

A JÉGESŐELHÁRÍTÁS BEVEZETÉSE MAGYARORSZÁGON

FÖLDVÁRI JÁNOS

a mezőgazdasági tudományok kandidátusa
Baranya megyei Tanács VB, Pécs

KOZÁK BÉLA

Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest

WIRTH ENDRE

OMSZ Alkalmazott Felhőfizikai Főosztálya, Pécs

A bevezető előadás szerzői hangsúlyozták azt a tételt, hogy a természeti erőforrások jobb kiaknázása érdekében a tudománynak az eddiginél is szorosabban kell együttműködnie a gazdasági gyakorlattal.

A meteorológia számára a teljes (totális) társadalmi környezet alapvető alrendszerei: a légkör, mint természeti környezet és a gazdasági környezet, vagy termelősféra. Ennek megfelelően az előbbi tételt a következőképpen konkretizálhatjuk: a meteorológia kutatja és alkalmazza azokat a törvényszerűségeket, ill. módosítani igyekszik egyes folyamatokat, melyek a természeti környezetnek a gazdasági környezetre gyakorolt komplex hatásában jelentkeznek.

Ez utóbbiból kiemelve a mezőgazdaság területét — mint a természeti környezet hatásaira valószínűleg legérzékenyebb alrendszert — megállapítható, hogy az ebben lejátszódó termelés és feldolgozás folyamatai egyre jobban igénylik a magasabbrendű szabályozást. A fejlődés lehetőségei ui. egyre korlátozottabbak: így egyre nagyobb szerepet kapnak azok az eljárások, melyek az egyedi, perifériális, összességükben azonban mégis számottevő káros hatások minimalizálására irányulnak.

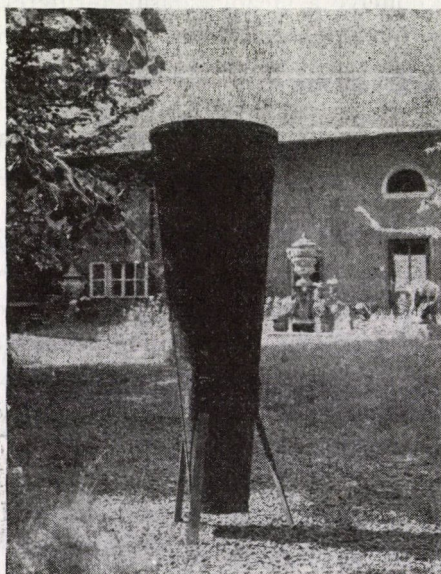
A jégverés, mint éghajlatunkra jellemző természeti csapás, mezőgazdasági termelésünkben rendszeresen, vagyis évről évre jelentős károkat okoz. Ez elsősorban az Állami Biztosító statisztikáiban tükröződik, melyek mutatják, hogy Magyarországon, az 1961—66 közötti időszakban a jégesők a növénytermesztés teljes termelési értékének 1,5%-át pusztították el (ez mintegy évi 350 millió forint kárpótlási összegnek felelt meg), ami több, mint a következő évekre tervezett termésnövekedés. A kárkifizetések a 70-es évek első felében ugrásszerűen, kereken 1 milliárd forintba növekedtek: 1976—78 között pedig elérték, ill. meghaladták az 1,5—2,0 milliárd forintot. Mivel a jégesők gyakorisága számottevően nem változott, a károk növekedése a mezőgazdasági termelés jelentős fejlődésének közvetett „eredménye”. Bár a következő években ilyen intenzív növekedés nem várható, ez mégis aláhúzza a káros perifériális hatások csökkentésének igényét.

A magyarországi kárkifizetések kb. 2,5—3%-át teszik ki annak a mintegy 2 milliárd dollárnyi termésvesztésnek, melyet ez a természeti csapás — a Meteorológiai Világszervezet (WMO) hivatalos felmérései szerint — a föld különböző országaiban okoz.

