration for Italian hail damage documentation". *J. Appl. Meteor. 16*, 688.

Lozowski, E. P., Erb, R., Strong, G. S., Matson, R., Vento, D., Admirat, P., Long, A. and *Wojtiw, L.*, 1978: The hail sensor intercomparison experiment. *Atmosphere-Ocean 16*, 94–106.

Lozowski, E. P. and *Strong, G. S.*, 1978: On the calibration of hailpads. *J. Appl. Meteor. 17*, 521–528.

Macklin, W. C., Strauch, E. and *Ludlam, F. H.*, 1960: The density of hailstones collected from a summer storm. *Nubila 3*, 12–17.

Matson, R. and *Huggins, A. W.*, 1979: Field observations of the kinematics of hailstones. *NCAR/TN-139+STR.* Boulder, Colorado.

Mezeix, J. F., Vaissiéres, B. and *Admirat, P.*, 1976: Etude physique des chutes de grêle dans la région du Napf. *Rapport technique 22, GNFA*, Montpellier, France.

Mezeix, J. F. and *Admirat, P.*, 1978: The measurement of hail at ground level. *Atmosphere-Ocean 16*, 61–68.

Montefinale, T. and *Ferrari, P.*, 1982: On hailpad data in Trento-Bolzano area, covering period 1974–79 incl. *Conference-Workshop on hailstorms and hail prevention*, Sofia.

Morgan, G. M. and *Towery, N. G.*, 1975: Small scale variability of hail and its significance for hail prevention experiments. *J. Appl. Meteor. 14*, 763–770.

Morgan, G. M., Vento, D., Mezeix, J. F., Admirat, P., Federer, B., Waldvogel, A., Wojtiw, L. and *Wirth, E.*, 1980: A comparison of hailfall intensity and spatial variability in the United States and Europe based on data from instrumented networks. *Third WMO scientific conference on weather modification.* Clermont-Ferrand. 607–613.

Oomoto, Y., 1973: Hailstorms in Japan. *Proc. WMO/IAMAP, Sci. Conf. Weather Mod.*, WMO-No. *399*, 207–215.

Sarrat, J. L., Mezeix, J. F., Admirat, P., 1977: Etalonnage des grélimétres á feuille D'aluminium. *GNEFA, rapp. tech. 27.*

Schleusener, R. A. and *Jennings, P. L.*, 1960: An energy method for raletive estimates of hail intensity. *Bull. Amer. Meteor. Soc. 41*, 372–376.

Simeonov, P., 1982: First results from the surface measurements of hailfall in Bulgaria. *Conference-Workshop on hailstorms and hail prevention*, Sofia.

Summers, P. W., 1968: Soft hail in Alberta hailstorms. *Proceedings of the International Conference on Cloud Physics*, Toronto, 455–459.

Székely, Cs. and *Zoltán, Cs.*, 1982: Errors in hailpad measurements. *Conference-Workshop on hailstorms and hail prevention*, Sofia.

Towery, N. G., Changnon, S. A. and *Morgan, G. M.*, 1976: A review of hailmeasuring instruments. *Bull. Amer. Meteor. Soc. 57*, 1132–1140.

Ulbrich, C. W., 1978: Relationships of equivalent reflectivity factor to the vertical fluxes of mass and kinetic energy of hail. *J. Appl. Meteor. 17*, 1803–1808.

Vento, D., 1976: The hailpad calibration for Italian Hail Damage Documentation. *J. Appl. Meteor. 15*, 1018–1022.

Vento, D., 1977: Reply. *J. Appl. Meteor. 16*, 669.

Vento, D., 1978: The angle of fall of hailstones at the ground. *Atmosphere-Ocean 16*, 81–85.

Vento, D., 1980: Presentazione con revisione critica dei dati delle campagne antigradine del Grossversuch IV. 1977–78–79. *Instituto Italo-Latino Americano, Piazza Guglielmo Marconi 26*, Roma EUR 00144.

Vento, D. and *Morgan, G. M.*, 1976: Statistical evaluation of energy imparted to hail by wind in Europe and Unites States. *2th WMO Sci. Conf. on Weather Mod.*, Colorado.

Vittori, D. and *di Caporiacco, G.*, 1959: The density of hailstones. *Nubila 2*, 51–57.

Wirth, E. i *Zoltán Cs.*, 1979: Pervüe ekszperimentü i rezultatü izmerenij sz pomosju indikatorov grada v Vengrii. *Össz-szövetségi felhőfizikai és felhőmódosítási konferencia.* Nalcsik.

WMO, 1969: The measurement of hail size, intensity and duration *CIMO-V/Doc. 20*, Paris.

Zoltán, Cs., 1980: The dynamics of hailstones. *Időjárás 84*, 78–82.

Zoltán Cs., Székely, Cs. és *Sövér, F.*, 1981: Talajfelszíni jégesőmegfigyelések reprezentativitása. *Meteorológiai Tudományos Napok*, Budapest.

Zoltán, Cs e *Vento, D.*, 1979: Comparazione di panelli quasi saturati colpiti dalla gradine. *Relazione presso l' UCEA*, Roma.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 1. szám. 1984. január – február
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 1. Jan. – Feb. 1984. Budapest

Jégesők előrejelezhetősége zivatarfelhő-modell segítségével

MOLNÁR KÁROLY—CSABAI DOLORES, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ, Pécs Pf. 353,*
STOYAN STOYANOV, *Hydrometeorological Service, Blvd. Lenin 66. Sofia, Bulgaria*

Possibility of hail forecasting by applying a thunderstorm model. By means of a 1-D steady-state jet-model, post hoc calculations were made to express numerically the connection between hailstorms and the state of the atmosphere and to forecast them more precisely. The study was based on selected data from radar and ground observations and deals with 57 hail and 24 no hail cases. The processes occurred during the summers of 1978 to 1982 in South-Transdanubia, Hungary, and were connected with quasi air-mass processes only. Of the quantities investigated, the parameters most relevant to the thermal instability and its distribution with height proved to be the best ones. These are the maximum of the updraft velocity (w) and the layer with $w > 15$m/s.

⁎

Jégesők előrejelezhetősége zivatarfelhő-modell segítségével. A légállapot és a jégesők közötti számszerű kapcsolat kifejezése és a jelenség pontosabb előrejelzése céljából utólagos számításokat végeztünk egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell segítségével. A rendelkezésünkre álló rádiólokátoros mérések és talajmenti megfigyelések alapján az 1978 – 82-es évek nyári féléveiben a Dél-Dunántúl térségében előfordult 57 jeges és 24 nem jeges kvázi légtömegen belüli helyzetet dolgoztuk fel. A vizsgált mennyiségek közül a termikus instabilitás nagyságával és annak magasság szerinti eloszlásával legszorosabban kapcsolatba hozható paraméterek bizonyultak a legjobbaknak: a feláramlási sebesség maximális értéke és a 15 m/s-ot meghaladó feláramlási sebességű réteg vastagsága.

