

Zakład Hydrografii - Instytut Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego  
Laboratorium Biocybernetyki - Akademia Górniczo-Hutnicza

warsztaty hydrologiczne

# Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w hydrologii



Kraków, 28-29 maja 1998

*Paweł Lula*

Katedra Informatyki, Akademia Ekonomiczna, Kraków

*Joanna Pociask-Karteczka*

Instytut Geografii, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

## ZASTOSOWANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH DO OKREŚLANIA WIELKOŚCI PAROWANIA

### Wstęp

Parowanie jest jednym z ogniw cyklu krążenia wody. Wyznaczenie wielkości parowania nastrocza jednak wiele trudności natury metodycznej i praktycznej, dlatego też istnieje potrzeba znalezienia metody obliczania parowania na podstawie danych uzyskiwanych w standardowych pomiarach meteorologicznych. Z dotychczasowych badań wynika, iż jego wielkość zależy od przychodu energii, warunków wilgotnościowych powietrza oraz jego ruchu (Bac, Koźmiński, Rojek 1993).

Celem artykułu jest opracowanie metody wyznaczania wielkości parowania w okresie, w którym nie prowadzono jego pomiarów. Do realizacji celu wykorzystano wskazania ewaporometru Piche'a na Stacji Naukowej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Łazach. Stacja ta położona jest na obszarze Pogórza Wielickiego w okolicach Bochni. Od 1987 roku prowadzone są tam badania mające na celu poznanie struktury, genezy i funkcjonowania systemów fizycznogeograficznych progu Karpat. Pomiarów parowania na stacji w Łazach dokonywano tylko w początkowym okresie funkcjonowania Stacji w 1987 r.

### Metoda

Parowanie jest uzależnione od takich elementów pogody, jak temperatura i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru (Cetnarowicz 1971). Parametrami dobrze reprezentującymi wilgotność powietrza są: niedosyt wilgotności, prężność pary wodnej oraz wilgotność względna (Chomicz 1976; Obrębska-Starkłowa 1969; Niedźwiedź 1973). Przystępując do badań założono, iż nie jest znany rodzaj zależności funkcyjnej między

wielkością parowania a temperaturą, prędkością wiatru, oraz parametrami wilgotności powietrza, takimi jak: wilgotność względna, prężność pary wodnej i niedosyt wilgotności powietrza. Z uwagi na złożoność zależności występujących pomiędzy badanymi zjawiskami, do konstrukcji modelu wykorzystano sztuczne sieci neuronowe.

Do wyznaczenia parowania stworzono dwa modele. Pierwszy z nich (Model I) opisywał parowanie jako funkcję trzech cech: niedosytu wilgotności, temperatury powietrza oraz prędkości wiatru. W drugim modelu (Model II) grupa zmiennych objaśniających została poszerzona o dodatkowe parametry wilgotności powietrza, takie jak prężność pary wodnej i wilgotność względna. Zarówno w Modelu I, jak i Modelu II wykorzystano wyniki pomiarów meteorologicznych z okresu od 1 kwietnia do 29 października 1987 r., tj. łącznie 210 obserwacji (tab. 1). Analiza macierzy korelacji nie wskazuje na współzależność liniową między poszczególnymi zmiennymi (tab. 2).

Tabela 1. Wartości charakterystyczne badanych ciągów

	Wartość maksymalna $V_{\max}$	Wartość minimalna $V_{\min}$	$V_{\max} - V_{\min}$	Wartość średnia	Odchylenie standardowe
Ciąg uczący	18,9	0,1	18,8	4,7	3,0
Ciąg testowy	13,8	0,3	13,5	5,7	3,2
Ciąg uczący testowy	18,9	0,1	18,8	5,0	3,1

Tabela 2. Macierz korelacji

	E	d	e	t	h	v
E	1,000					
d	0,592	1,000				
e	-0,062	0,359	1,000			
t	0,297	0,693	0,847	1,000		
h	-0,777	-0,670	0,182	-0,278	1,000	
v	0,281	0,001	-0,278	-0,168	-0,272	1,000

- E - parowanie
- d - niedosyt wilgotności powietrza
- e - prężność pary wodnej
- t - temperatura powietrza
- h - wilgotność względna powietrza
- v - prędkość wiatru