Ez a termésvesztés a jégszemek okozta mechanikai sérülések növényfiziológiai hatásaival kapcsolatos. E hatások komplex módon jelentkeznek a jégesők intenzitásának, az egyes kultúrnövények érzékenységeinek és vegetációs időszakának függvényében. A sérülések következtében kialakuló sokféle megbetegedés kártételei a következő évekre is áthúzódhatnak, s így a közvetlen károsodások többszörösét is kitehetik.

A károk nagysága önmagában is indokolja a védekezésre irányuló tudományos (vagy nem tudományos) erőfeszítéseket. Ezt mutatja, hogy a WMO felmérései szerint (1972) 34 országban végeznek és másik 32 országban megkezdik a jégesőelhárítási kísérleteket, ill. ezzel kapcsolatos kutatásokat.

A kérdés szubjektív oldala sem elhanyagolható tényező. A mezőgazdasági szakember elkeseredése az egész évi munkáját percek alatt tönkretévő jégveréssel szemben érthető, ismereteinek hiánya pedig bizonyos magyarázatot ad azokra a misztikus elképzelésekre, melyekkel a jelenséget értelmezni, kihulását pedig — az imádkozástól az 1. ábrán látható viharágyúig — meggátolni igyekeztek.



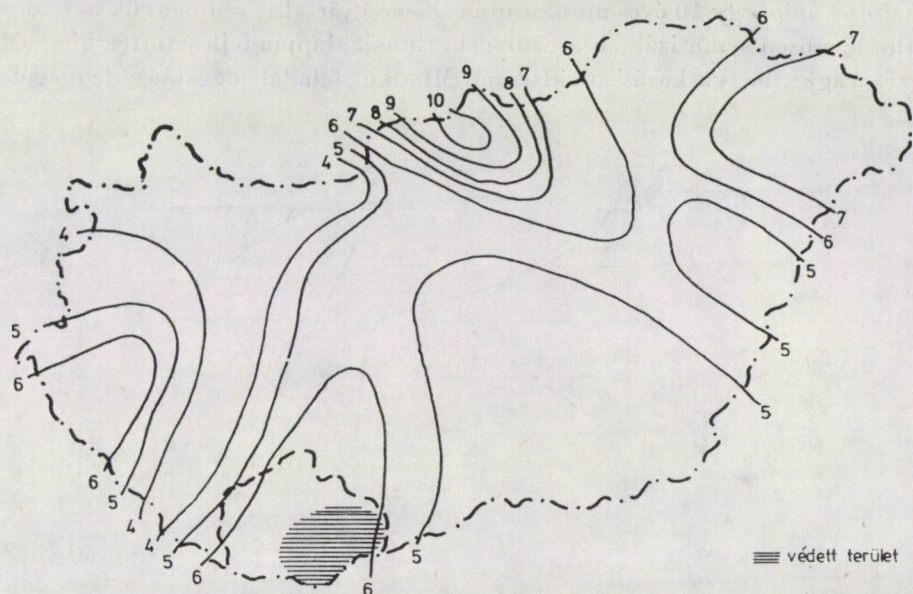
1. ábra. Az 1900-as évektől alkalmazott viharágyú egyik megmaradt példánya (Janus Panonius Múzeum, Pécs; MTI fotó). A csőtorkolatból az elsütés után előtörő örvénygyűrű jelentős mechanikai energiát képviselt, ami azonban 100—200 m-es útszakaszon elenyészett.

Fejlődést természetesen csak ismereteink lényeges gyarapodása hozhatott. Ez az utóbbi 3—4 évtizedben következett be a korszerű megfigyelési és mérőrendszerek, ill. módszerek alkalmazása és a szerzett nagy mennyiségű adat elemzése révén.

