

## **Rolnictwo za granicą**

*Zbigniew Szwejkowski*  
*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

### **Potrzeby i możliwości służby agrometeorologicznej na przykładzie Stanów Zjednoczonych**

**Słowa kluczowe:** monitoring, agrometeorologia, sieci pomiarów automatycznych

#### **Wstęp**

Brak możliwości aktywnego oddziaływania na przebieg zjawisk atmosferycznych sprawia, iż efektywne zarządzanie produkcją w skali pojedynczego gospodarstwa, czy też decyzje strategiczne dotyczące gałęzi produkcji rolniczej, muszą uwzględniać aktualną i przewidywaną sytuację pogodową. Idea osłony meteorologicznej na potrzeby rolnictwa, według rozwiązań klasycznych, ma zasadnicze niedoskonałości. Są nimi brak możliwości korzystania z danych w pełni reprezentatywnych dla danej przestrzeni oraz opóźnienie czasowe. Dzięki rozwojowi elektroniki otworzyły się jednak nowe możliwości w zakresie pomiarów, przetwarzania danych i łączności. Ulepszone zostały także konstrukcje czujników i całych przyrządów pomiarowych. Dziś jesteśmy na początku drogi prowadzącej do realizacji rozwiązań umożliwiających korzystanie z informacji pogodowych wysoce reprezentatywnych dla miejsca i dostępnych w czasie rzeczywistym. Można oczekiwać, że idea ta będzie się stopniowo rozwijać w kierunku coraz to wyższej sprawności oraz efektywności.

Obecnie najbardziej zaawansowane prace nad sieciami zdalnych, automatycznych pomiarów parametrów agrometeorologicznych prowadzone są w Stanach Zjednoczonych i Europie Zachodniej. Najstarsze amerykańskie projekty tego typu po-

chodzą z początków lat osiemdziesiątych. Od tego czasu przeszły one długi proces stopniowej ewolucji zarówno w sensie technicznym, jak i użytkowym. Amerykańskie sieci agrometeorologiczne planuje się tak, aby można je było wykorzystać szerzej, kładąc główny nacisk na zadania związane z meteorologią ogólną. W USA powołano też instytucję o nazwie World Agricultural Outlook Board — Ośrodek Prognoz Rolnictwa Światowego [2], która wykorzystując dane, między innymi z automatycznych pomiarów naziemnych, określa bieżące i okresowe trendy rozwojowe w tej dziedzinie gospodarki na całym świecie. Z kolei UE planuje rozwój sieci zdalnych pomiarów w ramach szerokiego projektu, do którego wchodzić będą oprócz stacji meteorologicznych również zestawy satelitarne [6]. Dodatkowe źródła informacji poszerzą użyteczność całego przedsięwzięcia. Jest to ważne, gdyż w krajach zrzeszonych w UE będzie to bowiem znaczące udoskonalenie aktywnej polityki rolnej, z jej szeroko rozwiniętym programem subsydiów.

Ponieważ amerykańskie doświadczenia w dziedzinie projektowania i eksploatacji sieci są najbogatsze i autor niniejszego artykułu miał możliwość bezpośredniego zapoznania się z nimi, stąd też ilustracja powyższego problemu będzie się opierała głównie o przykłady zaczerpnięte z USA.

## Zasady projektowania sieci

---

Prawie żadna z amerykańskich sieci nie powstawała jako zamierzenie realizowane całkowicie od początku. W tamtych realiach bardzo wcześnie pojawiło się zapotrzebowanie na dane meteorologiczne dostarczane w czasie rzeczywistym, zaspokajane na bazie półautomatycznych czy automatycznych, ale pracujących samodzielnie stacji pomiarowych. Stacje te zaczęto łączyć w sieci należące do różnych organizacji komercyjnych bądź naukowych. Następnie powstawały sieci terytorialne organizowane w ramach jednostek administracyjnych. W wielu wypadkach tworzone systemy powstawały więc z połączenia istniejących obiektów w wyniku pertraktacji i zawierania umów pomiędzy wieloma dysponentami oddzielnych układów pomiarowych. Tak więc prace wstępne nad koncepcją organizacji automatycznych sieci pomiarów meteorologicznych (AWSN — automated weather stations network) rozpoczynano zawsze od rozpoznania istniejących zasobów w postaci sprzętu, przeszkolonych pracowników itd. [7, 8].

