



CZESŁAW KOŹMIŃSKI
Wyższa Szkoła Rolnicza — Szczecin

PRÓBA OCENY METOD ROZSIEWANIA SUBSTANCJI CHEMICZNYCH Z ZIEMI LUB W POWIETRZU I ICH PRZYDATNOŚĆ W WARUNKACH POLSKI *

Na posiedzeniu Komitetu Geofizyki PAN w grudniu 1960 r., w referacie poświęconym walce z burzami gradowymi w Polsce, zaproponowałem przeprowadzenie kampanii przeciwgradowej na terenie wytypowanego szlaku gradowego: busko-sandomierskiego, lub pogórza (6).

Kampanie te powinny być poprzedzone przynajmniej dwuletnimi próbnymi doświadczeniami (np. w 1965 i 1966 r.), przeprowadzonymi bezpośrednio w terenie na ograniczonym obszarze charakteryzującym się wysoką częstością burz gradowych, z których większość ma jakiś zdecydowany kierunek przemieszczania się. Takim obszarem mógłby być teren powiatu chmielnickiego, buskiego, wschodnia część powiatu jędrzejowskiego i północna powiatu pińczowskiego, o ogólnej powierzchni około $60 \times 55 \text{ km} = 3300 \text{ km}^2$.

Można przyjąć, że większość miejscowości położonych w obrębie wymienionego obszaru jest nawiedzana gradem w towarzystwie burzy co drugi rok. Najbliższa stacja meteorologiczna w Kielcach notuje średnio rocznie 1,1 dnia z burzą gradową. Natomiast na terenach wymienionych powiatów notuje się średnio 2 dni z silnymi burzami gradowymi (o powierzchni powyżej 100 km^2) i około 4 dni z burzami gradowymi, które powodują mniejsze szkody w rolnictwie. Większość tych burz obserwuje się w czerwcu (około 29%) i maju (około 25%), zaś w okresie od V do IX — około 90%, a od V do VIII — około 82%, oraz z kierunku: SW, NW, W i S.

Z tych względów wstępne doświadczenia z rozpraszaniem chmur gradowych należałoby ograniczyć do 4 miesięcy, tj. od maja do sierpnia, a potem ewentualnie, z uwagi na wyrządzane szkody w tytoniu, od maja do września. Liczba dni, w ciągu których istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia opadów gradu na obszarze wymienionych powiatów, wynosi średnio w okresie od maja do września około 26, w tym dni, w ciągu których mogą wystąpić większe opady gradowe (dające 10 i więcej wypadków), przypada około 5 (tabela 1).

* Praca wykonana na zlecenie Wydziału Prewencji Centralnego Zarządu P. Z. U. w Warszawie.

Tabela 1

Srednia liczba dni, w ciągu których zanotowano opad gradu na terenie powiatu buskiego i chmielnickiego za lata 1947—1956 w procentach

Powiat		Miesiące					Średnio za lata 1947— —1956
		V	VI	VII	VIII	IX	
Busko	a	18,2	19,9	26,5	27,4	8,0	100=25,5
Chmielnik	b	10,8	19,5	28,3	37,0	4,4	100= 4,6

a — 1 zanotowany wypadek gradu w ciągu dnia.

b — 10 zanotowanych wypadków gradu w ciągu dnia.

Tabela 2

Sumy wypłaconych odszkodowań za straty wyrządzone przez grad w zbożach (za lata 1951—1961) i w tytoniu (za lata 1960—1962) wg danych P. Z. U.

Powiat	Rodzaj ubezpieczenia	Wysokość odszkodowania w tys. zł	Średnie roczne odszkodowanie (sumy) w tys. zł
Busko (plus Chmielnik)	zboża	21 431	1 948
	tytoń	8 758	2 919
Jędrzejów	zboże	6 974	634
	tytoń	7 808	2 603
Pińczów (plus Kazimierza Wielka)	zboże	10 690	972
	tytoń	31 396	10 468
R a z e m	zboże	39 095	3 554
	tytoń	47 962	15 987

Z tabeli 1 wynika, iż przez około 26 dni (w okresie od maja do września) należałoby utrzymywać w stanie pogotowia cały system alarmowy, urządzenia radarowe i rakiety, a w ślad za tym zaplanować odpowiednie koszty całej kampanii.