A jégeső éghajlati és fizikai jellemzése

A védekezés elve és módszere

A jégeső nagy tér- és időbeli változékonysága, valamint korlátozott területi kiterjedése már a legegyszerűbb klimatológiai jellemző: a jégesős napok évi átlagos számának megállapításában is nehézséget okoz. Újabban általában az ún. területi gyakoriságokat alkalmazzák, melyek megadják, hogy évente átlagosan hány jégesős nap előfordulására lehet számítani pl. 1000 km²-nyi területen. Ilyen adatokat láthatunk a 2. ábrán, amiből kitűnik, hogy a jégesős napok száma maximális az É-i Középhegység vidékén (10 nap/év, 1000 km²), a másodmaximumok (7, ill. 6 nap/év, 1000 km²) pedig Szabolcsban, illetve Baranya környékén találhatók. (A feldolgozás az ÁB adatai alapján történt). A jelenség éghajlati jellemzése érdekében természetesen az évszakos, havonkénti és napi gyakoriságokra, továbbá a jégeső időtartamára és nagyság szerinti előfordulási gyakoriságaira is szükség van; ezek bemutatásától azonban időhiány miatt el kell tekintenünk. Mindezek az alapvető információk lehetővé teszik,

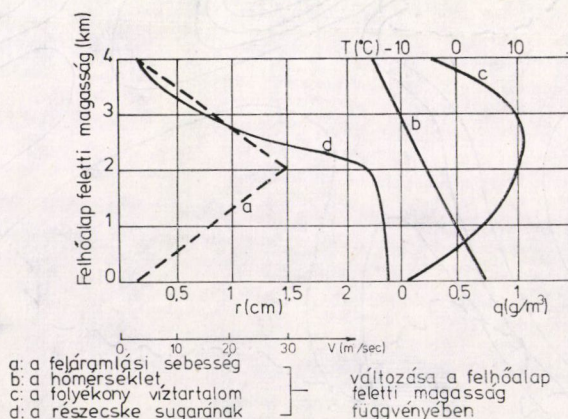


2. ábra. A jégesős napok számának eloszlása Magyarországon

hogyan feltérképezzük a jégesők éghajlati jellegzetességeit, megközelítsük a jelenleg fizikai természetét, végül kijelöljük a védekezés optimális helyét (figyelembe véve a mezőgazdasági termelés fejlettségét is).

Míg a jégesőket éghajlati szempontból elvileg a hagyományos megfigyelőhálózat adatai segítségével is jellemezhetjük, a jégszemek képződésének, növekedésének és kihullásának bonyolult folyamatait már csak az említett korszerű megfigyelési eszközök alkalmazásával lehet felderíteni. Ilyenek voltak a II. világháború hadiiparának termékei: a rádiólokátor (radar) és a korszerű repülőgépek, melyek polgári felhasználása hallatlan fejlődést biztosított a légkörfizika számára. A radarok szolgáltatva zivatarfelhőképek és a repülőgépes hőmérséklet-, víztartalom-, vertikális áramlás- és egyéb mérések elemzésével már 1949-re megszületett az első realiztikus, mennyiségi felhőmodell. A radarberendezések gyors elterjedése a mérési adatok felhalmozódására, ez pedig egyre újabb modellek szerkesztésére vezetett. A legérdekesebb eredmények az ún. esettanulmányokból származnak, melyek a konkrét, jellegzetes zivatarhelyzeteknek a legkorszerűbb eszközökkel történő, komplex meteorológiai elemzése útján, általános törvényszerűségek megállapítására is vezettek.

A Szovjetunióban más megközelítést választottak. A déli köztársaságok néhány kutatóintézetének bevonásával a Hidrometeorológiai Szolgálat széles körű és szisztematikus vizsgálatsorozatot indított az 50-es évektől kezdődően. Az összehangolt, több száz szakembert mozgósító kutatási program célkitűzése olyan zivatarmodell megalkotása volt, aminek alapján gazdaságos módszer dolgozható ki a jégeső megelőzése, ill. kárainak csökkentése érdekében. Az erőfeszítések mintegy 10 éves munka után sikerrel jártak; eredményük a 3. ábrán látható, erősen sematizált zivatarmodell. Ennek alapján fejlesztették ki a védekezés vagy „beavatkozás” módszerét. Mindkét feladat megoldása lényegében