Zbiór danych wejściowych podzielono na dwie części: ciąg uczący, zawierający 160 obserwacji oraz ciąg testowy, zawierający 50 obserwacji. Poszczególne obserwacje zakwalifikowano do jednego lub drugiego zbioru w sposób losowy. Uczenie każdej sieci przeprowadzono w oparciu o ciąg uczący. W trakcie uczenia zastosowano zmodyfikowany algorytm wstecznej propagacji błędu (Tadeusiewicz 1993). Cały zbiór uczący (160 obserwacji) został zaprezentowany 50 tysięcy razy. Początkowe wartości wag dobrano zgodnie z algorytmem zaproponowanym przez Nguyena i Widrowa. Do budowy obu modeli zastosowano sieć składającą się z trzech warstw. Liczba neuronów w warstwie wejściowej była zgodna z liczbą zmiennych objaśniających przyjętych w danym modelu (3 w pierwszej sieci i 5 w drugiej). W warstwie ukrytej obie sieci posiadały po 15 neuronów. Liczba neuronów w warstwie wyjściowej zdeterminowana jest przez liczbę zmiennych objaśnianych i wynosiła jeden. Neurony warstwy wejściowej posiadały liniową funkcję aktywacji, w pozostałych warstwach zaś - sigmoidalną. Każdy neuron (oprócz neuronów warstwy wejściowej) wyposażono w dodatkowe wejście, na które wprowadzana była zawsze wartość równa jedności. Z uwagi na własności zastosowanej w warstwie wyjściowej funkcji aktywacji dokonano przeskalowania danych liczbowych w taki sposób, aby wszystkie wartości mieściły się w przedziale  $\langle 0, 1 \rangle$ . Przeskalowanie wartości cechy  $X$  dokonano zgodnie z formułą:

$$\hat{x}_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

gdzie:  $x_i$  oznacza  $i$ -tą wartość cechy  $X$ ,  $x_{min}$  i  $x_{max}$  odpowiednią minimalną i maksymalną wartość cechy  $X$ , natomiast  $\hat{x}_i$  oznacza przeskalowaną  $i$ -tą wartość cechy  $X$ .

Obliczenia przeprowadzono na superkomputerze CONVEX 3220 znajdującym się w Akademickim Centrum Komputerowym CYFRONET - KRAKÓW przy zastosowaniu pakietu Matlab firmy The Math Works Inc. wraz z biblioteką Neural Network Toolbox.

## Wyniki

Po zakończeniu procesu uczenia sprawdzono poprawność działania obu sieci dla obserwacji wchodzących w skład ciągu uczącego. Dla każdego zestawu zmiennych objaśniających obliczono wartość generowaną przez sieć i porównano ją z wartością rzeczywistą. Aby określić dokładność dopasowania obliczono odchylenie standardowe składnika resztowego (odchylenie standardowe różnic pomiędzy wartościami rzeczywistymi i teoretycznymi) zarówno dla ciągu uczącego, jak i ciągu testowego.

