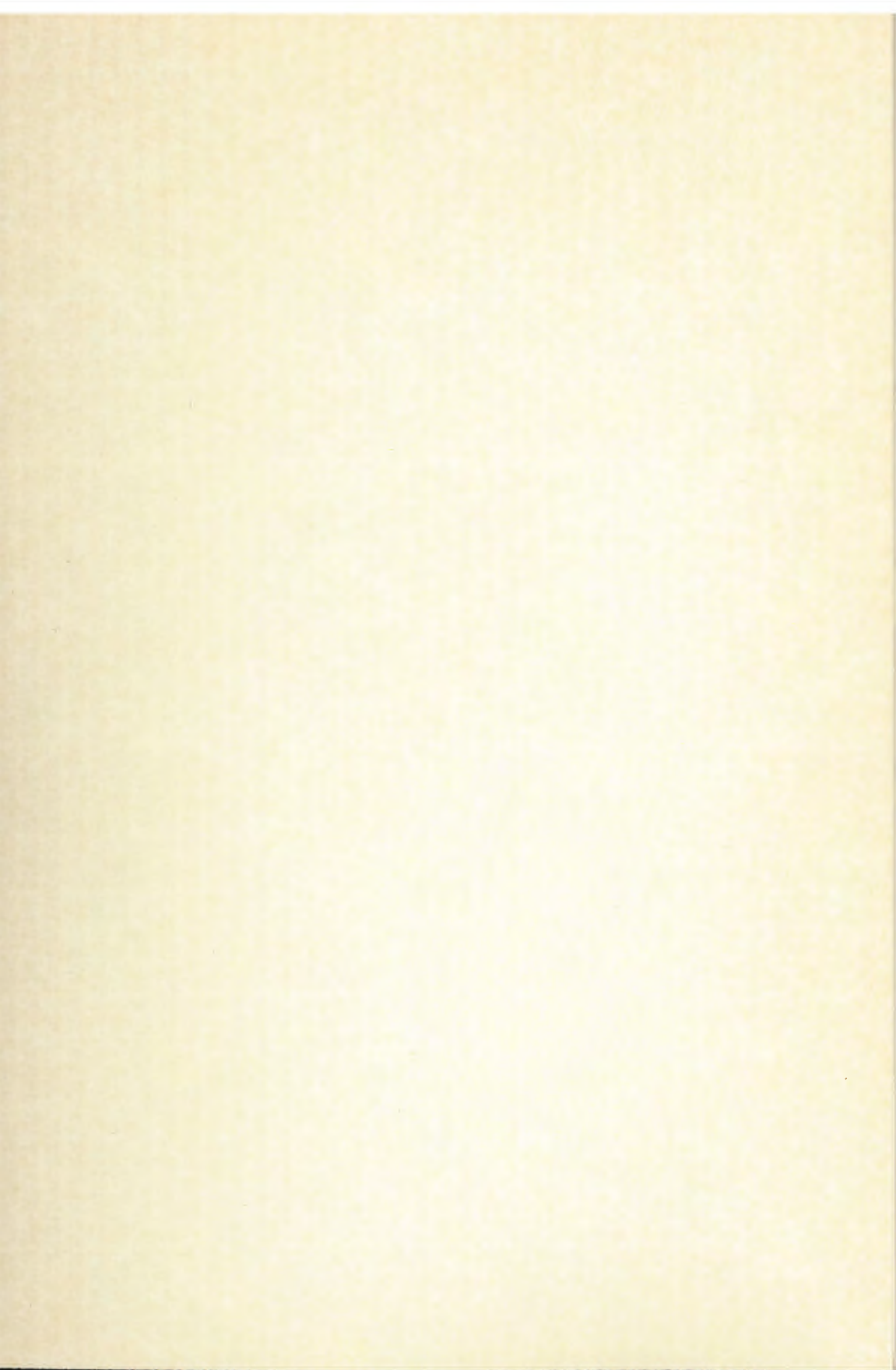




POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

**WSPOMAGANIE INFORMATYCZNE
ROZWOJU
SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO
I OCHRONY ŚRODOWISKA**

Redakcja:
Jan Studziński
Ludostław Drelichowski
Olgierd Hryniewicz





**WSPOMAGANIE INFORMATYCZNE
ROZWOJU
SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO
I OCHRONY ŚRODOWISKA**

Polska Akademia Nauk Instytut Badań Systemowych

Seria: BADANIA SYSTEMOWE

tom 36

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2004

**WSPOMAGANIE INFORMATYCZNE
ROZWOJU
SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO
I OCHRONY ŚRODOWISKA**

Redakcja:

Jan Studziński
Ludosław Drelichowski
Olgierd Hryniewicz

Książka wydana dzięki dotacji KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Książka zawiera wybór artykułów poświęconych omówieniu aktualnego stanu badań w kraju w zakresie rozwoju modeli, technik i systemów zarządzania oraz ich zastosowań w różnych dziedzinach gospodarki narodowej. Wyodrębnioną grupę stanowią artykuły omawiające aplikacyjne wyniki projektów badawczych i celowych KBN.

Recenzenci artykułów:

Dr Lucyna Bogdan
Prof. dr hab. inż. Olgierd Hryniewicz
Dr Grażyna Petriczek
Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak
Dr inż. Jan Studziński



Senia 45187

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2004

Wydawca: Instytut Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa

Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw IBS PAN
tel. 836-68-22

Druk: Zakład Poligraficzny Urzędu Statystycznego w Bydgoszczy
Nakład 110 egz.

ISBN 83-85847-92-8
ISSN 0208-8028

METODY WYZNACZANIA NATĘŻEŃ MAKSYMALNYCH DESZCZY DO PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW ODWADNIANIA*

Paweł Licznar

Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu

Akademia Rolnicza we Wrocławiu

<licznarp@ozi.ar.wroc.pl>

Drainage systems are important part of urban and communication infrastructure. Their proper design, maintains and exploitation should be based on a good knowledge of local precipitation characteristics, mostly maximal precipitation intensities. Derivation of maximal precipitation intensities for different storm durations from the classical paper strips registrations is a very expensive and time-consuming operation. Because of this there is a vivid urge for development of some simplified methods of maximal rainfall intensities estimation. The aim of the research it was to develop the tools for maximal rainfall intensities for times of: 5, 10, 20, 30, 45, 90, 120 and 180 minutes prediction on the base of easy to be established storm parameters, like average storm intensity and its 15- and 60- minute maximal intensity. The study was conducted on the base of precipitation data for 662 storms from meteorological station Wrocław-Swojec. As the result of study simple linear multiple regression models were established. Moreover artificial neural networks - single and double hidden layer perceptron networks were developed for the maximal rainfall intensities prediction for different storm durations. All models and networks performance was very good, and their predicted maximal rainfall intensity values were close or equal to real, observed values. Correlation coefficients of observed versus predicted by established models and networks values of maximal rainfall intensities for different storm durations from 5 to 180 minutes were at the range of 0,94 - 0,99.

Keywords: Rainfall intensity, estimation, linear models, artificial neural networks, drainage systems.

1. Wstęp

Systemy odwodnień są istotnym elementem infrastruktury miejskiej i komunikacyjnej (Błaszczuk i in., 1974). Ich brak lub też wadliwe funkcjonowanie może prowadzić do powstawania znacznych szkód wywołanych między innymi przez: wzrost zagrożenia powodziowego, zmianą poziomu wód gruntowych i znośności gruntów, podtapiania piwnic budynków oraz głęboko położonych

* Praca wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 5 PO6302324.

budowli komunikacyjnych (tuneli, przejść podziemnych itp.) w wyniku deszczów nawalnych (Błaszczyk i in., 1974; Łomotowski i in., 2003). Zadania stawiane przed systemami odwodnień są dosyć szerokie i nie polegają jedynie na szybkim i bezpiecznym odprowadzeniu nadmiaru wód pochodzących z deszczów nawalnych, lecz obejmują także zagadnienia spowalniania spływu powierzchniowego oraz wprowadzania wód opadowych do gruntu w celu magazynowania wody w warstwach wodonośnych na okres suszy (Łomotowski i in., 2003).