3. ábra. Szulakvelidze (1967) zivatarmodelljének sematizált vázlata a főbb paraméterek magassági eloszlásával

G. K. Szulakvelidze, az Észak-kaukázusi Magashegyi Geofizikai Intézet vezetője és munkatársainak nevéhez fűződik.

A modell legfontosabb jellemzője a zivatarfelhőben kialakuló vertikális sebességprofil. Eszerint a feláramlás sebessége eleinte a magassággal lineárisan növekszik, a felhő közepe táján eléri maximumát, majd ismét egyenletesen csökken. Ennek következtében a zivatarfelhő középső tartományaiban a folyékony víz nagy cseppek formájában felhalmozódva ún. *akkumulációs zónát* hoz létre. Mivel e felhőzónákban a hőmérséklet általában -10 — -20 C° között van, a nagy cseppek közül néhány — de nem az összes — *a természetes jégképző magvak* hatására megfagy és ezután a többi cseppel összeütközve, rohamos növekedésnek indul. Fontos mikrofizikai tény, hogy a túlhűlés a felhőben a természetes jégképző magvak relatív hiánya miatt általános jelenség. Ez az oka annak, hogy nem minden túlhűlt csepp fagy meg az adott hőmérsékleti intervallumban.

A modell szerint a nagy, fagyott cseppek a jég szemek *csírái*. A feladat az, hogy a jégembriók számát az eredetinek többszörösére emeljük, mivel így módon a rendelkezésre álló és az adott sebességprofil által meghatározott (konstans) folyékony víztartalom sokkal több jégcsíra között oszlik meg. Így végeredményben a jég szemek számát növeljük és méretüket csökkentjük az alábbi képlet szerint:

$$R_m \leq R_t \sqrt[3]{\frac{N_t}{N_m}}$$

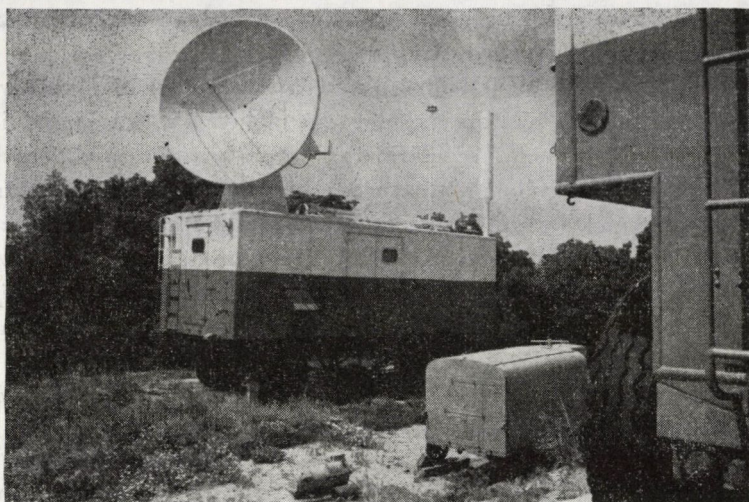
ahol R_t és R_m : az N_t és N_m számú természetes és mesterséges jég szemek közepes sugarait jelölik.

A látszólag egyszerű eredmények ellenére ma világszerte elfogadott az a vélemény, hogy a jég esőelhárítási koncepciók között ez az ismertetett, ún. *konkurrens embriohipotézis* mind kísérletileg, mind elméletileg a leginkább megalapozott. A föld számos országában végrehajtott operatív vagy tudományos célú jég esőelhárítási kísérletek legtöbbszörének ez a munkahipotézise.

A modell és a védekezési koncepció kidolgozása után a következő gyakorlati feladatokat kellett megoldani:

Kellő időben detektálni szükséges azokat a felhőtér fogatokat, ahol a jég eső növekedési-képződési folyamatai lejárásódnak. Mivel e folyamatok időtartama csupán néhány perc, gyakorlatilag ún. „real-time” információs rendszert kell alkalmazni. Ennek egyetlen eszköze jelenleg a rádiólokátor.

