

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Természettudományi Kar  
Környezettudományi Centrum

## JÉGESŐELHÁRÍTÁS A DÉL-DUNÁNTÚLON SZAKDOLGOZAT



Készítette:

**GRABANT ANDREA**

KÖRNYEZETTAN ALAPSZAKOS HALLGATÓ

Témavezető:

**DR. MÉSZÁROS RÓBERT**

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék adjunktusa

Külső konzulens:

**BERECZKI KÁROLY**

A NEFELA Egyesülés meteorológusa

**Budapest**

2010.

<b>BEVEZETÉS.....</b>	<b>3</b>
<b>1. AZ IDŐJÁRÁS MÓDOSÍTÁSÁRA TETT KÍSÉRLETEK A 19. SZ. VÉGÉN ÉS A 20. SZ. ELSŐ FELÉBEN .....</b>	<b>4</b>
1.1. VIHARÁGYÚZÁS A 19. SZÁZAD VÉGÉN .....	4
1.2. VINCENT SCHAEFER KÍSÉRLETE .....	5
<b>2. A NAPJAINKBAN ALKALMAZOTT IDŐJÁRÁS-MÓDOSÍTÓ TEVÉKENYSÉGEK .....</b>	<b>7</b>
2.1. A CSAPADÉKKELTÉS .....	7
2.2. CSAPADÉKHULLÁS ELKERÜLÉSE CSAPADÉKOSZLATÁSSAL .....	8
2.3. KÖDOSZLATÁS .....	9
2.4. FAGYVÉDELME, AKTÍV ÉS PASSZÍV VÉDELMI MÓDSZEREK .....	11
<b>3. A JÉGESŐ KIALAKULÁSA ÉS ANNAK ELHÁRÍTÁSÁRA TETT KÍSÉRLETEK .....</b>	<b>13</b>
3.1. A JÉGESŐVEL JÁRÓ ZIVATAR KIALAKULÁSA .....	14
3.2. A JÉGSZEMEK KÉPZŐDÉSE AZ AKKUMULÁCIÓS ZÓNÁBAN .....	15
3.3. A JÉGESŐ-ELHÁRÍTÁSRA HASZNÁLT MÓDSZEREK ISMERTETÉSE.....	16
<b>4. JÉGESŐ-ELHÁRÍTÁS HAZÁNKBAN .....</b>	<b>18</b>
4.1. 1960–1990 KÖZÖTTI VÉDELMI TEVÉKENYSÉGEK .....	18
4.2. NEFELA DÉL-MAGYARORSZÁGI JÉGESŐELHÁRÍTÁSI EGYESÜLÉS .....	21
4.3. A GENERÁTORHÁLÓZAT MŰKÖDÉSE .....	22
4.4. A GENERÁTORHÁLÓZAT MŰKÖDÉSÉNEK HATÉKONYSÁGA .....	25
<b>ÖSSZEFOGLALÁS.....</b>	<b>29</b>
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....</b>	<b>30</b>
<b>FÜGGELÉK.....</b>	<b>31</b>
A) A NEFELA Egyesülés által a tagok számára eljuttatott egy hetes előrejelző fax (minta).....	32
B) A NEFELA Egyesülés által kiküldött értesítő SMS a generátorkezelőknek.....	33
<b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>34</b>

## Bevezetés

Az időjárás-módosítás gondolatával az emberek már nagyon korán elkezdtek foglalkozni. Ennek több oka is volt, melyek közül a legjelentősebbek a mezőgazdasági termelésben keletkező károk voltak a hirtelen változó és kiszámíthatatlan időjárás miatt. Nagy hangsúlyt fektettek és fektetnek ma is a lokális, illetve regionális problémák megoldására is, mint például azon területek vízzel való ellátására, amelyeket „elkerülik” a csapadékfelhők vagy az olyan területek csapadékmennyiségének csökkentésére, ahol túl sokat esik az eső. Mindezek mellett számos régióban jelentős problémát okoznak a jég- és fagykárok, valamint a közlekedést nehezítő egyéb időjárási jelenségek is (pl. a köd). Az ember nem akarta elfogadni, hogy szinte minden felett lehet uralma, de az időjárást nem tudja befolyásolni kedve szerint, így kezdtek el próbálkozni a különböző légköri jelenségek előidézésével, illetve megszüntetésével. Az időjárás-módosítás tehát nem mai keletű dolog, de a tudomány és a technika fejlődése csak mostanra tette igazán hatásossá ezeket a beavatkozásokat, amivel így elérhető közelségbe került az időjárási folyamatok irányítása. Az időjárás-módosító tevékenységeket persze nem csak mezőgazdasági célra alkalmazták, hiszen hamar rájöttek, hogy katonai célokra is felhasználható lenne, megkönnyítené az ellenség legyőzését, az ENSZ azonban 1976-ban minden katonai célú időjárás-módosító tevékenységet betiltott (Stefancsik, 2006).

Mindazonáltal az időjárás-módosítás az élet számos területén hasznos lehet. Dolgozatom célja az időjárást befolyásoló tevékenységek összefoglalása és az alkalmazott technológiák fejlődésének bemutatása a tudomány előrelépése által. Hazai vonatkozásban részletesebben ismertetem a Baranya megyében évtizedek óta használatos jégeső-elhárítási beavatkozásokat, így a Baranya megyei Rakétás Jégesőelhárítási Egység, és a ma működő jogutódja, a NEFELA Dél-magyarországi Jégesőelhárítási Egyesülés munkáját, valamint az 1960-as évektől ezen a területen használt rakétás, és az utóbbi 20 évben meghonosított talajgenerátoros jégeső-elhárítási módszer alkalmazását és annak hatékony működését.

## 1. Az időjárás módosítására tett kísérletek a 19. sz. végén és a 20. sz. első felében

### 1.1. Viharagyúzás a 19. század végén

Már nagyon régen megfigyelték az emberek, hogy például csaták közelében megnövekszik a csapadékképződés lehetősége, persze abban az időben ennek okát még nem tudták megfejtetni, de ma már tudjuk, hogy ez a levegőbe kerülő nagymennyiségű füst és por miatt volt, amelyek természetes kondenzációs magvakként szolgálva elősegítették a kicsapódást. Kezdetben viharagyúkkal próbálták meg elhárítani a jégesőket, ami a mai tudósok szerint nem sokkal volt hatékonyabb, mint a hettiták felhők felé kilőtt nyilainak felhőoszlató próbálkozásai az ókorban, de említhetnénk a 15. századi „zivatar elé harangozás” módszerét is, aminek a lényege az volt, hogy a templomok harangjait meghúzták a hang által keltett rezgések felhőoszlató hatásában bízva (Steiner, 1931).

Az első viharagyúkat **(1. ábra)** 1896 körül kezdték alkalmazni, melynek híre nyugatról, Ausztriából érkezett hazánkba. Ez a módszer megosztotta a hazai lakosságot: voltak, akik hittek hatékonyságában és voltak, akik nem. Mások pusztán üzleti fogást láttak ebben is, így például az ágyúkészítők és a robbanótöltet gyártásából élők még ha szkeptikusak is voltak a viharagyú hatását illetően, természetesen támogatták a használatát. A magyarországi mezőgazdászok többsége persze vakon hitt a módszer sikerében, hiszen úgy remélték, hogy ezzel megvédhető lenne a hazai szőlőtermés is. A viharagyúzás abból a szemléletből alakult ki, amely szerint a zivatarfelhőben meg kell előzni az esőcseppek összefagyásának lehetőségét. A korabeli feltevés szerint a viharagyú okozta hang és megrázkódtatás segítségével össze kell rázni, egyesíteni és annyira meg kell növelni az esőcseppeket, hogy azok minél előbb lehulljanak, még folyékony halmazállapotukban (Szepesiné Lőrinc, 1970).



1.ábra: a 19. században használatos viharagyú (Keszthely)

Több évtizednek kellett eltelnie, mire rájöttek, hogy a viharágyúk használata hiábavaló. Büszkék lehetünk arra, hogy ezt egy magyar ember az elsők között ismerte fel, Konkoly Thege Miklós volt az, aki a grazi „nemzetközi viharágyú értekezleten” kifejtette nézeteit arról, hogy az ágyúból fellőtt bombák hasztalanok, hiszen hatása nem ér el a zivatarfelhőig, s ő volt az, aki felvetette a felhők közvetlen közelében történő robbantás lehetőségét is. Az értekezlet után még néhány évig folytatták az ezzel kapcsolatos kísérleteket, de 1907-ben végérvényesen is befejeződött a viharágyúzás korszaka. Az ágyúzás sikertelensége után, egy kisebb „szünet” következett, majd az áttörés a 20. század közepén jött el.

## 1.2. Vincent Schaefer kísérlete

Az első fontos lépést Vincent Schaefer<sup>1</sup> (1906–1993) kísérlete jelentette az időjárás-módosításban 1946-ban (**2. ábra**). Schaefer szerette volna modellezni a repülőgépek szárnyán jelentkező jegesedés mikéntjét, s ehhez egy ködkamrát alkotott. Egy áramszünet alkalmával a ködkamra túlságosan felmelegedett, amit szárazjéggel (szilárd CO<sub>2</sub>) próbált hűteni, így teljesen véletlenül fedezte fel, hogy a szárazjég felhőmagvasító hatású. Az első tudományosan is megalapozott próbálkozást ezután néhány nappal később hajtotta végre, amikor egymotoros kisrepülőgépével felszállva berepült egy nagy kiterjedésű középmagas felhőbe és itt szárazjég (szilárd CO<sub>2</sub>) részecskéket szórt ki. Ennek eredményeként a beszórt terület felett havazás indult meg, de a környező területeken nem volt semmilyen csapadék. Vincent Schaefer kísérlete után Vonnegut kutatási eredményei alapján kiderült, hogy a jégképződést más anyagok is elősegíthetik, amelyeknek legjellemzőbb tulajdonsága, hogy szerkezete nagyon hasonló a jég kristályszerkezetéhez és nem oldódnak vízben. Ilyen anyagok például a kaolin, az ólom- és ezüstjodid, valamint az iparok által kibocsátott fémoxidok többsége (Geresdi, 2005). Az említettek közül az ólom- és ezüstjodidot alkalmazzák leginkább a csapadékkeltés és a jégeső-elhárítási projekteken.