Dla realizacji powyższych zadań wymagana jest przede wszystkim właściwa ocena obciążenia systemów odwodnień przez deszcze, zwłaszcza te o dużych natężeniach, w oparciu o które wymiaruje się systemy kanalizacji deszczowej. W zakresie tym niezbędne jest szczegółowe określenie maksymalnych natężeń deszczy nawalnych dla zadanej lokalizacji oraz poznanie częstości występowania i czasów ich trwania (Błaszczyk i in., 1974). Wymaga to prowadzenia stałych rejestracji opadów atmosferycznych jak również ich właściwego opracowania statystycznego.

W praktyce inżynierskiej projektowania systemów odwodnienia w Polsce napotyka się często na barierę braku danych o opadach. Zwykle też jeśli dane takie są dostępne, to ich opracowanie jest bardzo pracochłonne i wymaga bardzo dużych nakładów. Wynika to z faktu, że wieloletnie, dostępne serie pomiarowe pochodzą głównie z klasycznych przyrządów, takich jak np. popularne do dziś w Polsce pluwiografy pływakowe. Zapisy z tych przyrządów mają postać papierowych pasków, a odczyt interesujących parametrów opadu, np. wyszukiwanie chwilowych maksymalnych natężeń dla zadanych czasów wymaga sporego doświadczenia, jest pracochłonne i w końcowym rezultacie obarczone sporym błędem. Tego typu problemy w zakresie opracowywania danych opadowych występują też w innych krajach. W Szwajcarii, gdzie zwraca się dużą uwagę na projektowanie systemów odwodnienia, problem opracowywania danych opadowych próbuje się rozwiązywać na drodze ich konwersji do formatu cyfrowego. Dane w formacie cyfrowym, zgodnym ze standardami zapisu z automatycznych deszczomierzy nowej generacji, są już bardzo łatwe w opracowywaniu, dzięki wyspecjalizowanym aplikacjom komputerowym (Rojek, 2001). Podobne rozwiązanie, polegające na konwersji zapisów klasycznych do formatu cyfrowego, postulował i zastosował w praktyce (Licznar, 2001) w warunkach Polski dla identyfikacji natężeń chwilowych opadów, w procesie wyznaczania wskaźnika erozyjności deszczy. Niestety sam proces konwersji jest również bardzo pracochłonny i kosztowny. W przypadku konwersji klasycznych zapisów pluwiograficznych ze 164 stacji i dla 30 letniego wielolecia w Szwajcarii, koszt operacji został oszacowany na 1.2 milionów franków szwajcarskich (Eicher i Krejci, 1996).

Z uwagi na powyższe uwarunkowania, wydaje się stosowne opracowanie prostej i szybkiej metody przybliżonego wyznaczania chwilowych natężeń maksymalnych deszczy dla potrzeb projektowania systemów odwodnienia,

w oparciu o łatwe do odczytania z klasycznych zapisów pluwiograficznych charakterystyki opadów. Celem podjętych badań była weryfikacja możliwości stosowania dla tego celu zarówno prostych modeli regresji wielorakiej liniowej oraz techniki sztucznych sieci neuronowych.

2. Materiał i metody

Materiałem badawczym użytym w pracy były wartości natężeń średnich i maksymalnych natężeń: 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 i 180 minutowych dla 662 deszczy zanotowanych na stacji meteorologicznej Wrocław-Swojec w wieloletnim okresie 1975-2002. Maksymalne natężenia dla czasów: 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 i 180 minut są standardowo obliczane w procesie opracowywania danych pluwiograficznych dla potrzeb wymiarowania np. systemów kanalizacji deszczowej. Wartości natężeń maksymalnych dla powyższych czasów trwania opadu były stosowane np. przez Błaszczyka dla identyfikacji deszczy miarodajnych dla projektowania systemów kanalizacji deszczowej w Warszawie (Błaszczyk i in., 1974).

Wartości natężeń średnich i maksymalnych natężeń dla czasów 15 i 60 minut przyjęto za dane wejściowe dla opracowanych modeli regresji wielorakiej oraz sztucznych sieci neuronowych. Uczyniono tak, gdyż wartości te są stosunkowo łatwe do określenia w oparciu o bezpośrednią analizę pasków pluwiograficznych. W dalszym etapie badań te trzy wartości natężeń opadu były podstawą dla określania wartości maksymalnych natężeń dla innych czasów, takich jak: 5, 10, 20, 30, 45, 90, 120 i 180 minut.