Średnio rocznie PZU wypłaca rolnikom z powiatu: buskiego, (łącznie z chmielnickim), jędrzejowskiego i pińczowskiego (łącznie z kazimierskim) tytułem odszkodowań gradowych w zbożach — 3554 tys. zł, a w tytoniu około 15 987 tys. zł (tabela 2). Według wstępnych orientacyjnych obliczeń, koszty jednorocznej kampanii przeciwgradowej (tj. zakup chemikali, utrzymanie sieci stacji i ich eksploatacja, koszty utrzymania personelu, różne pomiary, końcowe opracowania wyników kampanii itp.) należałoby szacować w granicach od 500 do 600 tys. zł, tj. około 3% sum wypłacanych przez PZU rolnikom z 3 wymienionych powiatów (tabela 2). Tereny powiatów buskiego, chmielnickiego, jędrzejowskiego i pińczowskiego cha-

rakteryzują się stosunkowo gęstą siecią dróg brukowanych i telekomunikacyjnych. Poza tym urodzajne gleby sprzyjają rozpowszechnieniu upraw roślin przemysłowych, z których wiele jest szczególnie wrażliwych na opady gradu (jak np. tytoń, buraki nasienne, cebula nasienna, chmiel itd.).

Obok opisywanego szlaku busko-sandomierskiego, równie dużą częstość gradów obserwuje się na szlaku lubelskim, zwłaszcza w powiatach: zamojskim, krasnostawskim i lubelskim (7, 8). Z tych względów tereny wymienionych 3 powiatów mogłyby służyć jako obszar porównawczy — odniesienia dla obszaru (tj. powiatów: buskiego, chmielnickiego, jędrzejowskiego i pińczowskiego), gdzie planuje się przeprowadzenie przyszłych kampanii przeciwgradowych. Być może, wspomnianym obszarem porównawczym mogłaby być także i Równina Radomska. Sprawa ta wymaga przedyskutowania w szerszym gronie zainteresowanych osób.

Obecnie walkę z burzami gradowymi prowadzi się w kilkunastu krajach (w tyluż również trwają przygotowania naukowe do kampanii przeciwgradowych), z których najbardziej zaawansowane doświadczenia obserwuje się w USA, Francji, Szwajcarii, ZSRR, Włoszech, Austrii, Meksyku i Australii (1, 2, 3, 4, 5, 10, 12, 13, 14, 17, 18, 20, 21).

Dotychczas transport sztucznych jąder kondensacji i krystalizacji (takich jak jodek srebra, jodek ołowiu lub chlorek sodu) do komina burzy gradowej odbywa się przy pomocy różnych środków i metod. Najskuteczniejsze okazały się dwie metody, a mianowicie przy pomocy generatorów elektrycznych i rakiet (jedno- lub dwustopniowych). Działanie wymienionych generatorów elektrycznych (a ostatnio generatorów o działaniu spiralno-wirowym (2) polega na emitowaniu AgJ w przyziemne warstwy powietrza od 90 do 120 minut przed nadejściem burzy gradowej nad daną stacją. We Francji (1, 2), gdzie generatory te są powszechnie stosowane, zorganizowano całą sieć stacji zainstalowanych w dwu lub trzech kolejnych pasach. Przemieszczająca się chmura gradowa nad tymi stacjami napotyka przyziemne warstwy powietrza stosunkowo dobrze nasycone kryształkami AgJ, które za pomocą prądów wstępujących dostają się do komina burzowego.

Wydaje się, iż metoda ta zdaje najlepiej egzamin na tych terenach, gdzie większość notowanych burz gradowych ma jakiś zdecydowany kierunek przesuwania się, oraz gdzie ukształtowanie terenu sprzyja dogodnemu rozmieszczeniu sieci stacji z generatorami (2, 18). Poza tym stosowanie generatorów elektrycznych powoduje duże zużycie kosztownego AgJ (w Polsce 1 kg czystego AgJ kosztuje około 1900 zł), a nie zawsze efektywnie wykorzystanego przy poszczególnych burzach gradowych (1). Niemniej wydaje się, iż metoda generatorów elektrycznych jest obecnie prostsza i skuteczniejsza dla większych obszarów objętych kampanią przeciwgradową, aniżeli metoda rakiet. Ta ostatnia jest szeroko stosowana

w USA, Szwajcarii, ZSRR, Włoszech, Austrii i NRF (3, 11, 13, 14, 21). Zadaniem rakiet (na ogół o długości 1,5 do 2 m i ciężarze od kilku do kilkunastu kg) jest dostarczenie jąder kondensacji i krystalizacji do komina burzowego, gdzie eksplodując powodują ich rozsiewanie się w chmurze.