A kísérlet sikerén felbuzdulva, az 1960-as években általános időjárás-módosítási láz tört ki, és számos országban elkezdtek foglalkozni a légköri folyamatok módosításával. A kísérletek sikerességét, illetve sikertelenségét látva a '80-as évek

---

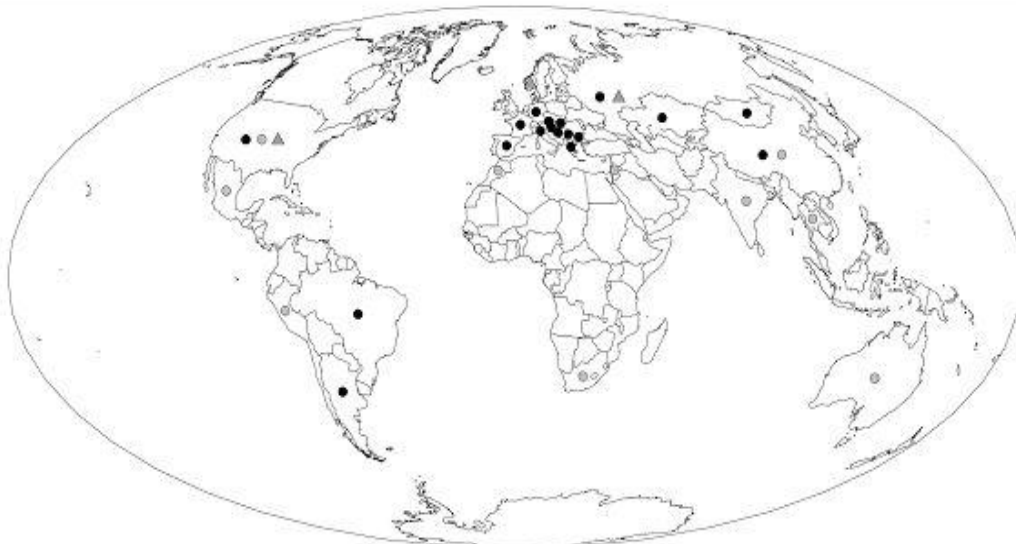
<sup>1</sup> Vincent Schaefer: 1906–1993, amerikai tudós, aki autodidakta módon képezte magát a kémia és a meteorológia területén, élete második felében főiskolákon tanított

végére rájöttek, hogy nem lehet tartósan és hatékonyan beavatkozni ezekbe a természeti folyamatokba.



**2. ábra: Vincent Schaefer, aki először kísérte meg a felhőmagyasítást**  
([http://www.ge.com/innovation/timeline/eras/science\\_of\\_improvement.html](http://www.ge.com/innovation/timeline/eras/science_of_improvement.html))

Felismerték, hogy reálisan nem valósítható meg a zivatarokat kísérő villámok megszüntetése és a trópusi ciklonok intenzitásának mérséklése sem, ellenben több sikeres próbálkozás is bizonyította, hogy hatékonyan tudnak beavatkozni a csapadékkeltésbe, a jég- és ködoszlatásba is. Ezekkel az utóbb említett sikerrel záruló időjárás-módosítási formákkal napjainkban is több országban foglalkoznak (**3. ábra**).

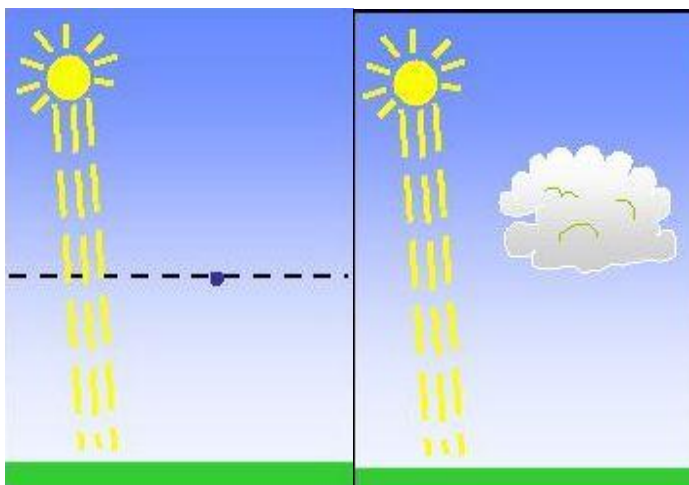


**3. ábra: Időjárás-módosítás a Föld országaiban. A térkép a Meteorológiai Világszervezet (WMO: World Meteorological Organization) által készített felmérés alapján készült. A szürke körök a csapadékkeltést, a fekete körök a jégeső-elhárítást, a szürke háromszögek a ködoszlatást jelölik (forrás: Geresdi, 2005)**

## 2. A napjainkban alkalmazott időjárás-módosító tevékenységek

### 2.1. A csapadékkeltés

A felhőképződés már néhány méter magas és néhány kilométer széles homogén levegőoszlopban is megindulhat. A homogenitás elsősorban a légeszlop páratartalmára és hőmérsékletére vonatkozik. Ennek emelkedését több különböző tényező határozhatja meg: ilyen például valamilyen külső tényező (különböző hőmérsékletű és sűrűségű szembejövő légtömeg, vagy egy orografikus akadály – például egy hegység), vagy ha a légtömeg környezetében megváltozik a hőmérséklet, amely hőmérsékletkülönbség hatására kialakul a felhajtóerő. A légeszlop emelkedése során eléri az ún. kondenzációs szintet, ahol a relatív páratartalom eléri a 100%-ot és elkezdődik a vízgőz kicsapódása. Ha ez a légtömeg a kondenzációs szint fölé képes emelkedni, akkor beszélünk felhőképződésről (**4. ábra**).



4. ábra: a felhő kialakulása a kondenzációs szint elérése után

A kondenzációs szint felett apró vízcseppecskék alakulnak ki. Ahhoz, hogy ez ilyen kicsivel a 100%-os relatív páratartalom meghaladása után végbemehessen a folyamat, nagyon fontos szerepe van a levegőben található aeroszol részecskéknek, amelyek kondenzációs magvakként szolgálnak, és felületet biztosítanak a vízcseppek kicsapódásához. Ezeknek az aeroszol részecskéknek a legfőbb tulajdonságai, hogy vízben oldódnak, és főként ammónium-szulfát és só tartalmúak. Ha ezek a kondenzációs magvak nem lennének jelen a légtömegben, akkor sokkal nagyobb (négy-

ötszörös) relatív páratartalom elérésére lenne szükségünk ahhoz, hogy a kondenzáció meginduljon, de mivel ez a páratartalom növekedés természetes körülmények között nem lenne lehetséges, a csapadék teljes hiánya lépne fel.

A „csapadékkeltés” célja a felhőben található víz minél nagyobb arányban történő kinyerése úgy, hogy az jótékony eső formájában el is érje a talajt. Ezt, mivel a felhőben levő vízgőz mennyiségének növelésére nincsen lehetőség, úgy valósíthatjuk meg, hogy a kellő vízgőztartalmú, de csapadékmentes felhőbe mesterséges úton jégképző magvakat jutattunk és elegendő jégkristály-képződés esetén megindul a csapadékképződés. Ilyenkor a sok kis csepp helyett több nagyobb csepp keletkezik, amelyek elérve azt a méretet, amikor képesek kihullani a felhőből és a földfelszínig eljutva nem párolognak el, és csapadékot adnak. A cseppek méretének befolyásolására szárazjeget, ezüstjodidot vagy folyékony nitrogénoxidot használnak, hiszen ezeken a jégképző magvakon gyorsabb a jégrészecske növekedése, így nagyobb eséllyel fog újabb vízcseppekkel ütközni. A beavatkozások folyamán megfigyelték, hogy egy-egy felhőből kb. 10–15%-kal több csapadék nyerhető ki a beavatkozások során, mintha nem juttatnának semmilyen mesterséges anyagot a felhőkbe. A csapadéknövelésre tett kísérleteket már a volt Szovjetunióban is alkalmazták, ahol ezzel a beavatkozással szerették volna a Szeván-tó vízgyűjtőterületének csapadékmennyiségét növelni.

## **2.2. Csapadékhullás elkerülése csapadékoszlatással**

A csapadékképződés ellentéte a csapadékoszlatás, amelyet úgy érhetünk el egy adott területen, hogy a felhőbe olyan anyagot juttatunk, amittől sok kicsi csepp alakul ki, és amik kis méretüknél fogva nem hullnak ki a felhőből. E folyamat eredményeképpen a felhő természetesen nem szűnik meg, csak nem ad csapadékot. A szárazság elérésének másik módja, hogy ha a felhőt még azelőtt „kifacsarják” mielőtt elérné azt a területet, ahova nem szeretnének csapadékot. Erre példát keresve nem is kell olyan régre visszamennünk az időben. A 2008-as Pekingi Nyári Olimpia idején szerették volna elkerülni az esőt legalább a megnyitó és a zárőnnepség napján, hiszen ezeket fedetlen, tető nélküli stadionban tartották. A megoldást az időjárás afféle módosításában látták, hogy az esős évszak csapadékmennyiségét csökkentenék, esetleg teljesen megszüntetnék az olimpia alatt, így azok miatt nem kéne a versenyszámokat elhalasztani és az eseményt zavartalanul le tudnák bonyolítani. A korántsem egyszerűnek tűnő feladat véghezviteléhez egy óriási számítási kapacitással bíró



számítógépet helyeztek üzembe, amivel nagy pontossággal lehetett modellezni az Olimpia helyszínének és a közvetlen környékének időjárását. Az időjárás-befolyásoló programban több száz mérnök és katona, valamint kínai földműves vett részt (Green, C., 2008). Kína az 1950-es évek végétől folytat rendszeres kutatásokat és kísérleteket az időjárás-módosítására, főként regionális szinten az aszályok enyhítésére. Erre a területre egy egész hivatal (China Weather Modification Office) hoztak létre az országban, és évente rengeteg pénzt költenek a kutatásokra és fejlesztésekre. A beavatkozások sikerességéről több forrást is találhatunk a China Daily (2010) című internetes oldalon, ahol részletesen leírják, hogy a felhőmagvasítás technikájával miként is lehet manipulálni a csapadékhullást, illetve elérni azt, hogy idő előtt távozzon az eső a felhőkből.