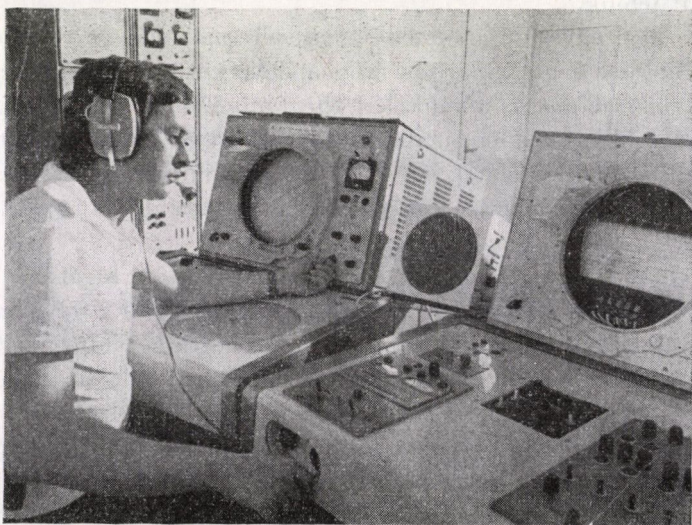
E felhőtér fogatokat ugyanilyen gyorsan át kell alakítani oly módon, hogy a bennük kialakuló mesterséges jég eső csírák száma legalább 2—3 nagyságrenddel haladja meg a természetes jég embriók számát. Ezt a feladatot legcélszerűbben az ún. „direkt injektálási” technikával, pl. speciális hatóanyagot diszpergáló rakétákkal oldhatjuk meg (4—7. ábrák).



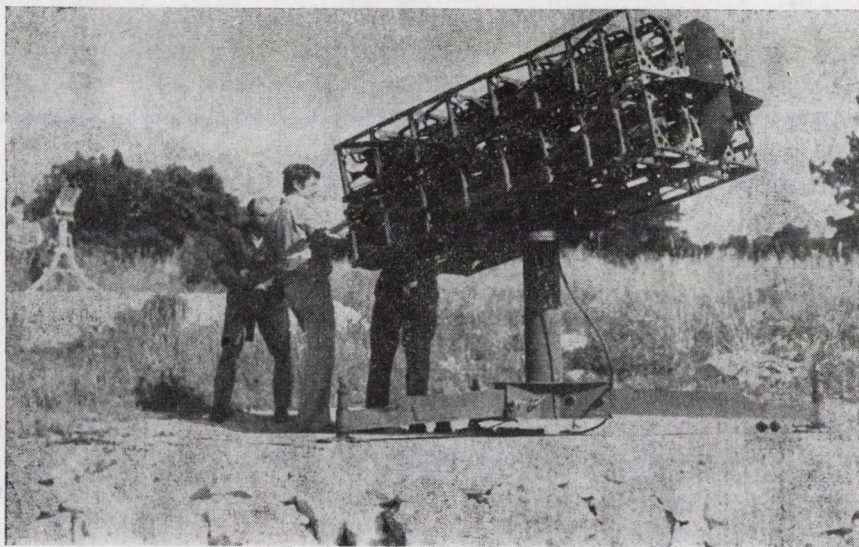
4. ábra. 3,2 cm-es hullámhosszon működő, szovjet gyártmányú meteorológiai rádiólokátor

Mivel a kritikus felhőzónák a több ezer köbkilométert is elérő zivatarfelhőnek csupán 1—2%-nyi tértartományait jelentik, nyilvánvaló, hogy mind a detektálást, mind a hatóanyag bejuttatást aránylag *pontosan* és gyorsan kell végrehajtani.