W pierwszym etapie badań z wykorzystaniem programu STATISTICA 6.1 opracowano modele regresji wielorakiej liniowej, metodą najmniejszych kwadratów. W drugim etapie badań opracowano 3 sztuczne sieci neuronowe. Były to perceptrony wielowarstwowe (sieci MLP) o jednej lub dwóch warstwach ukrytych. Ogólnie sztuczne sieci neuronowe (często nazywane neuropodobnymi) są nowym narzędziem informatycznym przeznaczonym do przetwarzania różnych sygnałów i do analizy różnych danych (Licznar, 2001; Tadeusiewicz, 1993). Zakres ich stosowania jest bardzo szeroki, a podstawowe informacje o ich budowie można odnaleźć w dosyć bogatej literaturze krajowej [7,9,10]. Do grona sieci neuropodobnych zalicza się kilka typów sieci, spośród których dużą popularnością cieszą się zwłaszcza sieci MLP. Ich zaletą jest ich zwarta budowa oraz szeroka dostępność programów do ich tworzenia. Z drugiej strony przy ich stosowaniu mogą występować problemy z bardzo powolnym procesem uczenia lub też jego niepowodzeniem (Tadeusiewicz, 1993). Dla potrzeb prowadzonych badań sztuczne sieci neuronowe zostały zbudowane, a wyniki ich funkcjonowanie przeanalizowane, przy wykorzystaniu pakietu Sieci Neuronowe 6PL, do wspomnianego już wcześniej, popularnego programu STATISTICA firmy StatSoft.

Liczba neuronów w warstwie wejściowej tworzonych sieci wynosiła 3. Neuronom tym były prezentowane wartości wejściowe, natężeń średnich i maksymalnych natężeń dla czasów 15 i 60 minut. W ostatniej warstwie wszystkich sieci znajdowało się 8 neuronów, ponieważ na wyjściu sieci miano otrzymywać prognozy wartości maksymalnych natężeń dla czasów: 5, 10, 20, 30, 45, 90, 120 i 180 minut.

Uczenie sieci perceptronowych miało charakter iteracyjny, dwufazowy. W fazie pierwszej (dla pierwszych 100 cykli uczenia) zastosowano uczenie wsteczną propagacją, z umiarkowaną szybkością uczenia, otrzymując ogólną zbieżność. W fazie drugiej (dla cykli od 101 do końca uczenia) uruchomiono metodę gradientów sprzężonych – algorytm znacznie silniejszy obliczeniowo (szybszy), który po wstępnej fazie wolniejszej wstecznej propagacji nie był już narażony na problemy ze zbieżnością.

W celu uczenia sieci oraz kontroli ich funkcjonowania dokonano wstępnie podziału zbioru na trzy podzbiory (uczący, walidacyjny oraz testowy). Podział ten miał charakter losowy, jednakże założono, że liczebność zbioru uczącego powinna wynosić 331 przypadków, a dla podzbiorów walidacyjnego i testowego odpowiednio po 166 i 165 przypadków każdy. Przeprowadzony podział był niezbędny dla właściwego przeprowadzenia procesu uczenia sieci i miał na celu zapobieżenie zatracaniu zdolności generalizacyjnych przez sieci w procesie wydłużonego uczenia, polegającym jedynie na prostym zapamiętywaniu prezentowanych wzorców.

Zmienne przed podaniem ich na wejście sieci były poddawane konwersji. Zastosowano konwersję minimax, w czasie której wartości zmiennych liczbowych były przeskalowane liniowo tak, aby zapewnić właściwą czułość dla wszystkich wejść sieci.

3. Wyniki i dyskusja

Wynikiem pierwszego etapu badań było opracowanie 8 równań liniowych regresji wielorakiej, na obliczanie maksymalnych natężeń deszczy dla czasów: 5, 10, 20, 30, 45, 90, 120 i 180 minut (I_{max_5} , $I_{max_{10}}$, $I_{max_{20}}$, $I_{max_{30}}$, $I_{max_{45}}$, $I_{max_{90}}$, $I_{max_{120}}$, $I_{max_{180}}$), w oparciu o wartości natężeń średnich (I_u) i maksymalnych natężeń dla czasów 15 i 60 minut ($I_{max_{15}}$, $I_{max_{60}}$). Równania te są zestawione poniżej, a wartości natężeń deszczy w nich użyte są wyrażone w $dm^3/(s \cdot ha)$:

$$I_{max_5} = 2.33120936 - 1.3053074 \cdot I_u + 1.72418835 \cdot I_{max_{15}} - 0.04969105 \cdot I_{max_{60}}$$

$$I_{max_{10}} = 0.5843170262 - 0.52017494 \cdot I_u + 1.20856495 \cdot I_{max_{15}} - 0.107490390 \cdot I_{max_{60}}$$

$$I_{max_{20}} = 0.32132068 + 0.359281919 \cdot I_u + 0.836158779 \cdot I_{max_{15}} - 0.01997991 \cdot I_{max_{60}}$$

$$I_{max_{30}} = 0.19873433 + 0.615345736 \cdot I_u + 0.540821861 \cdot I_{max_{15}} + 0.152059898 \cdot I_{max_{60}}$$

$$I_{\max_{45}} = 0.03952920 + 0.662366816 \cdot I_a + 0.290717859 \cdot I_{\max_{15}} + 0.357570740 \cdot I_{\max_{60}}$$

$$I_{\max_{90}} = 0.177456764 + 0.263555035 \cdot I_a - 0.03899299 \cdot I_{\max_{15}} + 0.767623516 \cdot I_{\max_{60}}$$

$$I_{\max_{120}} = 0.242690925 + 0.405068300 \cdot I_a - 0.05654335 \cdot I_{\max_{15}} + 0.628532110 \cdot I_{\max_{60}}$$

$$I_{\max_{180}} = 0.176354340 + 0.475160231 \cdot I_a - 0.06014961 \cdot I_{\max_{15}} + 0.478112339 \cdot I_{\max_{60}}$$

Przewidywane wartości maksymalnych natężeń z opracowanych prostych modeli liniowych były bardzo zbliżone do wartości obserwowanych, o czym najlepiej świadczy otrzymane podsumowania analiz regresji (tab. 1). Wartości współczynnika korelacji dla poszczególnych zmiennych zależnych wahały się w zakresie od 0,94 dla $I_{\max_{5}}$ do około 0,99 w przypadku $I_{\max_{10}}$, $I_{\max_{20}}$ oraz $I_{\max_{90}}$. Najlepsze rezultaty przybliżonego wyznaczania wartości maksymalnych natężeń deszczy były więc uzyskiwane dla czasów bliskich czasom 15 i 60 minut, dla których maksymalne natężenia były podawane na wejściu modeli.

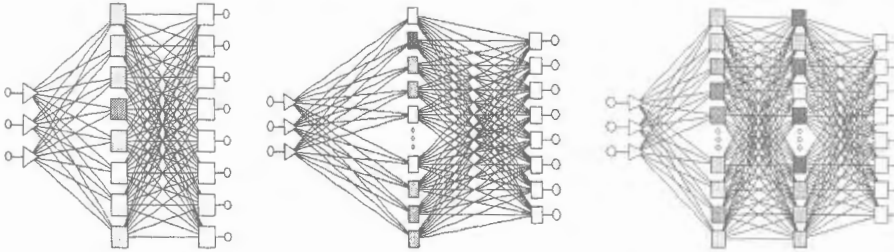
Tablica 1. Podsumowanie analiz regresji wielorakiej (wartości: współczynnika korelacji - R, sumy kwadratów błędu – SS, liczby stopni swobody – df, średniego błędu kwadratowego – MS, testu F i poziomu istotności p)

Zmienna zależna	Wielokr. R	SS Model	df Model	MS Model	SS Reszta	df Reszta	MS Reszta	F	p
$I_{\max_{5}}$	0.941070	1221590	3	407196.7	157782.6	658	239.7912	1698.13	0.00
$I_{\max_{10}}$	0.990173	680677	3	226892.3	13577.6	658	20.6347	10995.66	0.00
$I_{\max_{20}}$	0.994537	347441	3	115813.8	3827.7	658	5.8172	19908.74	0.00
$I_{\max_{30}}$	0.981145	192797	3	64265.7	7481.2	658	11.3696	5652.41	0.00
$I_{\max_{45}}$	0.974036	101764	3	33921.3	5497.6	658	8.3551	4059.96	0.00
$I_{\max_{90}}$	0.986613	33780	3	11260.0	922.9	658	1.4026	8028.05	0.00
$I_{\max_{120}}$	0.970492	22151	3	7383.6	1367.5	658	2.0782	3552.83	0.00
$I_{\max_{180}}$	0.958223	13214	3	4404.8	1177.4	658	1.7893	2461.71	0.00