### 2.3. Ködoszlatás

Lokális problémát jelent a ködréteg is (**5. ábra**), amelyről akkor beszélünk, ha a látási viszonyok 1 kilométer alá csökkennek. Ez a jelenség lényegében egy a földfelszín közelében keletkező felhő, amelynek alapja a talajt érinti. Köd minden évszakban előfordulhat, de leggyakrabban télen alakul ki. Képződéséhez a levegő harmatpont alá hűlése, és páratartalmának kicsapódása vezet, aminek következtében nagyon apró „vízcseppecskék” jönnek létre. A kialakulásához szükséges relatív páratartalom növekedésének több előidézője is lehet: a vízgőztartalom megnövekedése a légtömegben, a levegő különböző okokból bekövetkező lehülése, de ha két majdnem telített légréteg keveredik, akkor is kialakulhat a kicsapódáshoz megfelelő magas nedvességtartalom.



5. ábra: a ködbe vesző templomtorony képe (Forrás: <http://komlosihirmondo.hu/>)

A ködnek több fajtája is ismeretes. Kisugárzási ködről beszélünk akkor, ha a talaj feletti légréteg a földfelszín kisugárzása miatt hűl harmatpont alá. Ez a leggyakoribb ködfajta, ami főként derült éjszakák során alakul ki, és a magasabb épületek, templomtornyok teteje ki is látszódhat belőle, hiszen nem képez vastag réteget a talaj fölött. Általában már a délelőtti napsütés is elegendő a feloszlásához. A párolgási köd a levegőnél melegebb vízfelszín felett jön létre, főként ősszel megfigyelhető jelenség. A folyók, tavak meleg vize párolog, ami elősegíti a vízfelszín feletti levegőréteg telítődését, és így a köd kialakulását. Két különböző hőmérsékletű légréteg keveredésekor kialakuló köd esetén beszélünk keveredési ködről. Ennek lényege, hogy a két különböző hőmérsékletű légréteg keveredésekor a felső, melegebb légréteg a lehülése folytán telítetté válhat, és kicsapódhat a felgyülemlett páratartalom. Ismerünk még lejtőködöt is, ami úgy keletkezik, hogy egy orográfikus akadály (hegység) kerül a légréteg útjába, ez emelkedésre készíti a légtömeget, ami eközben lehül, és telítetté válik. A köd egy szintén ismert formája az áramló, vagy frontális köd, amely akkor alakul ki, ha két különbözőhőmérsékletű, de telített légréteg találkozik. Ez főként télen jellemző jelenség. Ha a meleg levegő áramlik a hidegebb levegő fölé, akkor a levegő páratartalmának egy része kicsapódik és hatalmas összefüggő ködtakaróvá alakul. Ez a fajta köd akár hetekig is tartósan megmaradhat az adott terület felett (met.hu).

Ha a ködöt nagyon kicsi cseppek alkotják (oka: a levegőrétegben sok a szennyezőanyag, amelyre a vízgőz kicsapódhat), akkor feloszlása lassabban zajlik, hiszen a kisebb cseppek nehezebben ülepednek le, így a köd főként a közlekedésben és a repülőtereken okozhat hosszabb ideig nehézségeket, esetleg baleseteket. A jelenség megszűnéséhez a hőmérséklet emelkedése, a magas nedvességtartalmú légtömeg távozása, vagy a vízcseppek talajra hullása vezethet. Ha ez természetes úton várhatóan rövid időn belül nem történik meg, akkor használhatunk mesterséges ködoszlatást (Czelnai, 1981). A kívánt hatás elérésére többféle módszert is kipróbáltak már, de csak néhány bizonyult hatékonynak. Ezek a következők: termikus, vagy termo-kinetikus módszerek csoportja (fűtés, vagy száraz-meleg levegő kifúvása), nukleálás folyamata (jégkristályok kialakítása különböző segédanyagokkal: ezüstjodid bejuttatása, alacsony forráspontú gáz befecskendezésével történő hűtés), függőleges irányú levegő átkevertetés (hiszen a kisugárzási köd nem túl vastag, s a felette levő levegővel keverve hamar feloszlatható), szűrés (bizonyos növények levelei felfogják a levegőben található vízcseppeket, a módszer hátránya, hogy csak kisebb területeken alkalmazható). A ködoszlatást nagy területeken alkalmazzák, ennek lényege, hogy a talajt borító

ködtakaróra felülről jégképző magvakat juttatnak, vagy szárazjeget szórnak, ekkor a kialakuló jégkristályok magukhoz szippantják a ködöt alkotó vízcseppeket és hó formájában a talajra hullnak. A módszer hátránya, hogy ritkán alkalmazható, mert csak nagyon alacsony hőmérsékleten működik ( $-10$ – $(-15)$  °C-on) (Geresdi, 2005).

## 2.4. Fagyvédelem, aktív és passzív védelmi módszerek

A fagyelhárításra a mezőgazdaságban főként a tavaszi fagyok elkerülése miatt van szükség. A fagyoknak két fő fajtája ismert. Az advekciós fagyok ellen nem lehet hatékonyan védekezni, hiszen azt a beáramló nagy mennyiségű hideg levegő okozza. A derült éjszakák során bekövetkező talajfelszíni kisugárzás akadálytalan távozáskor kialakuló kisugárzási fagy ellen viszont többféle módszert ismerünk. A fagyok elleni védekezésben megkülönböztetünk aktív és passzív védelmi eljárásokat. Az egyik aktív fagyvédelmi technika az úgynevezett „füstölős módszer”, amiben a talaj fölött összefüggő füsttréteget képeznek. Ez a réteg elnyeli és visszasugározza a felszínről kiindult hősugarakat, ezzel megakadályozva a fagyást. A füsttréteg tulajdonképpen ugyanúgy működik, mint a valódi felhőzet. Kisebb fagyok esetében a fagykárak elhárítására korábban elfogadott megoldás volt ez a módszer. Nedves, nehezen gyúló anyag (pl. nedves szalma) égetése során a levegőbe kerülő vízgőz és szén-dioxid csökkenti az effektív kisugárzás mértékét. Egymástól 8–10 m távolságra sakktableszerűen elhelyezett füstforrásokat alakítanak ki, folyamatosan biztosítva a füstképződést. Amennyiben a védekezésnek erre a módjára esik a választás, a füstölést naplemente után azonnal meg kell kezdeni. Általában csak a csekély mértékű lehűlések ( $-4$ °C-ig) ellensúlyozására érhető el kielégítő eredmény ezzel a módszerrel, hiszen több hektárnyi terület megvédéséhez nagy mennyiségű anyagot kell elégetni. A módszer alkalmazása környezetvédelmi megfontolásokból kerülendő, ráadásul közutak mentén (mivel a látási viszonyokat rontja) veszélyes is (Pap, 2004).

A másik lehetőség a vízpermetezős eljárás, ahol a víz nagy fagyáshőjét használják ki, így a fagyás elhúzódó folyamatában a növények hőmérséklete nem süllyed  $0$  °C alá, ezzel gátolva a fagyást. Az öntözés hatékony módszere a fagykár elhárításának. Esőztető rendszerű öntözéssel, kis intenzitású szórófejekkel a fagyveszély teljes időtartama alatt folyamatosan vizet permeteznek a növények felületére, s a víz fagyásakor felszabaduló hőt használják a növényi részek megvédésére. Nagy beruházásigénye miatt elsősorban gyümölcsültetvényekben használják, de a nagyobb

területen folyó zöldségtermesztésben is előfordul. A ma ismert fagyvédelmi eljárások közül ez a leghatékonyabb védekezési módszer, amellyel mind a tavaszi, mind a téli  $-8$ – $-12$  °C-os hidegek ellen is sikeresen felléphetünk.

Ezen kívül ismerünk még ventilációs eljárást is, amelynél a talaj feletti 10–15 méteres hidegebb légrést kevertetjük a fölötte található több Celsius fokkal melegebb levegővel. Erre a célra tornyokra szerelt nagyobb méretű ventilátorok használhatóak a leghatékonyabban. De analóg hatás lenne elérhető helikopter segítségével is, viszont ez jóval költségesebb formája a ventilációs fagyvédelemnek. Hasonlóan drága és mindamelllett még levegőszennyező megoldás is a problémára a fűtés, amit a gyümölcsösben kialakított kis olajégők használata jelent, ami negatív velejárói miatt nem terjedt el (Racskó, 2004).

Passzív fagyvédelemről akkor beszélünk, amikor a hőmérséklet alakulásába nem avatkozunk bele, csak az élő növényeket védjük meg különböző módszerekkel a fagyok káros hatásaitól. A passzív védelemhez tartozó eljárások a fagytól való közvetlen védekezési módszereket takarják. Ennek lehetőségei igen korlátozottak és azok megvalósítása is csak nagyüzemi keretek között lehet gazdaságos. Ilyen eljárások közé sorolhatók a megfelelő fajta kiválasztása, a celluláris fagyáspontcsökkenés, a vetési, illetve kiültetési idő helyes megválasztása, valamint az ideális termőhely megtalálása.

Az ideális termőhely kiválasztása tapasztalati vagy mérési eredmények alapján történik. Ezzel a módszerrel feltérképezhetők azok a termőterületek, amelyeken gyakoribbak a fagyok és azok is, ahol kevésbé fordulnak elő. A fagyos helyek alacsonyabb fekvésű területeken alakulnak ki, ahol a sűrűbb, nehezebb levegő képes megülni, vagy pedig nyílt fekvésű és jó hővezető képességű talajok felett, amelyeknek a kisugárzása rendkívül nagy így a fölöttük levő levegőt is képesek lehűteni. A fagyveszélyesebb területeken való termelés költségeit természetesen az aktív fagyvédelmi beavatkozások költségei növelni fogják, így célszerű az ilyen helyre fagyűrő növényeket ültetni vagy az adott területet növénytermesztés helyett más célra felhasználni.

A megfelelő fajta kiválasztásánál figyelembe kell venni az adott termőterület hőmérsékleti körülményeit, és hogy az adott növénynek megfelelőek-e a talaj és a terület adta környezeti adottságok. A termőhelynek megfelelően célszerű az adott hőmérsékleti- és fagyviszonyoknak megfelelő növényt telepíteni a kijelölt területre (Terbe, 2009).

A celluláris fagyáspont csökkentés lényege, hogy a növény sejteinek mesterségesen növelik a fagyűrését. A növények sejtnedv-koncentrációját kálium bejuttatásával jelentősen növelni lehet. Ezt a műtrágya segítségével a legegyszerűbb a növényekbe juttatni, s ezáltal a sejtek (és így a növény is) a 3–4 °C-os fagyáspontcsökkenést is képesek elviselni.