W momencie dokonania ustaleń co do kooperacji lub planowania sieci całkowicie od nowa należy przede wszystkim zadbać o reprezentatywne rozmieszczenie poszczególnych punktów pomiarowych. Ponieważ nigdy nie występują możliwości instalacji nieograniczonej liczby stacji, więc praktyczna realizacja tej tezy opiera się zazwyczaj na specjalnej technice statystycznej, zwanej symulacją Monte Carlo [3]. Niezależnie od gęstości stacji, wiele danych dla specyficznych punktów musi być ekstrapolowanych. Wykorzystuje się do tego celu dostępne opracowania klimatyczne. Po-

nadto należy zawsze brać pod uwagę naturalną przestrzenną zmienność poszczególnych parametrów [5].

W warunkach amerykańskich, w stanach gęściej zaludnionych, realizowana jest rozdzielczość przestrzenna rzędu  $50 \times 50$  km. Podobną gęstość rozmieszczenia stacji zakłada system informacji rolniczej rozwijany w krajach Unii Europejskiej. Równie ważne bywają kryteria lokalizacji poszczególnych punktów pomiarowych. Pokrywają się one częściowo z wymaganiami stawianymi klasycznym stacjom agrometeorologicznym. Studia wykonane w stanach Arizona oraz Waszyngton [1], dowiodły, że ważna jest odpowiednia przestrzeń okalająca stację. Rozległy obszar nawadnianej mieszanki traw lub lucerny powodował zmniejszenie temperatur, niedosytu wilgotności, prędkości wiatru, sumy jednostek cieplnych i ewapotranspiracji potencjalnej w porównaniu z terenami ekstensywnie użytkowanymi i przesuszonymi. Z tego względu wyżej cytowany autor zaleca, aby wyniki z każdej stacji były opatrzone dokładnym opisem lokalizacji, tak aby użytkownicy danych mogli ewentualnie dokonać odpowiednich korekt.

Najistotniejszym elementem planu budowy sieci bywają finanse przedsięwzięcia. Jednostkowa stacja w Stanach Zjednoczonych kosztuje od 4000 do 8000 USD, w zależności od wyposażenia w czujniki, jednostki centralne (dataloggery) i systemy łączności z centrum. Dla porównania w polskich warunkach jest to wydatek rzędu 45 000 PLN, czyli około 11 000 USD (kwiecień 1999), przy czym koszty zakupu sprzętu to wydatek jednorazowy. Operatorzy sieci AZMET w Arizonie i AWSN w Nebrasce podają, iż roczne nakłady na eksploatację sieci, przypadające na 1 jednostkę, wynoszą od 3500–3600 USD, z czego 75% przypada na koszty płac (2 pracowników na 10 stacji), a 25% na koszty telekomunikacji, podróży, części zamiennych i materiałów komputerowych [8].

Istnieje kilka sposobów zapewnienia łączności z jednostkami sieci; są to: komunikacja radiowa, kontakt przez łącze modemowe w sieci telefonii przewodowej oraz taki sam sposób w sieci bezprzewodowej. Zdecydowanie najtańsze rozwiązanie to przesył danych po łączach tradycyjnych. W wypadku wyboru komputera dla centrum przetwarzania źródłowe dane amerykańskie nie podają specjalnych zaleceń, tym bardziej iż sprzęt ten może być w przyszłości często wymieniany. Jedynym wyraźnie sprecyzowanym postulatem jest potrzeba zapewnienia szybkiej i pojemnej pamięci masowej, pozwalającej zgromadzić surowe dane co najmniej z pełnego roku pomiarowego. Zaskakująco wysoko wypada koszt organizacji centrum przetwarzania danych, przeciętnie około 500 000 USD, włączając zakup pomieszczeń, ich remont i adaptację do nowych zadań, zakup sprzętu oraz oprogramowania. Szczególnie to ostatnie jest drogie, jako że bywa wykonywane na jednostkowe zamówienie. Centra lokowane w pomieszczeniach uniwersyteckich czy należących do organizacji farmerskich kosztują znacznie taniej.