### Model I

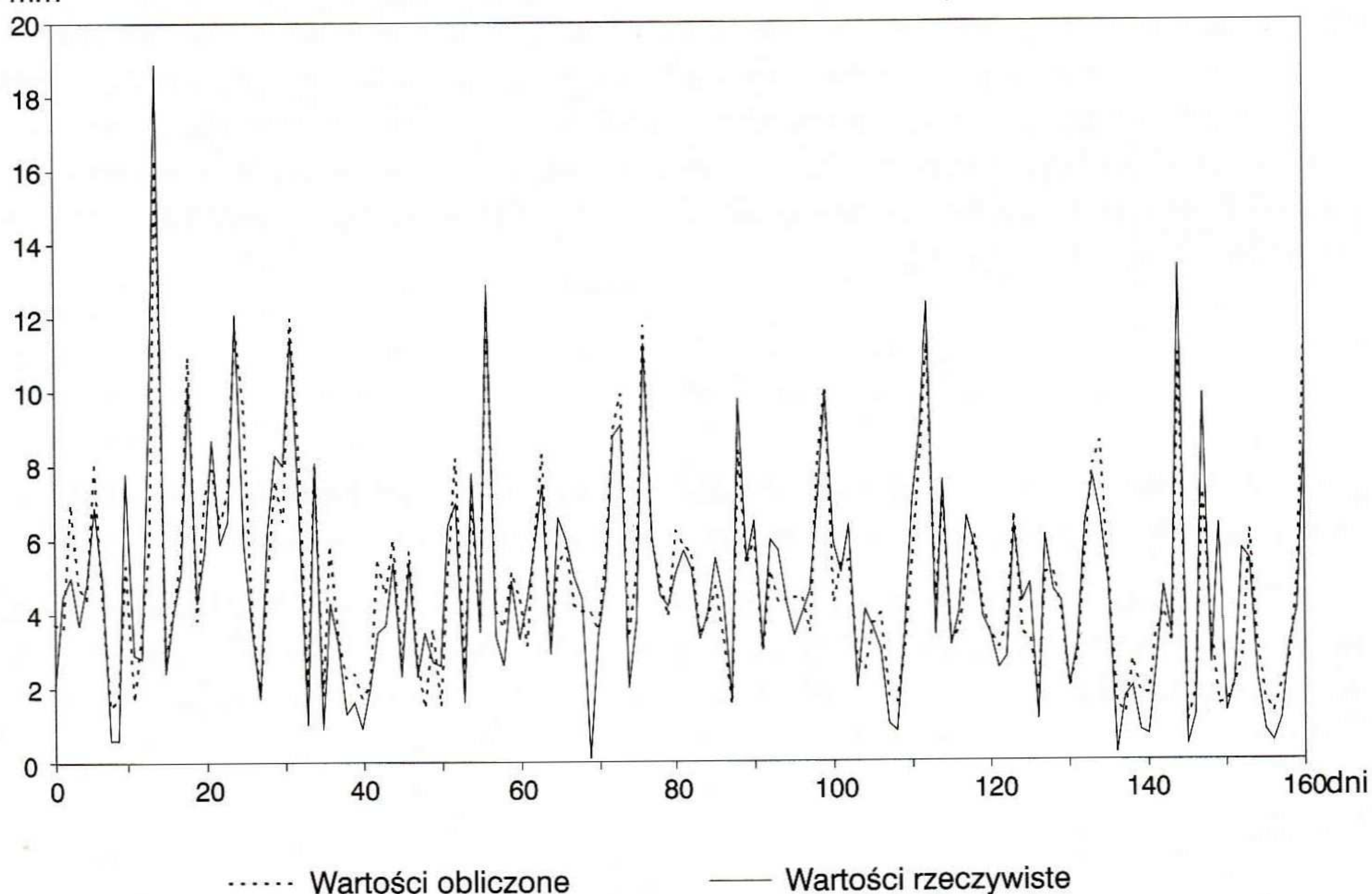
W modelu opisującym parowanie jako funkcję trzech cech: niedosytu wilgotności i temperatury powietrza oraz prędkości wiatru, wartość odchylenia standardowego składnika resztowego dla ciągu uczącego wynosi 1,5. Oznacza to, iż przy obliczaniu wielkości parowania przy użyciu pierwszego modelu przeciętnie można się pomylić o 1,5 mm, co stanowi 7,8% różnicy między wartościami maksymalną i minimalną ciągu

obserwacyjnego (tab. 1). Odchylenie standardowe składnika resztowego dla ciągu testowego wynosi 2,2.

### Model II

W modelu opisującym parowanie jako funkcję trzech cech zastosowanych w Modelu I oraz dwóch dodatkowych cech, tzn. prężności pary wodnej i wilgotności względnej powietrza, wartość odchylenia standardowego składnika resztowego wynosi 1,2. Stanowi to 6,3% różnicy między wartościami maksymalną i minimalną ciągu obserwacyjnego (tab. 1). Odchylenie standardowe składnika resztowego dla ciągu testowego wynosi 2,0.