A vetési vagy kiültetési időpont helyes megválasztása szintén főként tapasztalati megfigyeléseken alapul, ugyanúgy, mint a megfelelő termőhely kiválasztása. A kiültetés időpontját több tényező is befolyásolja, melyeket figyelembe kell venni (melyik az a kritikus hőmérséklet, amelynél a növény még károsodik, mekkorák a védekezés várható költségei, valamint a bázishőmérséklet átlépési időpontja és az utolsó fagy időpontja között milyen gyakorisággal fordulnak elő fagyok). A bázishőmérséklet az a hőmérséklet, amikor a növény megkezdí élettevékenységét. Ezen időpont és az utolsó fagy ideje között eltelt napok száma, mint kockázati tényező fennáll, hogy fagyok miatt a növény károsodhat, de a korai kiültetés viszont nagyobb terméshozamot biztosít, ha a fagyok elkerülik a területet.

### 3. A jégeső kialakulása és annak elhárítására tett kísérletek

A legnagyobb károkat az előbb felsorolt időjárási jelenségeken túl mégis a hatalmas jégesők okozzák. Az ezek elleni védekezésnek rendkívül fontos szerepe van a termények megóvásában. A beavatkozások természetesen a földfelszín elérő jég szemeket nem tudják eltüntetni, de azoknak méretét csökkenthetik, így a keletkező károk is jóval kisebbek lesznek. A jégeső főként a nyári hónapokban jellemző, zivatarfelhőkből hulló 5 mm-t meghaladó jég részecskékből áll, amelyek a földfelszín még jég formájában érik el. A jég szemek méretének nincs elvi felső korlátja, azt döntően a zivatarfelhőben felfelé áramló levegő sebességének nagysága és a levegő

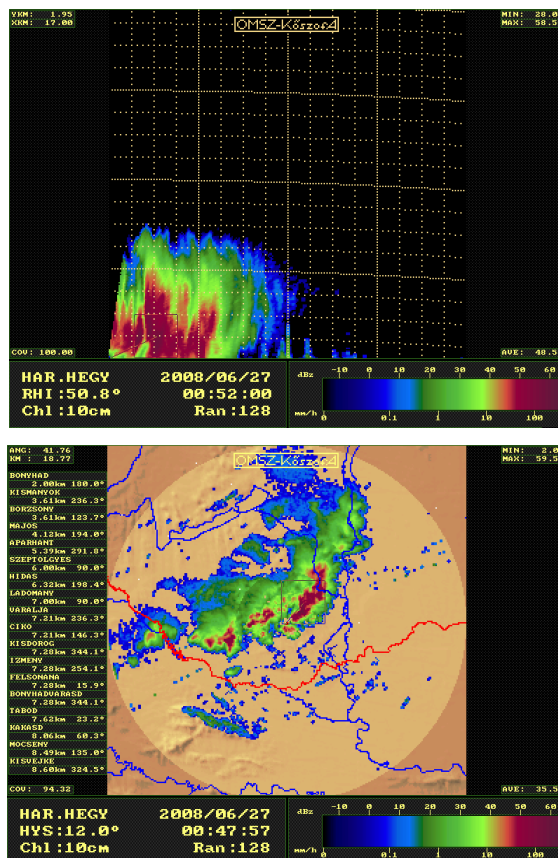


víz tartalma határozza meg. A jég szemek alakja igen változatos lehet, belső szerkezetük réteges szerkezetet mutat (Geresdi, 2005) (6. ábra).

6. ábra: A jég részecske belső réteges szerkezete

### 3.1. A jégesővel járó zivatar kialakulása

A zivatarmodellek nagyon sokat segítettek a folyamat feltérképezésében. Az első jól használható modellt a kaukázusi Magashegyi Geofizikai Intézetben alkották meg az 1960-as években, melynek segítségével a jégesőképződés folyamata könnyebben megérthetővé vált. A modell lényege, hogy a kialakult zivatarfelhő középső részén egy feláramlási zóna alakul ki, ahol a részecskék feláramlási sebessége először nő, majd körülbelül a felhő közepétől, ahol elérte a maximumát, elkezd csökkenni. Ha ez a feláramlási maximum a  $-5$  és a  $20$  fokos izotermák közé esik, akkor a természetes jégképző magvak hatására néhány túlhűlt vízcsepp megfagy és ezek a jég szemek gyors növekedésnek indulnak. Az itt felhalmozódott további vízcseppek ütközés folytán összeolvadnak és kialakítják az ún. akkumulációs zónát. Az akkumulációs zónában összegyűlt vízmennyiség adja a zivatarfelhőben kialakuló jégeső helyét és alapját. Ez a jégeső góc radarok segítségével könnyen felkutatható, hiszen a radarképeken éles kontúrral rendelkező foltként jelentkeznek (7-8. ábra) (Molnár-Csabai, 1984).

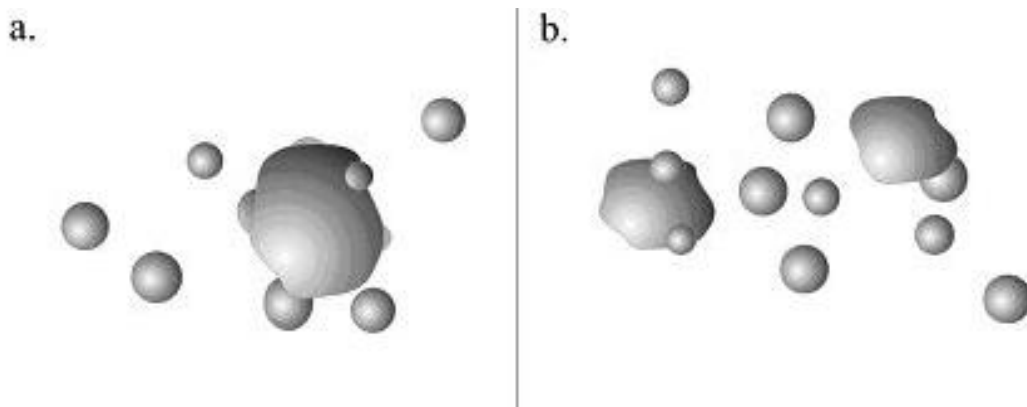


7-8. ábra: A radarokon látható zivatar góc – vertikális és horizontális felvételek (a sötét pirosas színű területen várható jégeső – nefela.hu)

Ekkor a radar által biztosított adatok segítségével elrendelhető a beavatkozás helye és annak mértéke is. A feladat az, hogy a természetes jégképző magvak számát mesterséges úton megnöveljük és ezáltal a kialakuló jégzemek méretét csökkentjük azzal, hogy a felhő akkumulációs zónájában levő vízmennyiséget több jégcsíra között osszuk el.

### 3.2. A jégzemek képződése az akkumulációs zónában

A jégképződés elvi sémáját a **9. ábra** mutatja be. A felhőben található kevés jégzem a vízcseppekkel ütközve gyorsan növekedik (a). Ha jégképző magvakat juttatunk a felhőbe, akkor egy-egy jégzem csak kevesebb vízcseppel képes ütközni és így a mérete is kisebb lesz (b).



9. ábra: A jégképződés elvi sémája (Geresdi, 2005)

A képen is jól látható, hogy természetes körülmények között csak néhány vízcsepp fagy meg, amelyek a környezetükben lévő kisebb vízcseppek összegyűjtése révén gyorsan növekednek. A zivatarfelhőbe juttatott jégképző magvak növelik annak a valószínűségét, hogy több túlhűlt vízcsepp megfagyjon. Így több jégcsíra „versenyez” a rendelkezésre álló vízárt, és csak kisebb jégzemek jönnek létre. A kevés nagy helyett kialakuló több kisebb jégzem a földfelszínhez közeli melegebb levegőrétegekbe érve gyorsabban olvad (a térfogathoz viszonyítva megnőtt felület miatt). A jégeső-elhárítás megvalósítása lényegesen nehezebb feladat, mint a csapadékkeltés, hiszen itt gyors beavatkozásra van szükség a zivatarfelhőben a jégzemek rohamos növekedése miatt, míg a csapadékkeltésnél egy viszonylag stabil, állandó állapotba történik a beavatkozás. Ha az elhárítást egy szupercella esetén hajtjuk végre, gyakran a beavatkozás

hatástalannak bizonyul vagy rosszabb esetben még nagyobb károkat okozunk vele. Ennek oka, hogy a zivatarfelhő gyors fejlődése megnehezíti a beavatkozás hatékonyságát, hiszen rövid idő alatt kéne a megfelelő számú jégképző magvat a felhő adott tartományába juttatni, ellenkező esetben nem a kívánt hatás érvényesül. A jégeső intenzitásának növeléséről Geresdi István így fogalmaz: nagy az esélye, amikor egy igen intenzív zivatarfelhőben, ún. szupercellában kívánjuk befolyásolni a jég szemek kialakulását és növekedését. Ezekben a felhőkben olyan nagy mennyiségű víz van, hogy a jég szemkezdemények számát igen nagyra kell növelni ahhoz, hogy a vízcseppekért való „versengés” a méret csökkenését eredményezze. Szerencsére hazánkban ilyen felhő igen ritkán fordul elő, ám akkor jelentős kárt okoz.