⁎

A jégeső előrejelzésének több módszere ismeretes a hazai és a nemzetközi irodalomból (*Sulakvelidze* et al., 1970; *Götz* és *Szalay*, 1977; *Zverev*, 1977; *Stoyanov* és *Boev*, 1980; *Fedchenko* és *Belentsova*, 1980; *Bartha* és *Böjti*, 1982., stb.). Néhányat a jégesőelhárítás hazai gyakorlatában is kipróbáltunk (Szedleckij-, Gluskova- és Cox-féle módszerek, SSI és K indexek), de beválásuk valószínűsége nem bizonyult kielégítőnek. Az utóbbi években több országban is sikerrel kísérleteztek a jégesők és a záporesők szétválasztásával felhőmodellel számolható paraméterek alapján (*Stoyanov* és *Boev*, 1980; *Renick* és *Maxwell*, 1977). E munkák nyomán célul tűztük ki – egydimenziós zivatarfelhő-modell segítségével – olyan paraméterek meghatározását, amelyekkel a jégeső előrejelzése a Dél-Dunántúl területére megbízhatóbbá tehető. Vizsgálatunk első szakaszában kiválasztottuk az 1978 – 1982-ben előfordult kvázi-légtömegen belüli záporos és jégesős napokat, majd az adott jelenség és a modellel számolt bizonyos paraméterek közötti kapcsolatot vizsgáltuk. Ennek eredményeit közöljük jelen dolgozatunkban.

Az említett évek április 1-től október 31-ig terjedő időszakában a Tenkeshegyen levő MRL-1 rádiólokátor mérései alapján számba vettük azokat a napokat, amikor a déli országrész, illetve Jugoszlávia északi része fölött – a lokátor 100 – 150 km-es körzetében, a nappali órákban – konvektív jellegű meteorológiai célokat figyeltek meg. Lehetőség szerint megállapítottuk a kon-

vektív aktivitás maximumának idejét is. Abban az esetben, amikor egy napon belül több órás különbséggel a konvektív aktivitás két maximumát lehetett megállapítani, ezek időpontját is rögzítettük, és külön esetként vettük figyelembe, ha megfeleltek a későbbiekben felsorolt követelményeknek.

Az így kapott halmazok még magukban foglalták a frontális s a nem frontális eseteket is. A vizsgálatunkhoz alkalmazott modell környezetét diszkrét magaslégköri mérésekből határoztuk meg. Ezért ki kellett zárnunk azokat az eseteket, amikor a konvektív folyamatok jelentősen különböző légtömegek keveredési zónájához, markánsan jelentkező frontokhoz kapcsolódtak. Ennek eldöntésére talajanalíziseket és magassági térképeket használtunk.

Az így kiválasztott eseteket a különböző forrásokból származó információk alapján (indikátorhálózat, az Állami Biztosító által megállapított jégkár, jégjelentő lapok, napi jelentések, stb.) jeges és nem jeges csoportra osztottuk. Összesen 57 jeges és 24 nem jeges esetet vizsgáltunk meg.

A modell környezete, bemenő és kimenő paraméterei

A 850-, 700- és 500 mb-os AT-térképek segítségével minden esethez kiválasztottunk egy reprezentatívnak tekinthető rádiószondás mérést. Ennek helyét az áramlások iránya határozta meg, míg a mérés időpontját, a konvektív aktivitás maximumának ideje és az áramlási sebesség nagysága alapján választottuk ki, figyelembe véve a szondázó állomás és a lokátor említett környezetének a távolságát is. Jellegtelen áramlások (1 – 3 m/s, változó irány) esetén a 00 GMT-s zágrábi mérést használtuk. Mivel eseteink légtömegen belülieknek tekinthetők és kizárólag a nappali órákra korlátozódtak, feltételeztük, hogy keletkezésük termikus okokra való visszavezetésével lényeges hibát nem követünk el. Így a kondenzációs szintet a részecske módszerrel (*Götz* és *Rákóczi*, 1981.) a következőképpen határoztuk meg: Minden egyes esetre megállapítottuk a lokátoros mérések által érintett területen levő és az áramlások irányába eső több állomás adatai alapján a területre jellemző maximumhőmérsékletet ±1 °C pontossággal, és a talajmenti átlagos harmatpontot. Ezeket az értékeket a levegőrészecske állapothatározóinak tekintettük a talajon. A kondenzációs szint hőmérsékletét és magasságát szárazadiabatikus emelés föltételezésével kaptuk meg. A kapott hőmérséklet legfeljebb 1 °C-kal tért el a környezet hőmérsékletétől. Az esetek túlnyomó többségében a „felhő" néhány tized fokkal volt melegebb. A további kezdeti feltételeket a kondenzációs szinten *Bekryaev* és *Vorobyov* (1972) nyomán adtuk meg: a feláramlási csatorna sugara 5 km, a feláramlás sebessége 5 m/s, a cseppkoncentráció 10^8 db/kg, a cseppsugár $5 \cdot 10^{-6}$ m. A környezet hőmérsékletét, nedvességét és a szél sebességét a kiválasztott rádiószondás mérés felhasználásával tíz szinten adtuk meg úgy, hogy a szintek közötti rétegekben az említett mennyiségek magasság szerinti gradienseit állandónak véve a lehető legkisebb hibát kövessük el. A vizsgálatunk során alkalmazott egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell (*Geresdi* et al. 1982) számolja a feláramlási csatorna sugarát, a feláramlás sebességét, a „felhő" hőmérsékletét, a homogén eloszlású cseppek sugarát, a folyékony víztartalmat (a fagyás nincs figyelembe véve) és a relatív nedvességet (túltelítettséget).

A vizsgálat eredményei

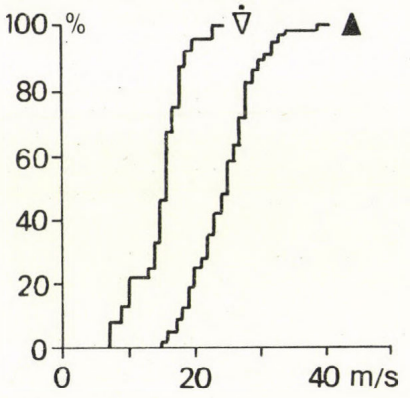
Különböző szerzők (*Bodolai*, 1954; *Weickmann*, 1964; *Sulakvelidze* et al., 1970; *Shmeter*, 1972; *Rogers*, 1978; *Götz* és *Szalay*, 1977) eredményei alapján a jégesők kialakulásának alapvető feltételei a következők:

– a légkör viszonylag jelentős termikus instabilitása,

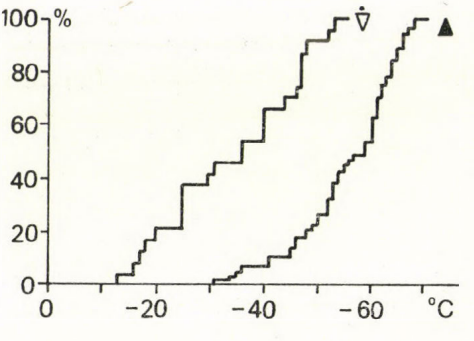
– az abszolút nedvesség aránylag magas értéke (elsősorban a talaj és a kondenzációs szint közötti rétegben),

– viszonylag nagy folyékony víztartalom (min. 1 – 2 g/m³) a felhő túlhűlt tartományában.