A detektálás módszerének lényege: a felhő rádiólokátoros „paramétereinek” mérése és ezek alapján a jégeső kihullási valószínűségének meghatáro-



5. ábra. A radar ún. „kihelyezett egységének” vezérlőpultja



6. ábra. „OBLAKO”-típusú rakéta állványba helyezése



7. ábra. „OBLAKO”-típusú rakéta felbocsátása

zása. Ilyen paraméterek: a radarral mért csapadékszóna földfelszín feletti magassága, a maximális visszatükröződés (radarecho) értéke és felhőn belüli szintjének magassága, az e magasságokban uralkodó hőmérsékletek és a felhő „túlhűt” és „meleg” vagyis $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti és feletti hőmérsékletű zónáinak magasságaránya (hányadosa).

Mindezek egyedi, az adott földrajzi-éghajlati környezetre jellemző kapcsolatban állnak a talajra hulló jégesővel. Az egyes elemekből ún. „komplex valószínűségi” összefüggést írhatunk fel:

$$K = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{n_j}{n_j + n_z}$$

ami az egyedi valószínűségi összefüggéseknél erősebb kapcsolatot mutat a talajra kihulló jégesővel. Itt N a paraméterek száma, n_j és n_z : a jégesős és záporos esetek száma a paraméter adott értékénél.

Erre azért van szükség, mert a rádiólokátor technikai korlátai és a zivatarfelhőben lejátszódó folyamatok bonyolultsága miatt a mérés és a jelenség között jelenleg még nem tudunk pontos kapcsolatot felállítani. Így a jégeső kihullásának lehetőségéről, ill. a képződés-növekedés felhőn belüli helyéről sztohasztikus összefüggések alapján kell döntenünk.

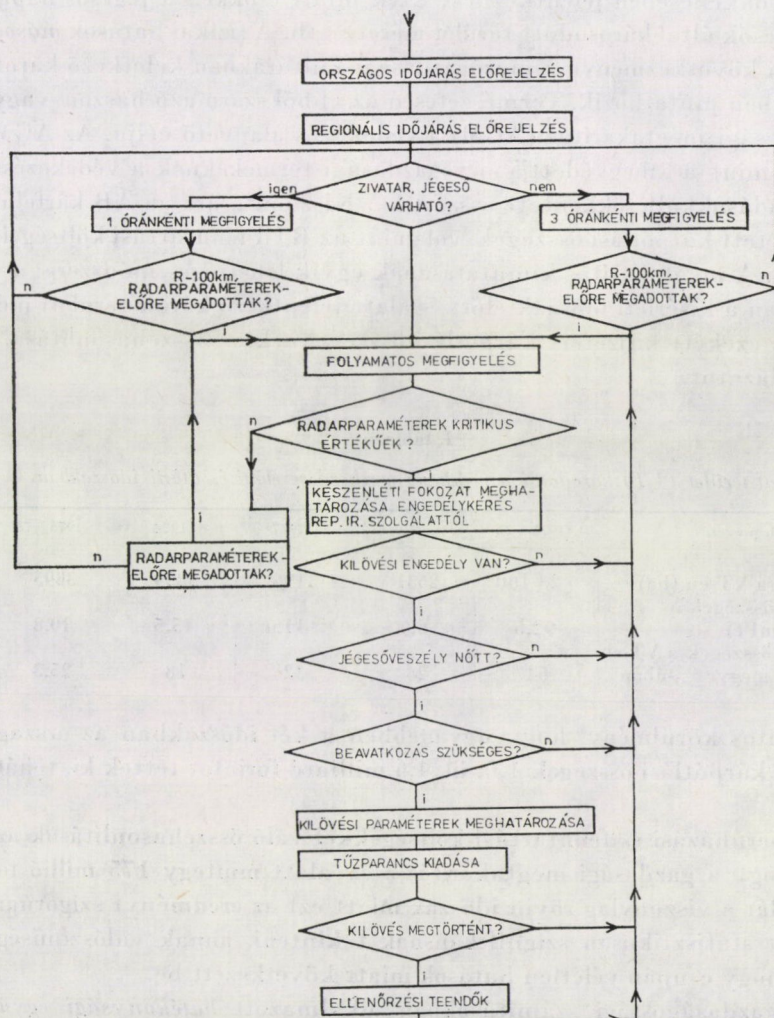
A Moldáviában kidolgozott döntési eljárás hazai alkalmazása tulajdonképpen a beavatkozások helyének és időpontjának meghatározásából áll. A bevezetés során a fő nehézséget az jelentette, hogy a baranyai környezetre nem pontosan ugyanazon kritériumok érvényesek, mint az említett szovjet köztársaságra. A körzetünkben uralkodó meteorológiai-statisztikai összefüggéseket így az operatív munka folyamán, „menetközben” kellett felderítenünk. Ez nemcsak a tekintélyes mennyiségű radar-adat elemzését követelte meg, hanem egyéb, szinoptikai és mezoleptéktű vizsgálatokat is igényelt. Ilyenek: a jégeső előfordulások makroszinoptikai helyzetekkel való kapcsolatának vizsgálata, a védett terület vergencia-viszonyainak és függőleges áramlásainak pilot-ballonokkal történő rendszeres mérése (amelyektől ultrarövid, 1–3 órás zivatarprognózisok lehetőségét várjuk), a talajra hulló jégesőszemek nagyság szerinti előfordulási gyakoriságának meghatározása indikátor-hálózat segítségével és a védekezés fizikai eredményességének, valamint gazdasági hatékonyságának különböző típusú adatok segítségével történő vizsgálata. (Ez utóbbi téma keretében megindítottuk a jégesők specifikus növényfiziológiai hatásainak kutatását is.)