### **3.3. A jégeső-elhárításra használt módszerek ismertetése**

Már a 20. század közepe tájától foglalkoztak a probléma elhárításának lehetséges megoldásaival, így többféle módszert is kifejlesztettek. Az egyiket a volt Szovjetunióban alkották meg. Ez volt a rakétás módszer, amelyet rendkívül költségessége miatt csak néhány országban alkalmaztak hosszabb távon (pl. Jugoszlávia, Bulgária, Szlovénia), hiszen az éppen nem használt rakéták őrzésének megoldása is nagy feladat volt. Az eljárás során ezüstjodidot tartalmazó rakétákat lőttek fel a felhőkbe és hatása lényegében hasonló volt a ma használt modernebb talajgenerátoros technikáéhoz. A rakétás elhárítás esetén a **10. ábrán** látható kilövőállványba több rakéta is betölthető volt egyszerre, melyeket alig néhány másodperces eltérésekkel lőttek ki. A mozgatható állványon a vetőcsövek sugarasan voltak elhelyezve, így mozgatás nélkül is több irányba lőhették ki a rakétákat és juttathatták be az ezüst jodidot a felhőzetbe. A rakéták a kilövés után nem sokkal megkezdték a reagens kiszórását, majd egy önmegsemmisítő szerkezet a rakéta többi részét is ártalmatlan méretű darabokra robbantotta, hogy a földet éréskor ne okozzanak károkat (Wirth, 1968). A jég szemek méretének a beavatkozások következményeként történt csökkenéséről a jégesőindikátorok segítségével bizonyosodtak meg földfelszíni mérések segítségével. A mérés alapján becslést lehetett adni a jég szemek méretének és mennyiségének eloszlásáról a térségben. Az indikátor egy állványból és a rajta lévő „jégesőmérő lapból” állt. A jég szemek az indikátor lapjára esve ovális nyomot hagytak annak felületén, hiszen a lap szerkezetileg egy habosított műanyag és azon egy vízhatlan alumíniumfólia együttese volt (Székely-Zoltán, 1984).





**10. ábra: A szovjetek által használt időjárás-módosító rakéta (OBLAKO)(forrás: Kollega Tarsoly István (főszerk.): Magyarország a XX. században)**

A védekezés másik formáját főként Ausztria, Németország és Görögország használta, ezt repülőgépes elhárítási módszernek nevezték el. Lényege az volt hogy a repülőgépre erősített égető-berendezés segítségével közvetlenül a felhőben engedték ki a mesterséges jégképző magvakat tartalmazó anyagot, így próbálva csökkenteni a jégszemek méretét és az általuk okozott károk mértékét (**11. ábra**).



**11. ábra: A repülőgép és az oldalára szerelt égető-berendezés**

A legújabban használt technika talajgenerátoros módszer néven vált ismertté, amelynek lényege, hogy a földfelszínről juttatnak mesterséges jégképző magvakat a

kialakuló zivatarfelhőbe. Ennek alapjául a felszínről generátorral a levegőbe párologtatott ezüstjodid szolgál, amit nagy koncentrációban kell a légkörbe engedni. A kialakult felhők „felszipantják” a talaj közeléből a meleg-párás levegőt (az energia és a vízgőztartalom nagy része ebből van), ezzel együtt az ezüstjodid részecskék is a felhőbe kerülnek és elősegítik a túlhűlt cseppek fagyását. Ennek következtében több kisebb jégképződmény alakul ki, a kevés nagyobb helyett. A kisebb jég szemek kisebb tömegüknél fogva lassabban esnek a földfelszín felé, így „útközben” van idejük olvadni, és amíg a felszínre eléri jelentős méretcsökkenés megy végbe, esetleg teljesen elolvadnak és vízcseppként érnek a földfelszínre. Ez a „taktika” megelőző, preventív módon működik, és semmilyen káros hatással nincs a környezetünkre. Ugyan a használt acetonnal feloldott ezüstjodid az emberi szervezetbe jutva mérgező hatású, de az égetés során belőle keletkező anyagok már nem károsak, hiszen a lejátszódó kémiai reakciók folyamán vízgőz, szén-dioxid és ezüstjodid kristály keletkezik. Ezzel a módszerrel sajnos a korábban már kialakult jég szemeket nem tudják „elolvasztani vagy szétrobbantani”, de a megfigyelések szerint a beavatkozás közel 72 %-kal csökkenti a jégkárokat. Ezt az eljárást alkalmazzák napjainkban többek között hazánkban, Horvátországban, Spanyolországban és Franciaországban is.

#### **4. Jégeső-elhárítás hazánkban**

##### **4.1. 1960–1990 közötti védelmi tevékenységek**

Hazánkban a jégesők elleni védekezés szinte egy időben indult meg a környező országok ilyen irányú tevékenységével. Így először az osztrákoktól átvett viharagyúzás technikáját, majd a szovjetek által kifejlesztett rakétás elhárítási módszert kezdtük alkalmazni azokon a területeken, ahol a jégesők kialakulása a leggyakoribb volt. A rakétás módszert szervezeten elsőként 1976-ban kezdték nagyobb területen használni az országban (*12. ábra*). A védeni kívánt terület kiválasztása az akkori Állami Biztosító statisztikái alapján került ki. Miután az 1970-es években az ilyen heves zivatarok miatti kárkifizetések ugrásszerűen megnövekedtek a térségben, úgy döntöttek, hogy Pécs közelében megalapítják a Baranya megyei Rakétás Jégesőelhárító Egységet (BRJE) és egy 3 éves kísérleti működés tapasztalatai után határoznak majd a további munkájukról (Wirth, 1984).



**12. ábra: A rakétás elhárításhoz használt rakéta (Lelovics Enikő fotója)**

Az elhárítási módszer ekkor lényegében abból állt, hogy megállapítsák a beavatkozás helyét és időpontját, majd elvégezzék a szükséges felhőmagvasítást. A kísérleti időszak letelte után, az addigi ismeretek alapján, az elhárító központ működését sikeresnek ítélték, hiszen a kárt okozó jégszemek mérete és száma is csökkent a beavatkozások folytán, aminek hatására a mezőgazdasági károk is mérséklődtek (Wirth et al., 1984). Az akkori Minisztertanács a tapasztalatok alapján a védekezési forma megerősítéséről és a működés meghosszabbításáról határozott, valamint a jövőbeni tervek, fejlesztések és a módszer kiterjesztéséről szóló tervezet elkészítését kérte az OMSZ-tól (Wirth-Kozák, 1979).

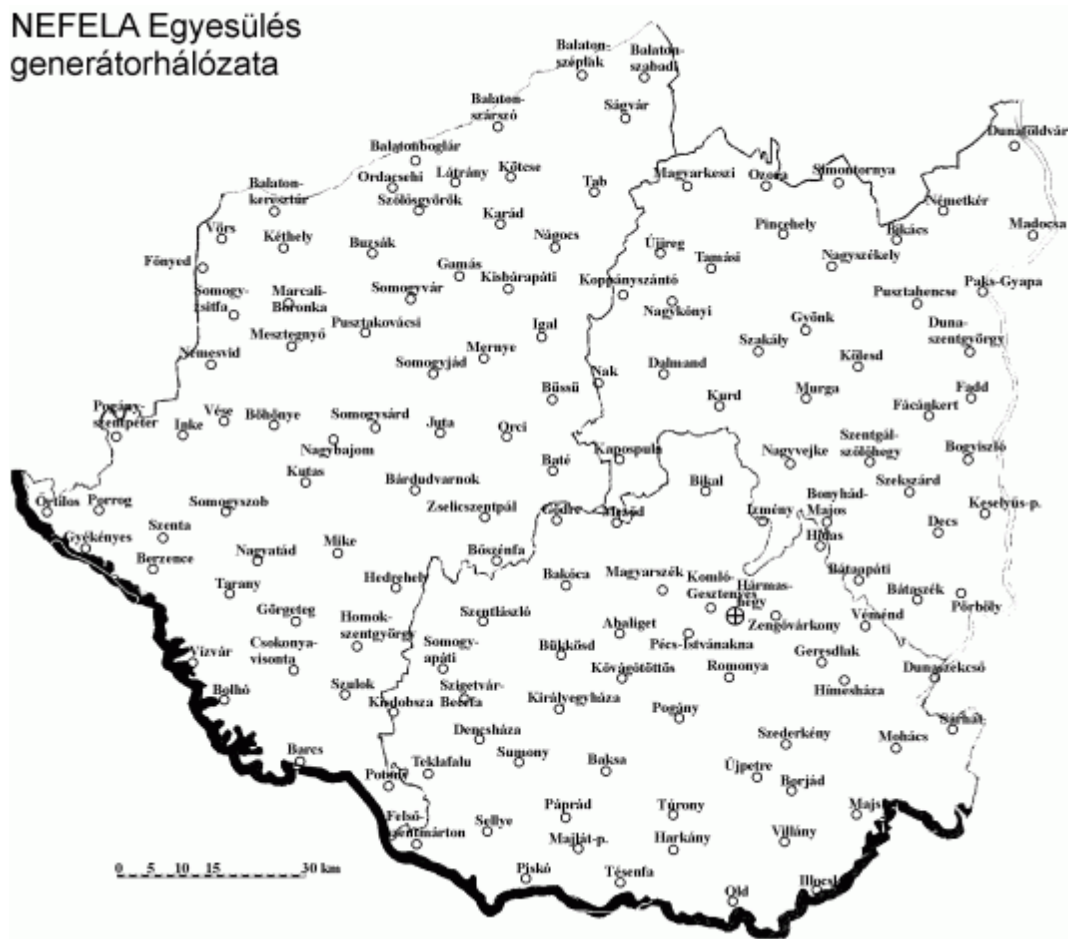
Nem egészen egy évtized elteltével, 1985-ben, megkezdhette munkáját a Bács RJE néven ismertté váló egység is. A második elhárító központ létrehozása mellett szólt, hogy Bács-Kiskun megyében is az országos átlag fölött volt a jégesők által okozott károk mértéke. A választást befolyásolta az is, hogy így a két rakétás elhárító hálózat egymás munkáját segítve, egy nagyobb összefüggő területet tehet védetté. A második központ létrehozása már 1979-ben eldöntésre került a Baranya megyei jó tapasztalatok alapján, s a terület kijelölésével, a tervek elkészítésével a pécsi Alkalmazott Felhőfizikai Központ lett megbízva. A területet 1982-ben kijelölték, majd állami beruházás keretein belül kezdődött meg a létesítmények felépítése és a szükséges felszerelések beszerzése is. A létrehozáshoz szükséges összeget a helyileg érintett mezőgazdasági nagyüzemek, a termelősövetkezetek és az Állami Biztosító közösen

fedezték. A központot Dusnokra telepítették az állandóan üzemben lévő radarral együtt (Balog-Sövér, 1986).

A rakétás jégeső-elhárítás módszerét az 1960-as évektől egészen 1990-ig sikeresen alkalmazták a védett területeken. A rendszer akkor kényszerült feloszlani, amikor az Állami Biztosító 1990-ben megszüntette a folyósított támogatás összegét (ekkor a Bács-Kiskun megyei RJE meg is szűnt), arra hivatkozva, hogy túl magasak a működtetési költségek. Ezt követően, 1991-ben a baranyai térségben is majdnem teljesen megszűnt a jégeső-elhárítás, és csak néhány lelkes mezőgazdasági termelőnek köszönhető, hogy nem tűnt el teljesen, valamint annak, hogy egyre nagyobb igény mutatkozott a szolgáltatás iránt. Végül a kitartó szervezésnek köszönhetően megalakult az alacsonyabb költségekkel járó talajgenerátoros módszert alkalmazó NEFELA Egyesülés.