Trudność stosowania rakiet przeciwgradowych przy poszczególnych burzach polega m. in. na zmiennej wysokości występowania izotermy 0°C w danych burzach, na skutek czego zachodzi konieczność ciągłego obliczania wysokości, na jakiej powinny eksplodować rakiety. Druga trudność polega na uchwyceniu odpowiedniej fazy rozwoju danej burzy gradowej, w czasie której należy dostarczyć kryształki AgJ lub PbJ_2 za pomocą rakiet. Wymaga to świetnej organizacji całej kampanii (zwłaszcza systemu alarmowego) i możliwie poprawnej analizy sytuacji synoptycznej, w której powstała dana burza. Dużym ułatwieniem w przewidywaniu i śledzeniu zmian faz poszczególnych burz jest stosowanie radarów pionowych i horyzontalnych oraz fotogrametrii (2, 3, 15).

Według Dessensa (1, 2), powstawanie dużych i groźnych gradzin może zachodzić najpierw w kominie prądów wstępujących (najpierw pionowym, potem pochyłym), gdzie one się tworzą, i następnie w bardzo szybkim prądzie poziomym stwierdzonym na wysokościach zbliżonych do 9 km (o prędkości od 200 do 260 km/godz.), wreszcie w osi „pióropusza gradowego”, gdzie mogą się zlepiać razem, dzięki obecności wody płynnej. W wypadku podłączenia się komina burzowego do prądów poziomych, o dużych prędkościach, następuje zasysanie cząstek powietrza z komina, co w wielu wypadkach może przekreślić skuteczność naszego oddziaływania sztucznymi jądrami kondensacji i krystalizacji.

Te i inne trudności powodują, że wyniki przeprowadzonych kampanii w wielu krajach w ostatnich latach są raczej małe i trudne do przewidzenia (2, 14). Kampanie te pozwalają jednak coraz lepiej poznać mechanizm tworzenia się opadów, a zwłaszcza opadów gradu (9,16).

W świetle opisywanych powyżej metod oraz analizy opadów gradu w Polsce wydaje się, że najodpowiedniejszą metodą walki z burzami gradowymi w kraju byłoby zastosowanie rakiet, które na ograniczonym obszarze i przy dobrej organizacji kampanii powinny dać pozytywne wyniki. Rakiety, które produkuje się w Krakowie, można z powodzeniem wykorzystywać przy planowanej kampanii w woj. kieleckim, lub krakowskim. Zastosowanie, rakiet, a nie generatorów, jest trudniejszą metodą rozsiewania substancji chemicznych, niemniej pozwala zaoszczędzić wiele kg AgJ lub PbJ_2 , a tym samym obniżyć koszt kampanii. Wymaga jednakże dobrej organizacji całego doświadczenia.

Rakiety można by zainstalować na odpowiednich platformach samochodowych (jako tzw. ruchome stanowiska) oraz na kilku stałych stanowiskach, w okolicy Chmielnika, Pińczowa, Buska, Stopnicy, Solca Zdroju,

Oleśnicy i Jędrzejowa. We Włoszech (11, 14) jedno stanowisko raketowe przypadało średnio na 500 km². W naszym wypadku można by przyjąć jedno stanowisko (o kilku wyrzutniach) na 300—400 km². Zwiększenie liczby samochodów z raketami zmniejszy oczywiście liczbę stanowisk stałych w terenie. Nieodzowne jest zainstalowanie radaru (o zasięgu przynajmniej 150—200 km) w okolicy Buska, lub Pińczowa. Konieczne jest również zainstalowanie szeregu specjalnych stacji pomiarowych i to zarówno na obszarze objętym kampanią przeciwgradową, jak również na obszarze porównawczym. Należałoby przy tym nawiązać współpracę z powiatowymi i gromadzkimi pracownikami rolnictwa, z nauczycielami i M.O. Wskazane byłoby także przeszkolić zgłoszonych obserwatorów i korespondentów gradowych oraz uzupełnić obecnie używany kwestionariusz gradowy PIHM.