Az általunk használt egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modellel számított folyékony víztartalom értékét lényegében a kondenzációs szint hőmérséklete határozza meg, mert itt válik először telítetté a feláramló levegő, s ezt a besodródás nem változtatja meg lényegesen (*Boev* és *Stoyanov*, 1977). Jelen dolgozatunkban azonban a folyékony víztartalomra kapott eredmények értékelésével nem foglalkozunk.



1. ábra: A jeges és nem jeges esetek eloszlása a feláramlási sebesség maximumának függvényében



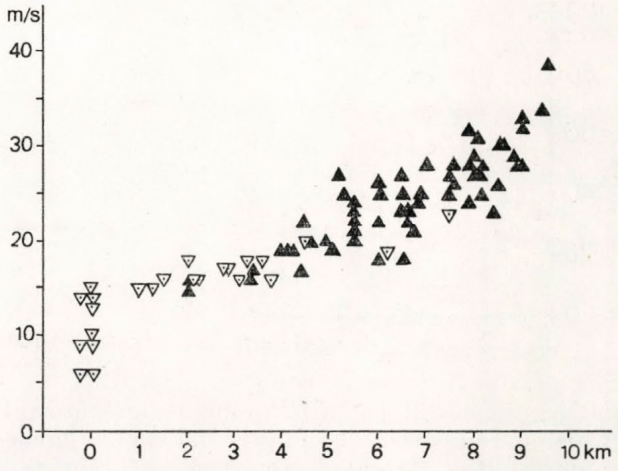
2. ábra A jeges és nem jeges esetek eloszlása a 15 m/s-ot meghaladó feláramlási sebességű réteg vastagságának függvényében

A fenti alapvető feltételeken kívül bizonyos hőmérsékleti kritériumok teljesülésére is szükség van. A Szovjetunióban végzett rádiólokátoros mérések eredményei szerint ugyanis a –37 °C-nál hidegebb felhőtetőjű felhők 83%-ából hullott jég, míg –18 °C-nál melegebb felhőtető esetén jégesőt nem figyeltek meg (*Abshaev* et al., 1980). Vagyis a felhőtetőnek jégesők esetén általában az „intenzív kristályosodás szintje" fölé kell emelkednie. E szint hőmérsékletét a különböző szerzők –20 °C és –35 °C közé teszik (*Sulakvelidze* et al., 1970; *Kachurin*, 1978).

A légkör instabilitását és ennek magasság szerinti eloszlását a számított feláramlási sebesség maximális értékével (W_m) és a 15 m/s feláramlást meghaladó sebességű réteg vastagságával ($\Delta H_{w>15}$) jellemeztük. Ugyanis W_m az instabilitási energia azon részére jellemző, amely kinetikus energiává alakul át, $\Delta H_{w>15}$ pedig megadja, hogy az egységnyi tömegű légrészecske kinetikus energiája milyen vastag rétegben halad meg egy bizonyos értéket (lásd az *1.* és *2. ábrát*).

Jégesős napokon a W_m minden esetben elérte a 15 m/s-os értéket, és a napok több mint 80%-ában meghaladta a 20 m/s-ot is. 20 és 30 m/s közé esett a jeges esetek 70%-a, míg egy esetben kiugróan magas értéket kaptunk (39 m/s). A nem jeges esetek egyharmadánál W_m kisebb, mint 15 m/s, és csak egy esetben nagyobb 20 m/s-nál (23 m/s). A 15 m/s-ot meghaladó feláramlási sebességű réteg vastagsága a jeges esetek több mint 90%-ában elérte vagy meghaladta a 4 km-t, míg ez az érték a többi esetnek csupán 20%-ában fordult elő. Érdemes megjegyezni, hogy e viszonylag nagy sebességű réteg vastag-

sága a jeges esetek egyötödében igen jelentős – $\Delta H_{w>15} \geq 8$ km – volt, gyakorlatileg átfogva a troposzféra középső és felső részét. Abban a két nem jeges esetben, amikor $\Delta H_{w>15}$ meghaladta a 6 km-t, a 0 °C-os izoterma viszonylag magasan, 4 km fölött helyezkedett el. Így feltehető, hogy ezeken a napokon is volt olyan felhő, amelyben jégszemek képződtek, ezek azonban még a felszín elérése előtt elolvadtak. Alátámasztják ezt *Sulakvelidzetal.* (1970) számításai is amelyek szerint még az 1,5 cm átmérőjű jégszemek is elolvadnak, ha az olvadási pont magassága a 4 km-t meghaladja. A *3. ábrán* a különböző esetek W_m és $\Delta H_{W>15}$ szerinti együttes eloszlása látható. A W_m és a $\Delta H_{W>15}$ értékeinek növekedésével a jégeső valószínűsége is nő. Ha $W_m \geq 19$ m/s, vagy $\Delta H_{W>15} > 4$ km, az esetek mintegy 95%-a jeges.



3. ábra: A jeges és nem jeges esetek együttes eloszlása a feláramlási sebesség maximumának és a 15 m/s-ot meghaladó feláramlási sebességű réteg vastagságának a függvényében

A jeges és nem jeges eseteknek a felhőtető számított hőmérséklete szerinti eloszlása a *4. ábrán* látható. Jégesők esetén $T_{Hm} \leq -31$ °C, míg a nem jeges esetek 42%-ánál $T_{Hm} \geq -31$ °C. A jégesők 77%-ában $T_{Hm} \leq -49$ °C (a legalacsonyabb érték −68 °C), a nem jeges esetek 92%-ában pedig $T_{Hm} \geq -49$ °C (a legmagasabb érték −13 °C). Ezeket az eredményeket úgy értékelhetjük, hogy a jégesős napok döntő többségében a számított konvekciós szint (a felhőtető) megközelíthette, vagy elérhette a tropopauzát, míg a záporos napok közül ez csak két esetben fordult elő. Megjegyezzük, hogy a kapott felhőtető mindig hidegebb a környezeténél s ez a különbség a tropopauzát áttörő felhők esetén akár a 10 °C-ot is elérheti.

A jeges és nem jeges esetek W_m és T_{Hm} együttes eloszlása *(5. ábra)* szerint a már korábban említett $W_m \geq 19$ m/s vagy a $T_{Hm} \leq -49$ °C egyikének teljesülésekor az esetek mintegy 95%-a jeges, és a jeges esetek 95%-ára is igaz ez az állítás. Ez a két érték – a $\Delta H_{W>15} \geq 4$ km feltétellel együtt – jól jellemzi a jégesők kialakulásához szükséges alapfeltételek jelenlétét, vagyis az instabilitási energia nagyságát, realizálódásának magasság szerinti eloszlását és a hozzá tartozó hőmérsékleti viszonyokat.

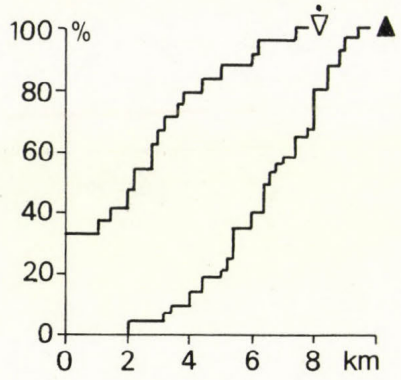
Az eredmények értékelése

A vizsgált paraméterek közül a $\Delta H_{w>15} \geq 4$ km, a $W_m \geq 19$ m/s és a $T_{Hm} \leq -49$ °C külön-külön is olyan értékeknek bizonyultak, melyek 91, 87 és 83%-os biztonsággal válogatták szét a jeges és nem jeges eseteket. Az,

hogy a W_m és a $\Delta H_{W>15}$ ilyen jó prediktor változók, arra utal, hogy az instabilitási energia nagyságának és függőleges eloszlásának döntő szerepe van a jégesők kialakulásában.