## 4.2. NEFELA Dél-magyarországi Jégesőelhárítási Egyesülés

A NEFELA Dél-magyarországi Jégesőelhárítási Egyesülés 1991-ben szerveződött újra Baranya-, Somogy- és Tolna megyében. Az Egyesülés nevében a NEFELA egy görög mitológiai alakra, Nephelé-re utal, aki a felhők istennője volt<sup>2</sup>. Alapító tagjai között volt több mint 100 mezőgazdasági nagyüzem, két biztosító társaság (ÁB-Aegon Rt., Hungária Biztosító Rt.), az állam és az OMSZ közösen a dél-magyarországi jégesőkárok megelőzésére és enyhítésére.



13. ábra: A generátorhálózat (nefela.hu)

<sup>2</sup> Nephelé: a görög mitológiában a felhők istennője. Hozzáment Athamasz királyhoz és két gyermekük született, majd a király mégis elhagyta, és második feleségének egy királylányt választott, Inót. Ekkor bosszúból Nephelé megparancsolta a felhőknek, hogy Athamasz király területe felett soha többé ne essen az eső. Inó gyűlölte a felhőistennő gyermekeit és azt mondta, ha feláldozzák a király Nephelétől született gyermekeit, akkor megszűnik az aszály. Ez azonban sohasem valósult meg, mert Nephelé egy aranygajdas kost küldött gyermekei megmentésére (valtozovilag.hu).

A három megyére kiterjedő talajgenerátor hálózatot (**13. ábra**) a társaság 4 főállásban dolgozó munkatársa és 141 kezelő üzemelteti, akik munkáját a nyári időszakban még 8 fő meteorológus segíti.

2004-ben az állam nem akarta a továbbiakban finanszírozni a hálózat működését, így felmerült a jégeső-elhárítás megszüntetése is, de a települések önkormányzatainak összefogása révén továbbra is fennmaradhatott a generátorrendszer. Az OMSZ a továbbiakban is támogatta, és a mai napig is támogatja az egyesülés munkáját az előrejelzéshez szükséges információk közzétételével. A hálózat így jelenleg az egyetlen időjárás-módosítással foglalkozó társulás Magyarországon, és a jégesők által legveszélyeztetettebb területeken működik (Baranya, Tolna és Somogy megye). A NEFELA radarközpontja (**14. ábra**) a Mecsekben, a nevét a három szabályos egymás melletti csúcsáról kapó Hármashegy (Hosszúhetény mellett) található. A megfigyeléseket minden évben május 1-jén kezdik és egészen szeptember 30-ig végzik, hiszen a nyári időszakban alakulnak ki azok a legintenzívebb, akár jégesővel is járó zivatarok, amelyeknél a beavatkozás szükséges lehet.



**14. ábra: A Hármashegy-i radarállomás képe (nefela.hu)**

### **4.3. A generátorhálózat működése**

Az 1991-ben újjászerveződött NEFELA Egyesülés már nem a rakétás rendszert alkalmazza, hanem egy olcsóbban fenntartható talajgenerátoros módszert. A nyári

megfigyelési időszakban a központban 24 órás megfigyelés működik, és innen irányítják az egész hálózatot. A radarállomáson egy MRL-5 típusú, két csatornás, nagy felbontóképességű időjárás-radar üzemel. Hatótávolsága 256 km sugarú kör. Ezen a radaron minden csapadékot adó felhőzet látható PPI (térképező), illetve RHI (vertikális) üzemmódban. A radar segítségével már nagy távolságból megítélhető egy-egy felhő jégveszélyessége, fejlődési tendenciája, intenzitása, vonulási iránya, sebessége stb. A meteorológusok munkáját segíti még egy „Meteosat” időjárás-műholdvevő, és naponta több tucat előrejelzési térkép. A radar régen manuálisan működött, de ma már számítógépes vezérlésű (15. ábra).



15. ábra: A még ma is használatos radar (nefela.hu)

A generátorokat (16. ábra) a francia jégeső-elhárítási egyesülés eszközeinek mintája alapján gyártatták le, és így egy már 30 éve tesztelt és jó tapasztalatokkal bevált módszert sikerült meghonosítani Magyarországon is. A Vortex típusú talajgenerátor fontosabb részeit a 17. ábra mutatja be. Működésének lényege, hogy az oldattartályban található ezüstjodid-aceton oldat található, amelyben a levegőtartály segítségével hozunk létre túlnyomást. Az oldattartályból egy kis fűvókához jut az acetonos oldat, amit ezen a fűvókán keresztül porlasztanak be az égetőkéménybe. Az ott uralkodó 800-900°C-os hőmérsékleten végbemegy az égés, és a kéményből az ezüstjodid molekulák a levegőbe jutnak, ahol a hirtelen sokkal alacsonyabb hőmérséklet hatására kristályos szerkezetűek lesznek. Ez a kristályszerkezet nagyon hasonlít a jégkristályok szerkezetéhez. 1 g AgI-ból kb.  $10^9$  db aktív kristály-részecske keletkezik. A használt nyomásérték és fűvóka méret mellett kb. 0,8 –1,0 liter oldat ég el óránként. A kristályos

ezüst-jodid mellett a levegőbe csak kis mennyiségű víz és szén-dioxid jut, így a módszer teljesen környezetbarátnak tekinthető. A generátoroknak mindenhol egy fő, vizsgázott személyzete van, akiknek csak megbízott jogviszonyuk van a munkavégzéshez. Az Egyesülés tagjainak minden héten két alkalommal egy előrejelző faxot, vagy e-mailt (*I. A. függelék*) is eljuttatnak a következő 7 nap várható időjárásával, és a mezőgazdaság szempontjából fontosabb információkkal (csapadék mennyisége, minimum- és maximum hőmérséklet, szél, stb.), amelyet az OMSZ-től vásárolnak meg. Az elrendelt beavatkozásról az értesítést kódolt SMS-ben küldi ki a radarközpont észlelője a generátorkezelőknek, akik ekkor üzembe helyezik a generátorokat. Az SMS értesítőt Bereczki Károly dolgozta ki 20 évvel ezelőtt, és ez részben hasonlóságot mutat a szinoptikus előrejelzéseknél használatos kóddal (*I. B. függelék*).

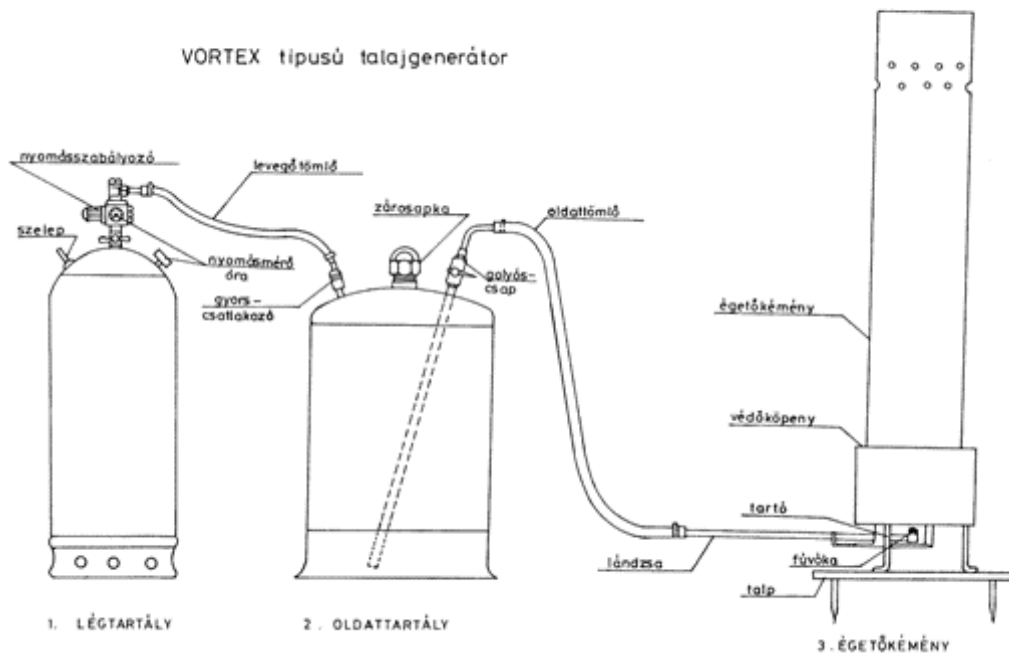


**16. ábra: a francia minta alapján elkészített, hazánkban használatos talajgenerátor  
(Lelovics Enikő fotója)**

Évente általában 40–50 beavatkozásra kerül sor, a generátorok alkalmanként 2–10 órán keresztül működnek, így éves szinten egy generátor 200–250 órát üzemel.



Általában az összes (141 db) generátort bekapcsolják, de az időjárás helyzetét figyelembe véve, szakaszos üzemeltetést is alkalmaznak.