W wypadku zawężenia kampanii przeciwgradowej do możliwie małego obszaru — można by wykorzystać do tych doświadczeń dolinę rzeki (i pobliskie wzniesienia) Raby — na odcinku od Myślenic do Bochni. Wymagałoby to dodatkowych badań meteorologicznych i fizjograficznych nad występowaniem tam opadów gradowych. W zakończeniu należy podkreślić, że wymienione propozycje i uwagi odnośnie przyszłej kampanii przeciwgradowej w Polsce powinno się traktować jako wstępne i wymagające jeszcze przedyskutowania w szerszym gronie osób zainteresowanych.

LITERATURA

1. Dessens H.: Association D'etudes des Mayens de Lutte Contre les Fleaux Atmospheriques, nr 7. Toulouse, 1959.
2. Dessens H.: J. w. nr 11. Toulouse, 1963.
3. Donaldson R. J.: Analyses of severe convective storms observed by radar. Journal of Meteor. V. 15. 1958.
4. Geneve R.: Sur le controle statistique d. une operation de pluie artificielle. Bull. de L Obser . du Puy de Dome, nr 1. 1959
5. Israel H.: Hagelbildung die Umschau. Halbsmonatsschrift über die Fortschritte in Wissenschaft und Technik H. 13 — 1953
6. Koźmiński Cz.: Opady gradowe na terenie Polski w latach 1946—1955. Szczecińskie Tow. Naukowe. t. XVII, z. 2. 1963.
7. Koźmiński Cz., Rytel M.: Próba wykreślenia izarytm prawdopodobieństwa występowania burz gradowych na terenie Polski. Czasopismo Geogr. XXXIV, z. 51. Wrocław, 1963.
8. Koźmiński Cz.: Próba wydzielenia obszarów źródłowych tworzenia się termicznych burz gradowych na terenie woj. kieleckiego. Praca wykonana dla P. Z. U. Warszawa, 1963.
9. Koźmiński Cz.: Prewencje burz gradowych w świetle ostatnich badań naukowych we Francji i w innych krajach europejskich. Wiadomości Ubezpieczeniowe, nr 1. 1960.
10. List H.: Entstellung und Struktur des Hagels. Frankfurt (M-1961, In.) Umschau in Wissenschaft und Technik 61.

11. Ludlam F. H.: The hail problem: Nubila, Verona 1. 1958.
12. Maier W.: Hagelsteine und Achsanlage von Gewitterwirbeln. Met. Rdsch. t. 10, nr 2. 1957.
13. Müller H. G.: Hagelbekämpfung. Kosmos, Bd. 56. Stuttgart, 1960.
14. Nikandrow W. J.: Borba protiv gradobitij w Italii. Mieteorologia i Gidrologia, nr 4. 1960.
15. Salamoniak S.: Wstępne wyniki radarowych obserwacji chmur. Przegląd Geograficzny, z. 1. Warszawa, 1958,
16. Schmuck A.: Zarys hydrometeorologii. wyd. II. Wrocław—Warszawa, 1960.
17. Serpolay E.: Experiences d'amélioration de la visibilité par temps de brouillard. Bulletin de Observ. du Puy de Dôme, nr 2. 1959.
18. Soulagé G.: Augmentation du pouvoir glacogène de l'air réalisée au cours d'expériences de prévention de la grêle. Puy de Dôme Observ. Bulletin, Nr 4. 1957.
19. United States Department of Commerce. The thunderstorm. Report of the thunderstorm Protect. Washington. D. C. 1949.
20. Weickmann H.: Entstehung und Bekämpfung des Hagels. Meteorolog. Rundschau, t. 9/10. 1953.
21. Zimmerman E.: Verfahren zur Bekämpfung der Hagelbildung in Warmegewittern und diesen verwandten Gewitterarte. Patentschrift 27 — 1957 Eidig. Atm. geistiges Eigentum. Zurich.