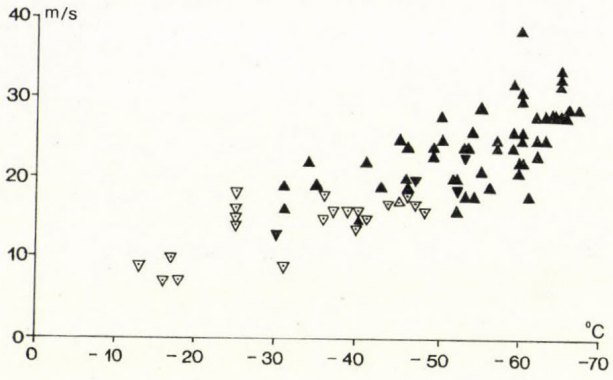
Eredményeink azt mutatják, hogy a kvázi légtömegen belüli jégesők – megfelelő légállapot méréseket használva – meghatározott statisztikai valószínűséggel előrejelezhetők az alkalmazott egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell bizonyos számított paramétereinek segítségével. Ezen paraméterek a légrétegződés termikus instabilitásának nagyságával és az instabilitás vertikális eloszlásával vannak szoros kapcsolatban.

Meg kell jegyezni azonban hogy ezeket az eredményeket utólagos feldolgozás alapján nyertük, amikor az egyes folyamatokra vonatkozó adatok



4. ábra: A jeges és nem jeges esetek eloszlása a felhőtető hőmérsékletének függvényében

(volt jég, nem volt jég, a felhőtető rádiólokátorral mért magassága, légtömegen belüli vagy frontális helyzet, maximális hőmérséklet stb.) már rendelkezésünkre álltak. Tizenkét esetet még így sem tudtunk teljes bizonyossággal sem a jégesős, sem pedig a nem jégesős csoportba besorolni, mert csak Baranya megye területén van olyan információs hálózatunk, amely segítségével tudomást szerzünk az előfordult jégesőkről és az általuk okozott kár nagyságáról. Bizonyára kedvezően hatott eredményeinkre az a tény is, hogy ismertük a területre jellemző maximális hőmérsékletet és a harmatpontot, az időjárási térképek utólagos analízise pedig lehetővé tette a frontátvonulások pontos rögzítését, valamint a reprezentatív légállapotmérés pontosabb kiválasztását. Ily



5. ábra: A jeges és nem jeges esetek együttes eloszlása a feláramlási sebesség maximumának és a felhőtető hőmérsékletének függvényében

eredményeink is a jégesők kialakulását befolyásoló ismert feltételek szükségességét igazolják.

módon a tévedés lehetősége minimálisra csökkent, és ennek megfelelően

Az elmondottakból következik, hogy ha az egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell segítségével kapott eredményeket prognózis készítéséhez kívánjuk felhasználni, csak úgy remélhetünk sikert, ha megoldjuk a modell kezdeti föltételeinek – mint amilyen a szinoptikus helyzet, az áramlási viszonyok, a légállapot, a maximális hőmérséklet, a nedvesség és a felhőalap – előrejelzését.

1983-ban vizsgálatainkat már előrejelzett hőmérséklet szerint végezzük. A légállapot és főleg a kondenzációs szint előrejelzése nehezen megoldható feladat (*Belentsova* et al., 1974), a megoldás pontossága jelentősen befolyásolhatja a konvektív folyamatok előrejelzésének sikerességét. Ezenkívül a fentiekből következik, hogy szükség van az eddig már megvizsgált és az ezután megvizsgálandó esetek mezoszinoptikai feldolgozására, valamint a felhőzet fejlődési menetének tanulmányozására.

Köszönetnyilvánítás. A szerzők kifejezik köszönetüket *Wirth Endrének* a munka végzése során nyújtott sokoldalú támogatásáért és a mindenre kiterjedő segítségéért, valamint *Geresdi Istvánnak*, *Székely Csabának* és *Zoltán Csabának*, az Alkalmazott Felhőfizikai Központ munkatársainak a hasznos tanácsaikért.

IRODALOM

Abshaev, M. T., Burcev, I. I., Vaksenburg, S. I. és *Shevela, G. F.*, 1980: *Rukovodstvo po primeneniyu radiolokatorov MRL-4, MRL-5 i MRL-6v sisteme gradozashchity.* Gidrometeoizdat Leningrad.

Bartha I. és *Böjti B.*, 1982: Radarral mért adatok a viharjelzésben. *Meteorológiai Tanulmányok 40*, Budapest.

Bekryaev, V. I. és *Vorobyov, B. M.*, 1972: Strujnaya model oblachnoj konvekcii. Chislennyj experiment. *Fizika Atmosfery i Okeana 9.*

Belentsova, V. A., Fedchenko, L. M. és *Chepovskaya, O. I.*, 1974: Issledovanie vzaimosvyazi visoty nizsnej granici konvektivnyh oblakov s termodinamicheskimi harakterisztikami podoblachnogo sloya. *Trudy VGI 28*, 109–117.

Bodolai I., 1954: *A konvektív zivatarok aerológiai-szinoptikai feltételeiről.* Akadémiai Kiadó, Budapest.

Boev, P. és *Stoyanov, S.*, 1977: Vliyanie stratifikacii vlazsnosti na oblachnuyu konvekciyu. *Hidrologiya i Meteorologiya 4*, 17–26, Sofia.

Fedchenko, L. M. és *Belentsova, V. A.*, 1981: Forecast of hail processes. Nowcasting: Mesoscale observations and short-range prediction, *ESA SP-165*, 169–172, Paris.

Geresdi I., Molnár K. és *Zoltán Cs.*, 1982: Egydimenziós stacionárius zivatarfelhő-modell. *Beszámolók 1980*, 225–233 (OMSZ) Budapest.

Götz, G. és *Szalay G.*, 1977: A konvektív folyamatok előrejelzésének elméleti alapjai és gyakorlati módszerei. *Meteorológiai Tanulmányok 19*, Budapest.

Götz G. és *Rákóczi F.*, 1981: *A dinamikus meteorológia alapjai.* Tankönyvkiadó, Budapest.

Kacsurin, L. G., 1978: *Fizicseszkije asznovü vozgyesztvija na atmoszfernüje processzü.* Gidrometeoizdat, Leningrád.

Renick, J. H. és *Maxwell, J. B.*, 1977: Forecasting Hailfall in Alberta. *Meteorological Monographs 38.*

Rogers, R. R., 1978: *A Short Course in Cloud Physics.* Pergamon Press, Oxford, New-York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig.

Shmeter, S. M., 1972: *Fizika konvektivnyh oblakov.* Gidrome teoizdat, Leningrad.

Stoyanov, S. és *Boev, P.*, 1980: K prognozu grada. *Bulgarien Geophysical Journal, 3*, 10–16.