Raz uruchomiona sieć podlegać będzie stalej ewolucji zarówno w zakresie sprzętowym, jak i programowym. Tempo tej ewolucji podyktuje postęp techniczny, a

przede wszystkim możliwości finansowe dysponenta. Poza tym system wymagać będzie stałego dozoru. Dotyczy to przede wszystkim konserwacji, jak i kalibracji. W USA zaleca się dokonywanie kontroli pracy stacji podczas każdej wizyty na niej. Należy wówczas porównać odczyty z jej czujników ze wskazaniami klasycznych termometrów, psychrometrów itd. Kalibracja polowa winna być uzupełniana bardzo dokładną kalibracją laboratoryjną. Zakłada się, że najczęściej należy poddawać jej czujniki wilgotności, nawet co pół roku. Anemometry i pyranometry sprawdza się raz w roku, pozostałe zaś co dwa lata. Każdy system sieciowy winien być zaopatrzony w odpowiedni zapas czujników, niezbędnych do zainstalowania w nagłej sytuacji. Ogólnie przyjmuje się, że na 20 stacji winien być zatrudniony jeden doświadczony technik, dysponujący samochodem, częściami zamiennymi i odpowiednimi narzędziami [8].

## **Zakres dokonywanych pomiarów i zadania realizowane z wykorzystaniem zdalnego monitoringu**

---

Przydatność systemów automatycznego pomiaru parametrów meteorologicznych do bezpośrednich zastosowań w praktyce rolniczej jest bardzo duża. Standardowy zestaw wchodzący w skład pojedynczego automatycznego punktu pomiarowego zawiera najczęściej czujniki: temperatury powietrza, wilgotności względnej oraz prędkości i kierunku wiatru, zainstalowane na wysokości 2 m, temperatury powietrza przy gruncie. Ponadto mierzy się wilgotność i temperaturę gleby na różnych poziomach, a także napromieniowanie słoneczne. Niektóre zestawy posiadają mierniki wilgotności liści, a ponadto barometry i bardzo specjalistyczne przyrządy określające specyficzne cechy klimatyczne danego obszaru (np. elektroniczne, automatyczne ewaporometry, zestawy do określania bilansów energetycznych itd.). Standardowe wyposażenie stacji agrometeorologicznej amerykańskiej i europejskiej bywa podobne.

Dobór czujników determinuje zakres uzyskiwanych informacji. Nie mniej ważne jest zaprogramowanie całego systemu do pracy w trybie ciągłym. Rolę tę w pierwszym rzędzie spełnia tzw. datalogger. Posiada on kilka modułów, z których najważniejsze to: mikroprocesor, pamięć z programowalnym zakresem, wielokanałowe urządzenie wejścia i wyjścia. Możliwości zaprogramowania częstotliwości odczytów są bardzo duże, nawet co kilka sekund. Zwiększona częstość próbkowania atmosfery wymaga pojemnej pamięci dataloggera, stąd też zwykle największa dotyczy parametrów najbardziej zmiennych (np. wiatru). Niezależnie od częstości pomiarów dane zapisuje się zwykle w postaci średnich lub sum godzinowych.

Sieci amerykańskie pracują w pełni automatycznie. Polega to na tym, że komputer centralny łączy się samodzielnie z każdą z nich, odczytując dane o oznaczonej porze. Najczęściej jest to godzina 24, niektóre jednak z nich działają sprawniej, uaktualniając dane co 15 minut. Po dokonaniu transmisji zgromadzonych danych system

przystępuje do ich przetworzenia. Większość stacji stosuje do wstępnej obróbki danych programy testujące ich jakość. Polega to na tym, iż program, mając do dyspozycji uśrednione pomiary archiwalne oraz dane pochodzące z najbliższych stacji, wyznacza granice, w których muszą się mieścić uzyskane wyniki w danym czasie. Jeżeli tak nie jest, program wykazuje błędy. Amerykanie podkreślają jednak, że ostatecznym weryfikatorem jest zawsze człowiek, jako że programowalne maszyny nie są w stanie wychwycić trudno zauważalnych błędów. Dopiero po wstępnej obróbce dane kierowane są do bezpośredniego wykorzystania w celu sporządzania raportów za okres od ostatniego odczytu. Jednocześnie te same dane są archiwizowane przy wykorzystaniu programów baz danych. Amerykańskie sieci, dysponujące większymi budżetami, posługują się specjalnymi pakietami przygotowanymi przez National Climatic Data Center (Narodowe Centrum Danych Klimatycznych), inne korzystają z tańszych, komercyjnych baz danych. Podkreśla się, że baza danych od strony strukturalnej musi być nakierowana w przyszłość, tak aby mogła obsługiwać system, gdy będą się zmieniały czujniki i poszerzy się zakres pomiarów.