17. ábra: A NEFELA által használatos talajgenerátor főbb egységei - levegőtartály (1), oldattartály (2) és égetőkémény (3)(forrás: nefela.hu)

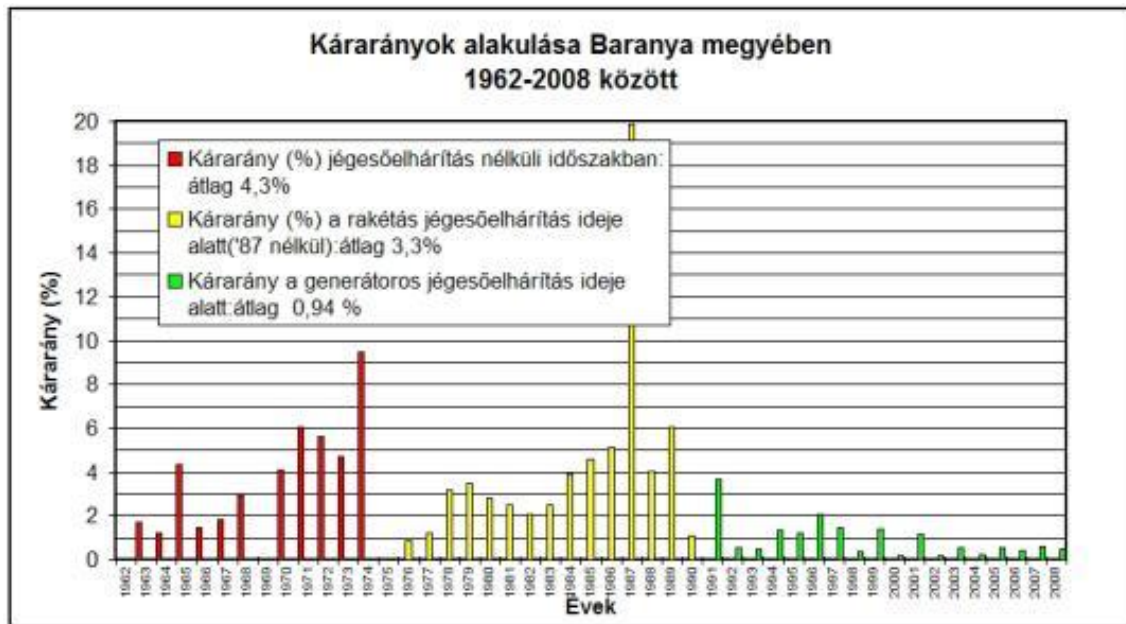
#### 4.4. A generátorhálózat működésének hatékonysága

A megfelelő hatékonyság érdekében a beavatkozásokat minden esetben a zivatarok kialakulása előtt legalább 2 órával kell megkezdeni, mivel a zivatarfelhőkben a nagy károkat okozó jégszemek nagyon gyorsan alakulnak ki. A felhőzet megjelenésétől számítva mindössze 30 perc szükséges ahhoz, hogy intenzív csapadékhullás alakuljon ki, ebben kevesebb, mint 5 perc is elegendő a jégszemek kialakulásához a felhőben, tehát a gyors beavatkozás elengedhetetlen.

A hatékonyság bemutatására a biztosítók kárrány adatait használják fel, mivel a kárrány nem érzékeny az inflációra, nem befolyásolja a biztosítók üzlet politikája, tehát egy jól használható mérőszám. A kárrány a kártérítési összeg és a biztosított érték hányadosa százalékban kifejezve (**18. ábra**).

A biztosítók adatai alapján készített, Baranya megyére vonatkozó felmérés jól tükrözi, hogy a beavatkozások jelentős védelmet nyújtottak a terület számára a jégesők ellen. Míg a pirossal jelölt időszakban, amikor nem alkalmaztak semmilyen jégeső-

elhárítási módszert, a kárányok átlagosan 4,3–4,4% körül mozogtak, addig a védett időszakban ezek folyamatosan mérséklődtek.



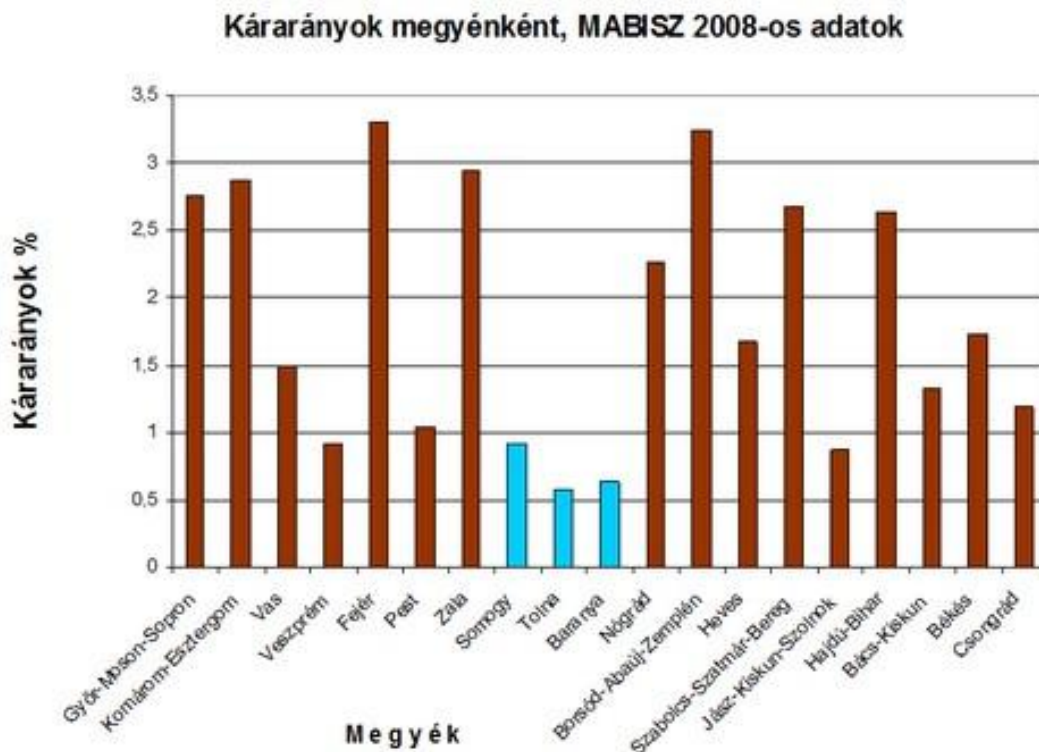
18. ábra: A biztosítók adatai szerint a kárányok alakulása a különböző jégeső-elhárítási módszerek alkalmazása idején (forrás: nefela.hu)

A BRJE működése alatt alkalmazott rakétás módszer még nem tett lehetővé olyan hatékony beavatkozást, mint a későbbi talajgenerátorok üzemeltetése, de már ott is észrevehető egy kisebb csökkenés a jégkárok tekintetében. Az 1991-től alkalmazott talajgenerátoros jégeső-elhárítás ideje alatt a jégkárok olyannyira csökkentek, hogy már az 1%-ot sem érik el.

Egy másik, megyékre lebontott diagram (**19. ábra**) 2008-as adatai szerint, melyet a Magyar Biztosítók Szövetsége (MABISZ) készített, ma már Baranya és a védekezésben még szintén részt vevő két megye az egyik legkedvezőbb terület hazánkban a jégesők által okozott károk szempontjából. Látható, hogy a nem védett megyében a kárány átlagosan 2,5–3% körül mozog, míg a védekezésben részt vevő területeken jóval 1% alatt marad ez az érték.

A védekezésnek köszönhetően, a jelentősen csökkenő károk hozzájárultak a térség életszínvonalának emelkedéséhez, hiszen kisebb-nagyobb pénzüsszegeket tudnak megtakarítani a védett területen élők. További előnyököt jelent, hogy a termelésben a jégkárok sokszor kihatnak a következő évek termésére is, amelyek ellen főként kemikáliák alkalmazásával lehetett védekezni, azonban mióta csökkentek a károk, nem,

vagy alig van szükség a jégverés utáni gombaölő permetezésre, amely által az itt termelt növények környezet- és mindenképp fogyasztóbarát termékek lettek.



19. ábra: A MABISZ által készített 2008-as kárárány felmérés (forrás:

[http://www.vallalkozoinegyed.hu/20090519/jegesolharito-rendszer\\_baranya\\_somogy\\_es\\_tolna\\_megye\\_-\\_csokkeno\\_jegkar](http://www.vallalkozoinegyed.hu/20090519/jegesolharito-rendszer_baranya_somogy_es_tolna_megye_-_csokkeno_jegkar))

A jelentős csökkenés a kárkifizetésekben is megmutatkozik, s mivel azok csökkentek, magukkal vonzották, hogy a biztosítási díjak is alacsonyabbak lettek, mindemellett pedig a károkból adódó bevételkiesések is szinte megszűntek, így az ezen a vidéken élő emberek megélhetési biztonsága növekedett.

A mezőgazdasági károk csökkenésével szinkronban a rendszer üzemeltetése a lakossági értékek (gépjárművek, épületek és minden szabadban tárolt vagyontárgy) megóvásában is jelentős szerepet játszik.

A védekezésbe való csatlakozásról már több megye is tárgyalt a NEFELA Egyesülettel, de eddig a generátorok beüzemeléséből adódó viszonylag magas költségek miatt nem született megállapodás a hálózat kibővítéséről, pedig hosszabb távon a költségek valószínűleg megtérülnének. A beavatkozás egyetlen hátránya, hogy mivel a jégzemeket nem képes eloszlatni, és teljesen megszüntetni a felhőben, azért a

már kialakult, a védett területen kívülről érkező, jégesőt adó felhők továbbra is károkat okoznak majd. Emellett azonban kedvező a hatása annak, hogy déli határszomszédaink szintén alkalmazzák ezt a módszert, így az ő tevékenységük növeli a mi talajgenerátoraink hatékonyságát.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatban áttekintő képet adtam az időjárás befolyásolására tett kísérletekről, bemutattam a korabeli próbálkozásokat és a ma is alkalmazott beavatkozási módszereket. Az időjárás-módosításának számos korlátja van, jelentős költségekkel járhat és gyakran csak lokális hatások érhetők el vele. A természetbe való beavatkozás ráadásul nemcsak pozitív hatású lehet, hanem káros, előre nem látható következményekkel is járhat. Az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján hatékony, pozitív eredmények a köd- és felhőoszlatás, a csapadékkeltés, a fagyvédelem és a jégeső-elhárítás terén érhetők el. Dolgozatomban részletesen elemeztem a Magyarországon évtizedek óta használatos jégeső-elhárítási tevékenységet, és annak a védett területek mezőgazdasági termelésére, valamint az ott lakók életminőségének javulására tett pozitív hatásait. Hazánkban jelenleg a NEFELA Egyesülés végzi ezt a feladatot, az Országos Meteorológiai Szolgálat előrejelzési produktumaira támaszkodva. A környezetkímélő talajgenerátoros hálózat az ország három megyéjében (Baranya, Somogy, Tolna) üzemel a nyári félévben (május 1-től szeptember 30-ig). A biztosító társaságok utólagos elemzése alapján a jégeső-elhárító tevékenység hatására a jégesők okozta károk kisebb mértékűek az érintett megyékben, mint az ország más területein.

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Mészáros Róbertnek, hogy támogatott a téma kiválasztásában és ötleteivel hozzájárult a dolgozat elkészítéséhez.