Sulakvelidze, G. K., Glushkova, N. I. és *Fecdhenko, L. M.*, 1970: *Prognoz grada, groz i livnevyh osadkov.* Gidrometeoizdat Leningrad.

Weickmann, H. K., 1964: The language of Hailstorms and Hailstones. *Nubila-Anno 1*, Verona.

Zverev, S. S., 1977: *Sinopticheskaya meteorologiya.* Gidrometeoizdat, Leningrad.

IRODALOM

MAZIN, I. P. — SMETYER, SZ. M.: **Oblaka, sztroenyija i fizika obrazovanyija** *(A felhők szerkezete és keletkezése)*. Gidrometeoizdat, Leningrád, 1983. 279. old., 92 ábra, 46 tábl., 6 melléklet, 289 irod. hivatk.

Jelen sorok írója a kötetet igen nagy érdeklődéssel vette kézbe. Ennek az a magyarázata, hogy a hatvanas évek első felében megjelent két előző szovjet felhőfizikai kézikönyvet annak idején igen gyakorta forgatta. Az előző két könyv egyikét a moszkvai iskola reprezentánsai 1961-ben publikálták (szerkesztő *A. K. Khrgian*), míg az 1964-ben megjelent másik munka szerzője *N. Sz. Siskin*, a leningrádi iskola nemrég elhunyt neves képviselője.

A felhőfizika fejlődéséből, a kutatások kiszélesedéséből az következne, hogy *Mazin* és *Smetyer* műve jóval terjedelmesebb, mint az előző két kiadvány. Érdekes módon ennek éppen az ellenkezője igaz. A Khrgian által szerkesztett kötet 459 oldal, míg *Siskin* könyve 401 oldal terjedelmű. Mindez azt a tételt bizonyítja, hogy az információk gyarapodása nem szükségszerűen jár együtt a kézikönyvek terjedelmének növelésével. Nyilvánvaló viszont, hogy napjainkban a szerzők sokkal nehezebb helyzetben vannak, mint elődeik. A túl sok információ korában azonban elsősorban nem azért nehéz tudományos könyvet írni, mivel a szerzőnek számos folyóiratot kell átlapoznia, illetve számos cikket kell elolvasnia. Feladata azért nem könnyű, mivel művének meghatározott irányt kell szabnia és minden, nem közvetlenül ehhez kapcsolódó adatot és eredményt könyörtelenül ki kell hagynia. Ha valaki mindent beír könyvébe, amit tud, vagy amiről tudomása van (ez egyébként igen csábító), akkor majdnem biztos, hogy a munka túlságosan szerteágazóvá, esetleg áttekinthetetlenné válik.

Örvendetes, hogy jelen kötet mentes ezektől a problémáktól. A szerzők csak az alapvető ismereteket foglalják össze tömör, egy két helyet nem tekintve világos formában úgy, hogy a mikrofizikai folyamatok mellett a felhők mezo- és makrofizikájának is jelentőségének megfelelő figyelmet szentelnek. Ily módon, egyetlen kötetből, a felhőfizika korszerű eredményeivel viszonylag könnyen megismerkedhetünk.

A könyv három részből és tizenkét fejezetből áll. „A felhők makrofizikai szerkezete" címet viselő első rész *Smetyer* munkája, míg a másik két részt *Mazin* állította össze. Ezek címe: „A felhők mikrofizikai szerkezete", illetve „A felhők keletkezésének fizikája".

A tartalom elsősorban abban különbözik a hatvanas években publikált szovjet felhőfizikai könyvek tartalmától, hogy *Mazin* és *Smetyer* nem tárgyalják a felhők mesterséges módosítását, illetve a méréstechnikai részleteket. Az utolsó fejezetben röviden összefoglalják viszont a felhő- és csapadékképződés numerikus modellezésére tett erőfeszítéseket.

A kötet érdekessége — és a szerzők érdeme —, hogy az irodalomjegyzékben lényegében csak az 1970 után megjelent publikációkkal találkozunk. A 289 korszerű irodalmi hivatkozásból 177 orosz nyelven jelent meg. A kötet forgatása így lehetővé teszi a legújabb szovjet irodalom áttekintését is. Az idézett, nem orosz nyelvű tanulmányokból kettőt magyar szerzők készítettek.

A szöveget jól használható mellékletek teszik teljesebbé, amelyek elsősorban különböző fizikai állandók numerikus értékeit tartalmazzák. Végül a könyv megfelelő tárgymutatóval zárul.

Az elsősorban kezdő kutatóknak, illetve egyetemi hallgatóknak ajánlható kötet értékét csak fokozta volna, ha a szerzők a matematikai formalizmust még tovább egyszerűsítik.

Mészáros Ernő

KRÓNIKA

METEOROLÓGIAI TUDOMÁNYOS NAPOK

Az évenként immár szokásossá vált meteorológiai tudományos napok előadás-sorozatára az elmúlt évben november 17—18-án került sor az MTA székházában. Az előadások sorra vették a *műholdmeteorológiának*, nemkülönben a *távérzékelésnek a meteorológiával összefüggő* kérdéseit. A témaválasztást két körülmény indokolta: egyrészt a magyar meteorológiai szolgálatban a meteorológiai műholdak adásának rendszeres vétele 15 évvel ezelőtt kezdődött meg, másrészt az elmúlt néhány év folyamán a kozmikus meteorológia és a távérzékelés területén jelentős hazai eredmények születtek. A Központi Légkörfizikai Intézetben a műholdvevő állomás fejlesztése és a kiépített számítógépes képfeldolgozó rendszer megnyitotta a lehetőséget a korszerű kutatások előtt.

A tudományos napok másfélnapos ülésszaka keretében 20 előadás hangzott el. *Mészáros Ernő* igazgató, a Meteorológiai Tudományos Bizottság elnöke bevezető szavai után a megnyitó előadást *Kozák Béla* elnökhelyettes, a Kozmikus Meteorológiai Szakbizottság elnöke tartotta „A kozmikus távérzékelés jelene és jövője a meteorológiában" címmel. Rámutatott a kozmikus távérzékelésben rejlő hatalmas lehetőségekre a meteorológia különböző ágazataiban. Meggyőző érvekkel és külföldi példákkal bizonyította, hogy a műszaki fejlesztésbe és a kutatómunkába befektetett költségek többszörösen megtérülnek.

György István előadásából kitűnt, hogy az OMSZ műholdvevő rendszere technikai színvonalával, megbízhatóságával és szolgáltatásaival megfelel a nemzetközi technikai színvonalnak. Többek között megoldották a műholdak automatikus vételét. A METEOSAT-2-ről vett WEFAX felvételeket rendszeresen továbbítják a Központi Előrejelző Intézetbe és a ferihegyi repülőtérre. A feltételek adottak magasabb kategóriájú vevőrendszer üzembeállítására.

Pintér Ferenc az analóg képek *on-line* vételét és interaktív digitális feldolgozását biztosító rendszerről számolt be, amelyet egy CII-10010-es számítógépre fejlesztettek ki. A rendszer egyelőre kutatási szinten működik, de a közeljövőben a feldolgozásokat operatív szolgáltatássá kívánják fejleszteni.