Parowanie  
mm



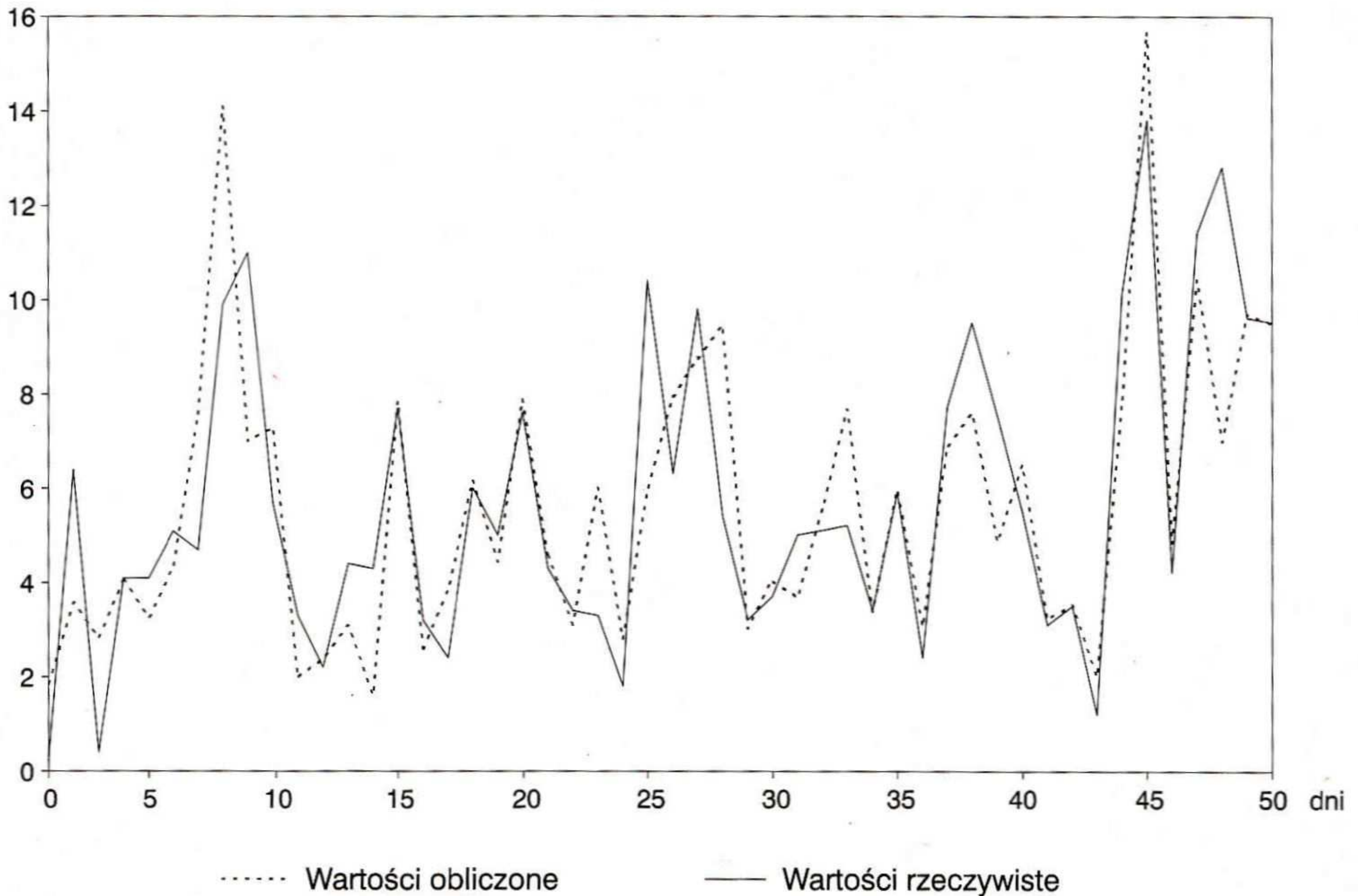
Ryc. 1. Ciąg uczący: parowanie rzeczywiste i obliczone (Model II)

### Wnioski

Sztuczne sieci neuronowe mogą być z powodzeniem zastosowane do szacowania parowania w zależności od wartości kilku zmiennych objaśniających. Pozwalają one zastosować nieliniową zależność pomiędzy badanymi zjawiskami.

Wielkość odchylenia standardowego składnika resztowego w Modelu II jest mniejsza niż w Modelu I, dlatego też model opisujący parowanie jako funkcję pięciu cech, tj.: temperatury powietrza, prędkości wiatru, niedosytu wilgotności powietrza,

Parowanie  
mm



Ryc. 2. Ciąg testowy: parowanie rzeczywiste i obliczone (Model II)

prężności pary wodnej oraz wilgotności względnej powietrza (Model II) umożliwia dokładniejsze wyznaczenie wielkości parowania na stacji w Łazach.

## Literatura

Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1993, *Agrometeorologia*, PWN, Warszawa.

Cetnarowicz M., 1971, *Parowanie terenowe w Polsce w oparciu o analizę składników bilansu wodnego i sieciowe obserwacje elementów klimatu w dziesięcioleciu 1951-1960*, Prace PIHM, 104.

Chomicz K., 1976, *Ocena wskazań ewaporometru Piche'a*, Przegl. Geofiz., 3.

Niedźwiedź T., 1973, *Temperatura i wilgotność powietrza w warunkach rzeźby pogórskiej Karpat (na przykładzie doliny Raby koło Gaika Brzezowej)*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 32.

Obrębska-Starkłowa B., 1969, *Stosunki mikroklimatyczne na pograniczu pięter leśnych i pól uprawnych w Gorcach*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 23.

Tadeusiewicz R., 1993, *Sieci neuronowe*, Akad. Oficyna Wyd., Warszawa.