Zaletą sieci stacji automatycznych jest możliwość szybkiego przetwarzania danych surowych na zagregowane i pozyskiwanie informacji poszerzonej. Każdy element charakterystyki atmosfery występuje w zapisie jako aktualny (pozyskany w ramach ostatniego odczytu), archiwalny (przeniesiony do gromadzonej bazy danych) i przewidywany (prognozowany na okres do 6 najbliższych godzin). Taki system pozwala efektywnie wykorzystać stację dla celów osłony agrometeorologicznej. Szczególne znaczenie ma to w wypadku planowania zarówno prostych prac polowych zależnych od pogody, jak zwłaszcza związanych ze stosowaniem pestycydów. Najbardziej powszechnie rejestrowane dane dotyczące temperatury powietrza mogą mieć zastosowanie w modelowaniu rozwoju roślin, inwazyjności chorób i szkodników. Mogą być też wykorzystane w modelach jako wartości proste lub przetworzone, przykładowo na tzw. heat units albo degree days °D (jednostki cieplne). Z kolei potencjalna ewapotranspiracja (ETp) służy zazwyczaj jako informacja niezbędna dla właściwego nawadniania roślin. Dane dotyczące salda promieniowania przetwarza się w celu prognozowania przymrozków i wyliczania ETp. Wilgotność względna pozwala wyznaczyć ciśnienie pary wodnej (e) i temperaturę punktu rosy. Kierunek i prędkość wiatru dają podstawę do szacunków siły niszczącej tego zjawiska oraz pomagają ustalić zasady stosowania pestycydów. Ponadto w USA parametr ten bywa wykorzystywany na farmach tuczu trzody czy hodowli bydła jako wskaźnik dopuszczalności stosowania nawozów organicznych na pola w danym dniu.

Możliwości wykorzystania danych ze stacji pozostają nieograniczone. Największe perspektywy związane są z wykorzystywaniem modeli symulacyjnych wzrostu i rozwoju roślin. Aktualnie problemem jest to, iż do ich konstrukcji wykorzystywano na ogół dane dzienne, tymczasem zastosowanie danych godzinowych w tych modelach jest niemożliwe (jest ich brak) bądź błędne metodycznie (zasada adekwatności danych rzeczywistych do danych, na podstawie których budowano model). Pomimo

stosowania ujednoliconych formuł na ustalenie średnich dobowych elementów meteorologicznych wiadomo, iż są one tym bardziej precyzyjne, im pochodzą z wyliczeń na podstawie większej liczby pomiarów dziennych. Roczna eksploatacja automatycznej stacji pomiarowej w Tomaszkanie koło Olsztyna pozwala stwierdzić, jaka jest różnica pomiędzy średnimi uzyskanymi według procedury IMGW (z czterech pomiarów, w tym ekstrema) a przeciętną dobową wyliczoną na podstawie pomiarów co 5 sekund, uśrednianych dla pełnych godzin, uzyskanych na stacji pracującej [9]. Generalnie średnia z automatu pracującego non stop jest wyższa o  $0,3^{\circ}\text{C}$  w skali rocznej. Dłuższe okresy funkcjonowania stacji i zgromadzenie szerszego zestawu bardziej precyzyjnych danych pozwoli ulepszyć istniejące dziś modele agrometeorologiczne.