E képfeldolgozó rendszer egyik produktuma a szélvektor számítás a METEOSAT felvételek alapján interaktív huroktechnika alkalmazásával. Ez az eljárás az időjárási képződmények fejlődési folyamatába, mozgásába minden eddiginél mélyebb bepillantást tesz lehetővé. Ezt igazolta *Rákóczi Ferenc—Pintér Ferenc* előadásában bemutatott időjárási helyzetelemzés.

Egy másik alkalmazást illusztrált *Kapovits Albert—Pintér Ferenc—Tänczer Tibor* előadása, amelyben az időjárási radar és a meteorológiai műholdinformációk együttes analízisére tesznek kísérletet. A módszer lényege a műholdfelvételeknek a radar képernyőjére történő transzformációja. Ennek hasznosságát konkrét példával támasztották alá.

Értékes elméleti munkáról számolt be *Dombai Ferenc—Jákfalvy Mihály—Németh Péter*. A radar iránykarakterisztikájának figyelembevételével a meteorológiai célok és rádiólokációs képeik közötti kapcsolatot vizsgálták. Emellett matematikai eljárást dolgoztak ki a rádiólokációs kép szűrésére.

A műholdfelvételek éghajlati vonatkozású feldolgozására vizuális digitalizálásuk révén kerülhetett sor. *Kapovitsné Róth Renáta* ilyen megközelítéssel tanulmányozta az összfelhőzet éghajlati jellemzőinek (havi és évszakos eloszlás, variancia, szerkezeti és autokorrelációs függvények) alakulását 5 éves adatbázis alapján Európa fölött. A vizsgálat jól tükrözte az általános cirkuláció változásait, valamint a tenger és a szárazföld eltérő hőgazdálkodásának hatását.

Kísérlet történt a csapadékhullás valószínűségének és mennyiségének becslésére az infravörös műholdfelvételek alapján (*Saikó János—Tänczer Tibor* előadása). Prediktorként a vizsgálati területen (Dunántúl és Alföld) denzitométerrel képezett átlagos fényességet, illetve az abból leszármaztatott felhőtető hőmérsékletet és magasságot tekintették. A kapott eredmények biztatók, az ilyen kutatások folytatására ösztönöznek.

Lényegében az analóg felvételek operatív célú digitális feldolgozását biztosítja az EMR 810-M8 típusú adatmanipulátor, amelynek sokoldalú felhasználási lehetőségeiről *Saikó János* tartott előadást. Példákkal demonstrálta a berendezés hasznosságát különféle feladatoknál (fényességi kiemelés, földfelszín-, ill. felhőtető-hőmérséklet analízis, nagyítás).

A digitális műholdfelvételek számítógépes

feldolgozására *Rajki Ilona* mutatott be szép példát. TPA 11/40-es számítógépen egy képrészletre vonatkozóan linearizálást hajtott végre, kijelölte a partvonalat, vizsgálta a felhőzet magasság szerinti elrendeződését és annak típusát. Az eredményeket földfelszíni megfigyelések alapján ellenőrízte.

A műholdfelvételek mellett nagy jelentőséget kapnak a légkörkutatásban a műholdról folytatott sugárzásmérések. *Major György* előadásában áttekintette a sugárzási egyenleg mérésének jelenlegi helyzetét és perspektíváit a közelmúltban e témában rendezett nemzetközi ülés anyaga alapján, továbbá az eddigi hazai sugárzási vizsgálatokat.

Rimócziné Paál Anikó a METEOSAT felhőképekből a relatív globálsugárzás meghatározására fejlesztett ki eljárást. A felállított empirikus formulával a műholdas felhőadatok alapján a relatív globálsugárzás 6 – 8%-os pontossággal becsülhető.

A hagyományos megfigyelésekhez képest aszinkron műholdinformációknak meteorológiai mezők objektív analízisében és előrejelzésében történő alkalmazására *Dévényi Dezső – Sallai Márta* dolgozott ki módszert. Lényege az optimális interpoláció metodikájának kiterjesztése. Numerikus kísérletekkel kimutatták, hogy a műholdadatok ritka aerológiai állomáshálózat esetén akár 60 – 80%-os javulást eredményezhetnek az analízisben.

A számítógépes műholdkép feldolgozó rendszer derült idő esetén képes az infravörös műholdfelvételekből talajfelszíni hőmérsékleti térképek előállítására. *Kozma Ferenc – Pintér Ferenc – Tänczer Tibor* ismertették az ilyen módon nyert magyarországi térképek fő jellemzőit, előnyeit, felhasználási területeit, valamint a földi mérésekkel történt összehasonlítás eredményeit.

Az ilyen hőmérsékleti adatok pontossága nagyban függ a légköri, elsősorban a vízgőztől származó elnyeléstől. Ezzel a kérdéssel foglalkozott *Miskolczi Ferenc* előadása. Egzakt módszert dolgozott ki az elnyelési korrekció kiszámítására.

A népgazdaság különböző területein (mezőgazdaság, földhasznosítás, vízgazdálkodás stb.) mindjobban előtérbe kerül a finomfelbontású (néhányszor 10 m) digitális műholdfelvételek (Landsat, Meteor) alkalmazása. Feldolgozásuknál az egyik legfontosabb feladat a különböző területek elkülönítése, ill. azonosítása. Ebben a feladatban nagy a szerepe a clusterezés problematikájának, melynek kérdésköréről *Gulyás Ottó – Ketskeméty László – Meisingerné Korándi Márta* tartott előadást.

Egy másik előadás *(Faragó Tibor – Gulyás Ottó)* az optimális döntési eljáráshoz tartozó minimális hiba becslését ismertette. A módszert négysávos műholdképeken végzett kísérleti eredményekkel illusztrálták.

Bozó Pál – Leszták Sándor – Vadász Vilmos magyarországi területek fölött készült finomfelbontású digitális műhoidfelvételet feldolgozásával azonosították a különböző mezőgazdasági művelésű területeket és értékelték a növényállomány állapotát. Vázolták a legfontosabb növényekre kapott biomassza-vegetáció index összefüggéseket, amelyek az értékelések alapját képezik.

A növénytakaró spektrális jellemzőiről számolt be *Mátrai Marina – Sipos Győző* szovjet és amerikai vizsgálatok alapján. E kutatások a növények azonosítását és a vetés állapotának meghatározását szolgálják.

A finomfelbontású felvételeknél hatványozottan jön számításba a légkör befolyása a mérési adatokra. *László István* az ebből fakadó torzulás számításbavételére iterációs eljárást dolgozott ki. A módszer alkalmazását példán keresztül mutatta be.

A tudományos ülésszak *Major György*-nek, a Kozmikus Meteorológiai Szakbizottság titkárának zárszavával ért véget. Kiemelte, hogy az elért eredményekben nagy része van az Interkozmosz Tanács és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság anyagi támogatásának.

A rendezvény méltó folytatása volt a korábbi meteorológiai tudományos napoknak. A téma iránti érdeklődést jelzi az ülések nagyfokú látogatottsága. Úgy érezzük, az ülésszak a várakozást kielégítette, a hallgatóság az elhangzott előadásokon keresztül teljes képet kapott az OMSZ műholdvevő és információt feldolgozó rendszeréről, valamint a műholdmeteorológia és távérzékelés terén folyó kutatásokról.