Operatív aspektusok

A védekezés technikai lebonyolítása az április 1.—október 31-e közötti időszakra korlátozódik. A 11 kilövőállomásból és az irányító radar-központból álló rendszert 30, 24–48 órás váltásban dolgozó meteorológus, mérnök és

technikai személyzet összetételű szolgálat működteti. Az összlétszám 115 fő, ennek mintegy 15%-a felsőfokú végzettségű. A „védett terület” mérete kb. 1300 km².

A beavatkozások operatív lebonyolításának sémáját a 8. folyamatábra mutatja. A rakéták felbocsátását a repülésirányító szolgálat engedélyezi. Minden munkafolyamatot részletes, az adott munkahelyre érvényes „Utasítások” szabályoznak. A védekezéssel összefüggő fontosabb adatokat magnetofonszalagon rögzítik. Az adatok utólagos és rendszeres elemzése részint a védekezés jobb lebonyolítását, részint a kutatómunka céljait szolgálja.



8. ábra. A jégesőelhárítás folyamatábrája (magyarázatot l. a szövegben)

A rendszer megvalósítása során komoly technikai nehézséget jelentett azoknak a rendszabályoknak a kidolgozása, melyek a rakéták polgári alkalmazását (honosítását) lehetővé tették. Így rendezni kellett szállításuk, tárolásuk, őrzésük és alkalmazásuk minden részletkérdését, melyek jelentős beruházási gondokkal (és költségekkel) is jártak.

A hároméves védekezés főbb eredményei és tapasztalatai

A munkahipotézis szerint a jégeseelhárítás *elsődleges*, fizikai hatásai a jég szemek átlagos (és maximális) méretének, ill. a kárt okozó jég szemek számának csökkenésében jelentkeznek. Ezek miatt csökken a jég eső napok száma, a jég esők által károsodott terület mérete stb. A fizikai hatások *másodlagos*, gazdasági következménye a mezőgazdasági kultúrákban keletkező károk mérséklődésében mutatkozik. Természetesen az ebből származó haszon vagy átlagos gazdasági megtakarítás (ÁGM) a védekezés alapvető célja. Az ÁGM definiálható mint a „megvédett” mezőgazdasági termékeknek a védekezésre fordított kiadásokkal csökkentett összértéke. Kiszámítására az ÁB kárfelmérései és a kifizetett kárpótlási összegek, valamint az RJR fenntartási költségei adják az alapot. A megtakarítás kimutatásának egyik lehetséges módszere: a védett területeken a kísérleti időszak előtt és alatt jelentkező károk területi mértékének és az ezekért kifizetett kárpótlási összegeknek az összehasonlítása. (Lásd az I. táblázatot.)