## **Metody udostępniania i rozpowszechniania wyników pomiarów**

---

Jedną z istotnych funkcji sieci stacji automatycznych jest umożliwienie łatwego dostępu do danych możliwie szerokiemu gronu użytkowników. I chociaż początki organizacji tej metody pomiarów sięgają wczesnych lat osiemdziesiątych, to dopiero rozwój internetu w bieżącym dziesięcioleciu poszerzył znacząco możliwości biernego, a przede wszystkim aktywnego dostępu. Wiąże się to wprawdzie z koniecznością posiadania odpowiednio wyposażonego komputera z oprogramowaniem, jednak nawet w Polsce przestało to być znaczącą barierą, nie mówiąc już o USA czy krajach Europy Zachodniej. Na podstawie przeglądu istniejących rozwiązań można stwierdzić, iż nie da się określić standardu tego typu usług. Tak jak sieci, poza pewną ideą ogólną, realizują często bardzo specyficzne zadania, tak po stronie odbiorczej dostępność różnych postaci danych i form ich przetwarzania zależy jedynie od inwencji operatora. Należy przy tym nadmienić, iż internet nadaje się także do wykorzystania w udostępnianiu danych powstałych w ramach klasycznych sieci pomiarowych. Już w latach 1995–1996 Katedra Meteorologii i Klimatologii ART w Olsztynie przygotowała specjalną stronę WWW na podstawie wyników pomiarów prowadzonych na własnych stacjach. Niestety, konieczność traktowania danych komercyjnie zmusiła nas do usunięcia serwisu z sieci. Dopiero jednak połączenie sieci i możliwości internetu dają niepomiarne większe możliwości i przynoszą znaczące korzyści. Przykładem integracji internetu z sieciami automatycznych pomiarów meteorologicznych w formie najbardziej rozwiniętej jest sieć AEMN, pracująca na potrzeby stanu Georgia [4]. Dostęp do stron tej sieci uzyskamy, wskazując na adres internetowy:

**<http://www.griffin.peachnet.edu/>**

i nawigując w kierunku dotarcia do strony z wykazem opcji przeznaczonych dla użytkownika. W zestawie podstawowym znajdziemy następujące możliwości wyboru danych oferowanych przez każdą stację: dane bieżące (uaktualniane co 15 minut), wa-

runki meteorologiczne do 5 dni wstecz, podsumowanie okresów 30-dniowych, dane archiwalne, dane klimatyczne, prognoza na aktualny dzień. W zakresie poszerzonym istnieje możliwość skorzystania z tzw. kalkulatorów, pozwalających wyliczyć °D (odpowiednik heat units), jednostki ochłodzenia i ocieplenia itd. Strona ta udostępnia też model symulacyjny, wspomagający decyzje technologiczne w produkcji roślinnej. Procedura wykorzystania modelu jest bardzo prosta. Użytkownik określa szereg parametrów wyjściowych dotyczących jakości gleby oraz najważniejszych danych agrotechnicznych, takich jak gatunek rośliny, termin siewu, typ odmiany (wczesna, późna itd.), aplikowane dawki nawożenia i ewentualnie nawadnianie. Na tej podstawie program wylicza przewidywane parametry wegetacji oraz spodziewaną wysokość plonu. Tego typu obliczenia można wykonać dla każdego momentu rozwojowego rośliny. Elastyczność modelu pozwala na możliwość dokonywania obliczeń symulacyjnych. Wszystkie kalkulecje odbywają się z wykorzystaniem danych oznaczonych przez automat agrometeorologiczny, obsługujący daną przestrzeń i gromadzonych przez centrum przetwarzania. Żaden inny typ stacji ani opcja organizacyjna osłony agrometeorologicznej nie jest w stanie zapewnić tak użytecznego narzędzia wspomagającego decyzje w gospodarstwie rolnym, jakim jest sieć zdalnych pomiarów, pozwalająca na aktywny dostęp do danych meteorologicznych.