Tänczer T.

*

MŰHOLD-PROGRAM A FÖLD ÉGHAJLATÁNAK JOBB MEGISMERÉSÉRE

A Nemzetközi Műholdas Földfelszín Klimatológiai Program (röviden ISLSCP) első munkaüléseire a nyár folyamán került sor. Takarékossági okokból külön ülést rendeztek az Egyesült Államokban és Indiában. Az európai és az afrikai kontinens szakemberei számára az ülést Innsbruckban tartották 1983. július 21 – 26 között. Az ülésen 45 fő vett részt, az Országos Meteorológiai Szolgálatot a jelen sorok írója képviselte. A magyar részvételt elősegítette, hogy a WMO az utazáshoz anyagi támogatást nyújtott.

A program fő célkitűzése a Föld éghajlatát befolyásoló tényezők jobb megismerése, különös hangsúllyal az emberi tevékenység hatására. Ennek érdekében a fontos földfelszíni paraméterekre vonatkozóan 20 éves (1972 – 1992) homogén, műholdas adatbázist kívánnak létrehozni. (1972-ben bocsátották fel a *Landsat-1* műholdat.) A terv kapcsolódik az Éghajlati Világprogramhoz, amelyben a világméretű GARP kísérlethez hasonlóan a műholdaknak kulcsfontosságú szerepet szántak. A rendszert az időszak végére operatívvá akarják fejleszteni.

Az ülések részben plenárisak voltak, részben 5 munkacsoport keretében folytak. A plenáris üléseken a témához kapcsolódó előadások hangzottak el és a munkacsoportok jelentéseit vitatták meg. *Tänczer Tibor* a talajfelszín hőmérsékletének műholdas infravörös mérésekből történő kiszámításával kapcsolatban a hazai tapasztalatokról számolt be.

A program részletes összeállítása és megtárgyalása a munkacsoportok keretében történt. A tervekről és határozatokról 132 oldalas jelentés készült. Az egyes munkacsoportok tevékenysége röviden az alábbiakban foglalható össze.

1. Munkacsoport – „Földfelszíni paraméterek műholdas érzékelése az éghajlat modellezése és az éghajlati hatások monitorizálása céljából".

Az eghajlat modellezése a földfelszín igen részletes és sokrétű megfigyelését igényli. Általában elfogadottá vált az a nézet, hogy az éghajlatváltozás a földfelszín és a légkör kölcsönhatásán keresztül következik be. Az éghajlatváltozás tanulmányozására szolgáló legalkalmasabb paraméterek: talajnedvesség, vegetáció (típusa és hossza), albedó, evapotranspiráció, levegő- és vízszennyeződés, erózió, termikus inercia, talajfelszín hőmérséklete, emisszivitás, belvíz, örök fagy határa. A megfigyelések tér- és időskálája változó aszerint, hogy az általános cirkulációval összefüggő vagy mezoskálájú éghajlatmodellezésről van szó. Nagyon fontos a műholdas adatoknak földfelszíni mérések alapján történő hitelesítése. Megállapították, hogy a műholdas paraméterek nem helyettesítik, hanem csak kiegészítik a földi méréseket. Ugyanakkor a műholdas megfigyelések pontossága és hatékonysága viszonylag kevésszámú földi mérés bevonásával nagymértékben megnő.

2. Munkacsoport – „Légköri korrekció".

E munkacsoport keretében vitatták meg mindazokat a hatásokat, amelyeknek figyelembevétele szükséges, hogy a földfelszíni paraméterekre vonatkozóan a tényleges értékek birtokába jussunk. Ide sorolható a felhőzet hatása, az iránykorrekció, a légköri elnyelés, a műszerkalibráció és az emisszivitás. A szükséges korrekció vizsgálatánál külön kell választani a rövid- és a hosszúhullámú sugárzás tárgyalását.

A rövidhullámú sugárzásnál a légkör optikai vastagságát, az aeroszol fázisfüggvényt, a vízgőz- és ózonartalmat, a detektor kalibrációs tényezőjét kell figyelembe venni. A műszerkalibrációhoz nagyon hasznos lehet a nagy magasságú repülőgépek vagy űrkomp igénybevétele.

A hosszúhullámú sugárzásnál elsősorban a vízgőz és az aeroszol elnyelésére kell figyelmet fordítani. A korrekció elvégezhető klimatológiai adatok alapján, egycsatornás szondázással és multispektrális megfigyelések felhasználásával.

3. Munkacsoport – „Történeti adatok analízise: képesek-e a műholdak a földfelszínen végbemenő mennyiségi változások érzékelésére; szúrópróba szerű kísérletek".

Legfontosabb paraméterekként az albedót, a növényzetet és a felszíni hőmérsékletet említették ki. A vizsgálatokhoz speciális körzeteket jelöltek ki, ahol már kimutatható változásokra lehet számítani (Egyiptom, Bangladesh, Izrael, Szahara, Mexikó, Karib-tenger térsége, Kanada). A fő problémák egyébként a túlzásba vitt erdőirtással, illetve az ezt követő elsivatagosodással függnek össze.

Külön figyelmet érdemel az agroklimatológiai információs és monitorizáló rendszer. Ennek fő feladata a Szahel-övezet tanulmányozása, ahol az utóbbi években katasztrófális szárazság pusztít. A terv lényege egy műholdakon alapuló klimatológiai felmérés, amely a későbbiekben aszályfigyelmeztető szolgáltatássá lenne fejleszthető. A programra mintegy 600.000 $-t szánnak.

Kiválasztottak több olyan területet, ahol szúrópróba szerű vizsgálatokat végeznek majd. Az a törekvés, hogy a műholddal mért sugárzási adatokból felszíni fizikai paraméterekhez jussanak, csak földi megfigyelésekkel történő összevetés alapján realizálható. Lényeges, hogy a földi adatok területi integrálásánál olyan karakterisztikákat kapjunk, amelyek reális alapul szolgálnak az összehasonlítás számára.

A vizsgálati területek lehetőleg éghajlatváltozást tükrözzenek. Legyenek elegendően nagyok, homogének és nagy térségre nézve reprezentatívak. Megfelelő műholdadatok (NOAA, Meteosat, Landsat) álljanak rendelkezésre. Lényeges követelmény továbbá, hogy biztosítva legyenek a kísérlet személyi és anyagi feltételei.

A kijelölt kísérleti területek az alábbiak: Európában – Franciaország, Olaszország, Magyarország; Afrikában – Szahara, Szahel-övezet, Niger, Kenya; Ausztrália, Grönland, Antarktisz.

Magyarországon a felszíni albedó és hőmérséklet, valamint a hótakaró műholdas vizsgálatát irányoztuk elő.

4. Munkacsoport – „Geokódolt információs rendszer".

A vizsgálatok lehetnek pixel orientáltak, amikor pixel-adatokat hasonlítunk össze, de épülhetnek térképvetületre transzformált adatokra. A földrajzi azonosításnál gyakran alkalmazott módszer, hogy referencia pontokat választunk ki és polinomiális regresszió számítást végzünk (1 Landsat képre 2–3 óra gépidő).