I. táblázat

A védett terület (VT) káradatai a védekezés megkezdése előtti és utáni időszakban

Megnevezés	1971–75	1976	1977	1978	1976–78	%
Károsodott a VT-en (ha)	23 100	2631	3196	5859	3895	17
Kárpótlási összegek a VT-en (mFt)	92,6	6,0	11,0	15,5	10,8	12
Kárpótlási összegek a VT-en Baranya megye %-ában	64	26	32	18	25,3	40

Fontos körülmény, hogy ugyanebben a két időszakban az országszerte kifizetett kárpótlási összegek 1,0; ill. 1,6 milliárd forintot tettek ki, tehát *növekedtek*.

A beruházási és fenntartási költségekkel való összehasonlítások azt mutatják, hogy a gazdasági megtakarítás 3 év alatt mintegy 175 millió forintot tett ki. Bár a viszonylag rövid időszak miatt ezt az eredményt szigorúan véve nem lehet statisztikusan szignifikánsnak tekinteni, annak valószínűsége igen csekély, hogy csupán véletlen hatások miatt következett be.

A gazdaságossági számításokban alkalmazott *hatékonysági együttható*, $g = E/R$ (ahol E: a termelési folyamat eredménye, R: az összes beruházásokon

kívüli ráfordítás) esetünkben: $262/41,5 = 5,6$, ami az átlagos hatékonysági együtthatók többszöröse.

E mutatóknál nagyobb jelentőségű az a tény, hogy a kísérleti időszakban a jégesőelhárítás mintegy 260 mFt értékű termésveszteségtől óvta meg a nép-gazdaságot.

A védekezés magyarországi perspektívái

A 2008/1979. (IV. 11.) Mt határozat a 3 éves kísérleti időszak tapasztalatai alapján intézkedett a jégesőelhárítás megerősítéséről és kiterjesztéséről. Ennek megfelelően az OMSZ-nek a következő években folyamatosan fel kell készülnie a védekezés átgondolt fejlesztésére. Az első feltétel: megfelelő végzettségű és számú szakember kiképzése. Magától értetődik, hogy e célra a baranyai jégesőelhárító rendszer mint operatív és kutatási centrum, a legmegfelelőbb helyszín. Az optimális feltételek biztosítása érdekében azonban elengedhetetlen ennek korszerűsítése és bővítése a műszaki fejlesztéssel, illetve a közeljövőben jelentősen növekvő szakszemélyzet elhelyezésével kapcsolatban. Minderre az Mt-határozat elvi lehetőséget és gyakorlati instrukciókat is ad.

Rövid és középtávú terveinket egy éven belül kell kidolgoznunk. A terveknek a fejlesztés, megerősítés és kiterjesztés *időzítésén* túl az újabb magyarországi helyszínek megjelölését is tartalmazni kell.

E kérdések tudományos megközelítése igen fontos. Nyilvánvaló, hogy a szigorú gazdasági szempontok annak a területnek a kiválasztását indokolják, melyeken a nagy jégesőgyakoriság intenzív mezőgazdasági termeléssel párosul. Itt azonban meg kell gondolnunk azt, hogy a módszer alkalmazása függ:

1. A légiközeledés adta lehetőségektől, ill. korlátoktól.
2. A földrajzi környezetnek a baranyaihoz való hasonlóságától; továbbá, hogy a rendszer fajlagos hatékonysága (és így gazdaságossága) az egybefüggően védett terület méretével együtt növekszik.

Az eddigi hazai és külföldi tapasztalatok alapján azt az előrejelzést kockáztatjuk meg, hogy a következő rendszer 3—5 éven belül kezdheti meg munkáját. A további fejlődés várhatóan gyorsabb lesz és valószínű, hogy 1990—95-re a védekezés mindazon területeken megvalósul, ahol arra lehetőség van és a számítások szerint gazdaságosnak mutatkozik. Jelenleg ezt a területet kb. 10 000—15 000 km²-re becsülhetjük.