Köszönettel tartozom a NEFELA Egyesülésnek és munkatársainak, akik engedélyezték számomra, hogy a honlapjukon található információkat felhasználhassam, valamint Bereczki Károlynak a szakdolgozatom helyességére vonatkozó ellenőrző átolvasást és a pontosságot segítő megjegyzéseket, illetve háttér-információkat.

Köszönöm anyukámnak, családomnak és barátaimnak is a megértő támogatásukat.

## **Függelék**

**A) A NEFELA Egyesülés által a tagok számára eljuttatott egy hetes előrejelző fax (minta)**

**NEFELA**

Dél-magyarországi Jégesőelhárítási Egyesülés

7623 Pécs, Köztársaság tér 2. II. em. 20.

7602 Pécs, 2. Pf.: 94

Tel.: (+36) 72/534-952, 72/590-009 Fax.:72/211-780

E-mail: hhegy KUKAC nefela.hu

**2005. augusztus 23. - 2005. augusztus 25.**

**Nagyrészt erősen felhős, vagy borult lesz az ég, sokfelé valószínű ismétlődő eső, zápor, néhol zivatar is előfordulhat.**

**Az időszak végén csökken a felhőzet, egyre kevesebb helyen lesz csapadék.**

Max. hőmérséklet:	kedd 21,	szerda 24,	csütörtök 26 fok.
Min. hőmérséklet:	kedd 15,	szerda 16,	csütörtök 14 fok.
Csapadék valószínűsége:	kedd 100%,	szerda 100%,	csütörtök 70%
5mm-nél nagyobb csapadék:	kedd 80%,	szerda 40%,	csütörtök 10%
20mm-nél nagyobb csapadék:	kedd 20%,	szerda 0%,	csütörtök 0%
Relatív nedvesség:	kedd 97%, szerda 93%, csütörtök 83% a légnedvesség napi közepe. A lehetséges párolgás naponta 0-3 mm között.		
Talajnedvesség:	A talaj 0-50 cm-es rétege 90-100 %-ig, a 50-100 cm-es rétege 85-98 %-ig telített.		
Szél:	kedd NY , átlag: 5 - 15 lökés: 25 - 35 km/h szerda ÉNY , átlag: 10 - 20 lökés: 30 - 40 km/h csütörtök változó , átlag: 5 - 10 lökés: 20 - 30 km/h		

**2005. augusztus 26. - 2005. augusztus 29.**

**A több-kevesebb napsütés mellett többször megnövekszik a felhőzet, elszórtan zápor, zivatar is előfordulhat.**

Max. hőmérséklet:	péntek 27,	szombat 28,	vasárnap 26
Min. hőmérséklet:	péntek 15,	szombat 17,	vasárnap 17
Csapadék valószínűsége:	péntek 40%,	szombat 30%,	vasárnap 50%
5mm-nél nagyobb csapadék:	péntek 0%,	szombat 0%,	vasárnap 10%
Relatív nedvesség:	péntek 78%, szombat 74%, vasárnap 78%.		
Szél:	változó ,átlag: 5 - 10 lökés: 20 - 30 km/h		



## **B) A NEFELA Egyesülés által kiküldött értesítő SMS a generátorkezelőknek**

*(Az információkat Mátyus Árpád, a NEFELA beavatkozás-vezetője bocsátotta rendelkezésemre)*

A generátorkezelőknek kiküldött SMS felépítése kissé hasonlít a szinoptikus távirat kódolásához, a kódokat Bereczki Károly dolgozta ki a NEFELA megalakulásakor. Ezeket naponta két alkalommal, de minimum egyszer (reggel 8 órakor) ki kell küldeni a dolgozóknak. A kiküldött üzenetben szereplő adatok nem az eltelt időt, hanem minden esetben az adott időpontot jelentik. Ha a beavatkozás hossza meghaladja a 6 órás időtartamot, akkor az értesítő üzeneteket meg kell ismételni, ugyanis a generátorkezelők 6 óra elteltével automatikusan kikapcsolják a berendezéseket. A generátorhálózatot 4 nagyobb egységre osztották, ezek külön-külön és egyszerre is értesíthetők a beavatkozás végzéséről.

Az SMS-ben használt kódolás jelentése:

*„111 hh mm: a kezelő a generátort hh óra mm perckor kapcsolja be*

*222 hh mm: a kezelő a generátort hh óra mm perckor kapcsolja ki*

*333 1 hh mm: tájékoztató: hh óra mm percig generátor bekapcsolása: várható*

*333 2 hh mm: tájékoztató: hh óra mm percig generátor bekapcsolása: nem várható*

*444 hh mm: a mobiltelefont/személyhívót kikapcsolhatja majd hh óra mm perckor kapcsolja vissza (ennek régebben volt jelentősége, most már igazából azt jelenti, hogy bekapcsoltatás biztosan nem lesz)*

*555 nnhhmm: a nefela szakembere adott hónapban nn nap hh óra mm perckor felkeresi”*

Nézzük ezt egy fiktív példán:

*111 12 10 a generátort a kezelő 12:10-kor kapcsolja be*

*222 18 20 a generátort kapcsolja ki 18:20-kor*

*333 1 22 00 a generátor újabb bekapcsolása várható este 10 óráig*

*333 2 08 00 a generátorokat reggel 8 óráig nem valószínű, hogy be kell kapcsolni*

*444 06 00 a mobiltelefont kikapcsolhatja és visszakapcsolnia csak reggel 6 órakor kell*

*555 181400 a NEFELA szakembere az adott hónapban (legyen pl. május) 18-án délután 2 órakor keresi fel*

## Irodalomjegyzék

- BALOG M.-SÖVÉR F. 1986: A Bács-Kiskun megyei jégesőelhárítás, Léggör 31. évf. 1. sz. 2–6. old.
- CZELNAI R. 1981: Bevezetés a meteorológiába III. A meteorológia eszközei és módszerei, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 345–369. old.
- GERESDI I. 2004: Felhőfizika, Dialóg Campus Kiadó, Budapest, 272 oldal
- MOLNÁR K.-CSABAI D. 1984: Jégesők előrejelezhetősége zivatarfelhő-modell segítségével, Időjárás 88. évf. 1. sz. 46–51. old.
- SCHIROKNÉ KRISTON ILONA 1982: Az időjárás-módosításokról, Léggör 27. évf. 1. sz. 27–28. old.
- STEINER L. 1931: Az időjárás. Kiadta a Magyar Szemle Társaság, Budapest (<http://mek.niif.hu/04000/04030/html/index.htm>)
- SZÉKELY CS.-ZOLTÁN CS. 1984: A jégesőindikátor és felhasználásának lehetőségei, Időjárás 88. évf. 1. sz. 32–45. old.
- SZEPESINÉ LŐRINCZ A. (szerk.), 1970: Fejezetek a magyar meteorológia történetéből 1870-1970. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 221–223, 451–452. old.
- WIRTH E. 1968: Időjárás-módosítás a SZU-ban és az USA-ban, Léggör 13. évf. 1. sz. 1–4. old.
- WIRTH E.-KOZÁK B. 1979: Jégesőelhárítás hazánkban, Léggör 24. évf. 1–2. sz. 28–32. old.
- WIRTH E. 1984: Jégesőelhárítás Magyarországon, Időjárás 88. évf. 2. sz. 57–85. old.
- WIRTH E.-MARKÓ T.-SÖVÉR F. 1984: A jégesőelhárítás értékelése: fizikai és gazdasági következmények, Időjárás 88. évf. 1. sz. 3–20. old.

### ***Internetes hivatkozások:***

- Green, C., 2008: How China stopped the rain during the Beijing Olympics  
[http://www.associatedcontent.com/article/1277176/how\\_china\\_stopped\\_the\\_rain\\_during\\_the.html?cat=15](http://www.associatedcontent.com/article/1277176/how_china_stopped_the_rain_during_the.html?cat=15)
- China Daily, 2009: Beijing weather bureau making sure there's no rain on the parade [http://www.chinadaily.com.cn/2009-08/25/content\\_8616879.htm](http://www.chinadaily.com.cn/2009-08/25/content_8616879.htm)
- China Daily, 2010: Demand rising for weather modification  
[http://www.chinadaily.com.cn/china/2010-03/04/content\\_9534044.htm](http://www.chinadaily.com.cn/china/2010-03/04/content_9534044.htm)
- Geresdi István, 2005: PTE jegyzetek  
<http://foldrajz.ttk.pte.hu/kornyezet/tematikak/fej06.doc>
- MTI, 2010: Kína a felhők ura akar lenni  
[http://hvg.hu/Tudomany/20100304\\_kina\\_idojaras\\_technologia](http://hvg.hu/Tudomany/20100304_kina_idojaras_technologia)
- NEFELA Egyesülés honlapja: <http://www.nefela.hu/index.php>
- Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja, „metsuli”:  
[http://met.hu/omsz.php?almenu\\_id=misc&pid=misc\\_main](http://met.hu/omsz.php?almenu_id=misc&pid=misc_main)
- Pap Edina, 2004: Fagyvédelem a gyümölcsösben  
<http://www.gazdabolt.hu/index.php?content=135>
- Racskó József, 2004: Az alacsony hőmérséklet kedvezőtlen hatásai, az ellene való védekezés lehetőségei a növénytermesztésben, Mezőhír Szaklap 8. évf. 1. sz. <http://www.mezohir.hu/2004-01/09.html>
- Stefancsik Ferenc, 2006: A meteorológiai hadviselésről  
[http://www.hm.gov.hu/hirek/kiadvanyok/uj\\_honvedsesegi\\_szemle/a\\_meteorologiai\\_hadviselesrol1](http://www.hm.gov.hu/hirek/kiadvanyok/uj_honvedsesegi_szemle/a_meteorologiai_hadviselesrol1)
- Terbe István, 2009: Védekezés a tavaszi fagykárok ellen a zöldségtermesztésben [http://www.farmit.hu/rde/xbcr/farmit/images/vedekezes\\_fagykar\\_ellen\\_zoldsegetermesztésben.pdf](http://www.farmit.hu/rde/xbcr/farmit/images/vedekezes_fagykar_ellen_zoldsegetermesztésben.pdf)
- Változó Világ, Nefelé – görög mitológia: <http://www.valtozovilag.hu/qc/N.htm>
- Weather Modification: <http://www.weathermodification.com/>