Kívánatos, hogy a geokódolt információs rendszer tartalmazza a digitális terepmodellt a topografikus korrekció számára. Nagyon hasznosnak ítélték meg a különböző célú (botanika, geológia stb.) tematikus térképek készítését. A hatékony adatcsere érdekében egységes azonosító módszer kidolgozására lenne szükség.

5. Munkacsoport – „A program kivitelezése".

A program megvalósítását 3 fázisban kép-

zelik el: 1. A történeti adatok kiértékelése. 2. A jelenlegi műholdas információk hitelesítése. 3. Az operatív rendszer beindítása.

A program eredményes lebonyolítását szemináriumok, szimpóziumok, munkaülések szervezésével segítik elő. A jövő évre tervezett ülések közül kiemelkedik a grázi COSPAR találkozó és az olaszországi nemzetközi sugárzási szimpózium, amelyeken az ISLSCP aktuális kérdéseit is megvitatják.

Határozat született program-felelős és irányító testület kijelölésére. Javasolták továbbá egy európai földfelszín klimatológiai csoport létrehozását. Ami a program anyagi hátterét illeti, évi 300 000 $-os ráfordítást terveztek be.

Tänczer T.

✳

FIATAL METEOROLÓGUSOK SZAKMAI FÓRUMA

Az OMSZ Ifjúsági Bizottsága és az MMT Róna Zsigmond Ifjúsági Köre a korábbi években önálló munkák megírására meghirdetett pályázatot – kiváló ötlettel – továbbfejlesztette azzal, hogy 1983-ban először a pályázók mindegyike a nagy nyilvánosság előtt tarthatott előadást munkájáról.

Az alkalmat erre, a címben megnevezett fórum megrendezésével teremtették meg, amely 1983. október 11–12-én az MTESZ Kossuth téri székházában zajlott le. Az önálló pályamunkák nyilvánosság előtti bemutatása lehetőséget nyújtott a fiatal meteorológusoknak egymás és egymás munkájának közelebbi megismerésére, előadó- és vitakészségük fejlesztésére ami egyébként a rendezők fő célkitűzése volt. Rendezők, előadók, bírálók és jutalmazottak, valamint a hallgatóság túlnyomó része is a fiatal szakemberek köréből került ki. Az előadással egybekötött pályázatra 24 fiatal szakember nevezett be, közöttük az ELTE meteorológia szakos hallgatói is. Külön örömmel nyugtázta a rendezőség, hogy a technikusok is vállalkoztak munkájuk előadás formájában történő bemutatására.

A fiatalok 1983. évi fórumán rendre az alábbi előadások hangzottak el: *F. Iványi Zsuzsanna* (KMI): Megnyitó, *Mika János* (KEI): Antropogén klimamódosító hatások, *Mika János – Boncz József* (KEI): Kapcsolatok a változó éghajlat egyidejű statisztikai paraméterei között, *Matyasovszky István* (egy. hallg.): Nadaraya-módszer akalmazása a meteorológiában, *Balog Mihály* (KMI): Meteorológiai eloszlások szélső értékeinek vizsgálata, *Szentimrey Tamás* (KMI): Hőmérsékleti és csapadéksorok trendvizsgálata, *Hoffmanné Fiers Daniella* (KMI): Szélviszonyok vizsgálata a szélenergia-hasznosítás szempontjából, *Salamon Lászlóné* (KMI): Népies időjárási szabályok beválásának statisztikai vizsgálata, *Juhászné Békési Zsófia – Tóth Zoltán* (KEI): A 30 napos időjárás-előrejelzésnek továbbfejlesztése, *Kerekes András* (KEI): Hidegfrontok felismerésének numerikus lehetőségei a pszeudopotenciális hőmérsékleti mező gradiensei alapján, *Weidinger Tamás* (ELTE): Finomfelbontású nedvesség-előrejelzési módszer, *Pálvölgyi Tamás* (egy. hallg.): A stabilitáselmélet néhány meteorológiai alkalmazása, *Bézsenyi Ákos* (KMI): Komplex Lorentz-egyenletek és alkalmazása, *Tutsek Endre* (KMI): Az advektív tag közelítésének lehetőségei a turbulens diffuziós egyenletben, *Sallai Márta* (KEI): Műholdas információk felhasználási lehetőségeinek vizsgálata a meteorológiai mezők objektív analízisében, *Kecskeméti László – Korándi Márta* (KMI): Digitalizált műholdképek számítógépes clusterezése, *Fabriczy Attiláné* (KLFI): Ködhelyzetek analízise műholdképek alapján, *Haszpra László* (KLFI): A magyarországi csapadékkémiai állomáshálózat sűrűségének és elhelyezkedésének vizsgálata, *Zsoldos Ilona* (KLFI): A domborzat szerepe az optimális termőhelyek kialakításában, *Csapó Piroska* (KLFI): A szőlőültetvények fagykárainak meteorológiai vonatkozásai, *Mersich Iván* (KMI): Zárszó.

A zárszavak elhangzása után a „legjobb pályamű" és a „legjobb előadó" cím meghirdetésére és jutalmának odaítélésére került sor. A bíráló bizottság tagjai – az előadóülések elnökei, *Németh Lajos, Práger Tamás, Dévényi Dezső, Várhelyi Gabriella*, valamint a szervezők részéről az OMSZ Ifjúsági Bizottság elnöke, *F. Iványi Zsuzsanna* és az MMT Róna Zsigmond Ifjúsági Kör elnöke *Mersich Iván* – a díjak odaítélésekor nehéz helyzetben voltak, mert jónéhány magas színvonalú, tartalmas, a formai követelményeket is kielégítő előadásból kellett egyet-egyet kiválasztaniok. Végül a legjobb pályamű díját *Weidinger Tamás* (ELTE) a legjobb előadó címet és díjat *Mika János* (KEI) kapta. Szépen kidolgozott és kivitelezett munkájáért külön díjban részesült *Salamon Lászlóné* (KMI) és tartalmas előadásukért *Matyasovszki István és Pálvölgyi Tamás* egyetemi hallgatók.

A megjelentek egybehangzó véleménye szerint az előadássorozat eredményes volt, kitűzött célját elérte. A fiatal szakemberek széleskörű tevékenységéről átfogó képet adott, hivatástudatukról, aktív vitakészségükről tanúbizonyságot tett, megmutatta, hogy a felnövekvő ifjú szakembergárda komoly feladatok megoldására alkalmas. Kívánatos, hogy ezt a fórumot jövőre is megrendezzék és remélhető, hogy a későbbiekben a fórum a mindenkori fiatalok hagyományos rendezvényévé válik. A legjobb pályamunka és a legjobb előadó cím mellett, az ötletért és a megvalósításért a „legjobb kezdeményezők" cím illeti meg a fórum megteremtőit.

Iványi Zs. – Lőrincz A.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

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 szemlecikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kettes sortávolsággal gépelt kéziratok két példányban küldendők be a következő címre: **Időjárás Szerkesztősége Budapest, Pf. 38. 1525**

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

Címrész: 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 értelemszerűen 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 írunk. 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, kötetszám, 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 írott jeleket a margón ceruzával írt magyarázattal kell lelátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen 30 db **különlenyomatot** kapnak. Több különlenyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg rendelhető.

NOTES TO THE AUTHORS

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 adviers.

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