## Podsumowanie

---

Poziom utechnicznienia rolnictwa w najbardziej rozwiniętych krajach świata staje się coraz wyższy. Przy tym zauważa się, iż celem najnowszych rozwiązań z dziedziny agronomii nie jest już maksymalizacja wydajności, lecz przystosowywanie technologii w kierunku przyjaznym dla środowiska i uzyskiwanie możliwie najwyższej jakości produktów. Badania zależności pomiędzy warunkami klimatycznymi a plonowaniem roślin także mają na względzie powyższe zadania, tym bardziej iż czynników tych nie daje się wykorzystać jako aktywnych plonotwórczo, lecz tylko plonochronnie. Warunki pogodowe, niemal całkowicie wymykające się spod kontroli, dokładnie oznaczone i odpowiednio wcześnie rozpoznane, mogą jednak stanowić bardzo ważny element, na podstawie którego podejmuje się decyzje o sposobie produkcji zarówno w skali pojedynczego gospodarstwa, jak i regionu czy kraju. To wszystko sprzyja realizacji wyżej zaprezentowanej idei. W sensie technicznym sieci osiągnęły już wysoki poziom (tam gdzie istnieją), należy się jedynie spodziewać, iż nastąpi dalsza integracja monitoringu atmosfery w jeden system, bez wydzielenia sfer branżowych. Natomiast, oceniając realistycznie, mniejsze jest ich praktyczne wykorzystanie. Wydaje się jednak, iż znaczące zwiększenie efektów pracy sieci nastąpi wtedy, gdy bazą do opracowań agrometeorologicznych staną się odpowiednio długie ciągi obserwacyjne pochodzące z urządzeń automatycznych. Służby meteorologiczne w Polsce borykające się z problemami systemowymi, ekonomicznymi, przejawiają stosunkowo

małe zainteresowanie rozwojem tego typu infrastruktury, pomimo iż jest oczywiste, że istnieją duże oczekiwania co do trafnych prognoz pogody. W chwili obecnej automatyczne systemy pogodowe budowane są z inicjatywy IMGW dla zadań ogólnych; wydaje się, że to one właśnie w przyszłości spełniać będą też wiele zadań z zakresu agrometeorologii.

## Literatura

---

- [1] Brown P.W., Ley T. W. 1993. Siting agricultural weather stations. Proceedings of ASCE Conf. Park City: 130 s.
- [2] Brusberg M., Monnik K., Koch F., Elliott R., Schaefer G., Crawford K. 1998. The South Africa — Oklahoma MesoNet initiative: A multi-national effort in building an effective mesoscale observation network. 23rd Conference on Agricultural and Forest Meteorology. Albuquerque N.M.: 247–252.
- [3] Gandin L.S. 1970. The planning of meteorological stations network. WMO Tech Not 111, Geneva: 85 s.
- [4] Hoogenboom G., Georgiev G., Clarke B., Gresham D.D., Harbers G. 1998. Internet tools for delivery weather data and Applications. 23th Conference on Agricultural and Forest Meteorology. Albuquerque N.M.: 251–253.
- [5] Hubbard K.G. 1994. Spatial variability of daily weather variables in the high plains of the USA. *Agric. For Meteorol.* 68: 29–41.
- [6] MacKerron D.K.L 1992 An Agricultural Information System for the European Community. Comm. Of Europ. Comm.: 247.
- [7] Nielsen-Gammon 1998 The Texas MesoNet: Potential benefits of improved weather analysis and forecasts for utilities. Texas A&M University, Tx: 2–5.
- [8] Snyder L.R., Brown P.W., Hubbard H.B., Meyer S.J. 1997. A Guide to automated weather networks in North America. Adv. In Bioclim. Springer: 1–61.
- [9] Szwejkowski Z. 1999. Porównanie wyników pomiarów uzyskanych za pomocą klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej. *Fol. Univ. Agric. Stetin. Agricultura* 79: 199–203.



## **Meteorological networks — an idea of the agriculture fully supporting system**

---

**Key words:** monitoring, agricultural meteorology, automatic weather station networks

### **Summary**

Agriculture is one of the most weather sensitive production systems and weather data are crucial factors influencing decisions at either individual farm and regional levels. Rapid technological progress in the last few years allows us to improve both, weather data collection and dissemination systems. The paper discussed the problem of establishing agricultural meteorological networks (AMN) on the basis of the subject literature combined with the practical, first-hand experience gained by the author during his stay in the USA.

*Adres do korespondencji:  
prof. dr hab. Zbigniew Szwejkowski  
Katedra Meteorologii i Klimatologii  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
ul. Prawocheńskiego 21  
10-718 Olsztyn-Kortowo*