Rezultatem drugiego etapu badań były trzy sieci neuronowe służące predykcji wartości. Były to sieci perceptronowe o pojedynczej warstwie ukrytej z 8 (sieć 1) lub 12 neuronami (sieć 2) oraz o podwójnej warstwie ukrytej, po 12 neuronów każda (sieć 3). Architektura tych sieci jest schematycznie przedstawiona na rys. 1. W przypadku wszystkich neuronów w trzech otrzymanych sieciach, funkcją agregującą była funkcja liniowa. Podobnie funkcja liniowa była używana jako funkcja aktywacji dla warstw wejściowych i wyjściowych sieci. Natomiast dla warstw ukrytych jako funkcja aktywacji neuronów stosowana była funkcja hiperboliczna.

Proces uczenia sieci 2 i 3 trwał 117 cykli i jak już wspomniano składał się z dwóch etapów: 100 cykli uczenia metod propagacji wstecznej oraz 17 cykli uczenia przy pomocy algorytmu gradientów sprzężonych. Proces uczenia sieci

pierwszej był nieco dłuższy i trwał 154 cykle (100 cykli propagacji wstecznej oraz 54 cykle uczenia metodą gradientów sprzężonych).



Rysunek 1. Schematy opracowanych sztucznych sieci neuronowych:
sieć 1 - MLP 3:3-8-8:8, sieć 2 - MLP 3:3-12-8:8, sieć 3 - MLP 3:3-12-12-8:8

Wyniki działania sztucznych sieci neuronowych były w pełni zadawalające, o czym świadczą statystyki regresji rzeczywistych i prognozowanych wartości natężeń maksymalnych deszczy dla czasów: 5, 10, 20, 30, 45, 90, 120 i 180 minut zawarte w tab. 2. O dobrej jakości prognoz otrzymywanych świadczy także przykładowa prezentacja graficzna na rys. 2, ich wartości otrzymywanych z sieci 3 na tle rzeczywistych, obserwowanych wartości natężeń maksymalnych deszczy dla czasu 10 minut. Na rys. 2 można także zauważyć, że prognozy w obrębie podzbiorów: uczącego, walidacyjnego i testowego były o bardzo zbliżonej jakości, wszystkie punkty układały się wzdłuż linii równania $y = x$ (prosta o nachyleniu 1:1) lub jej bliskim sąsiedztwie.

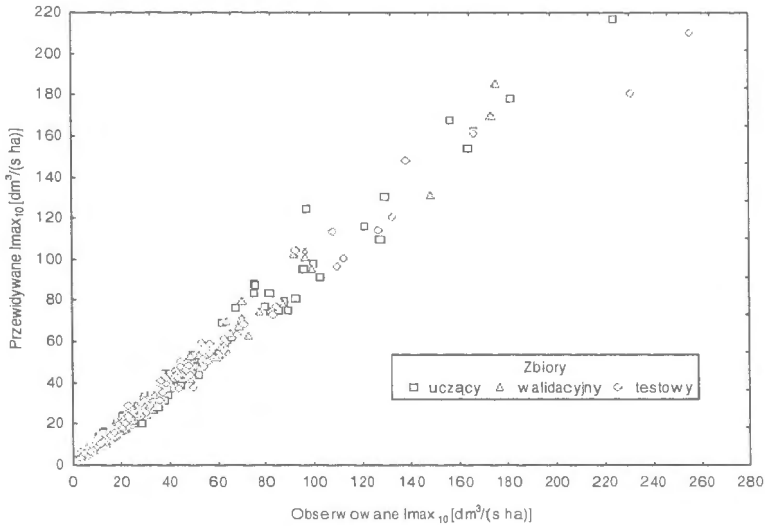
Uzyskane współczynniki korelacji dla prognoz wartości maksymalnych natężeń chwilowych deszczy były w przypadku wszystkich trzech sieci bardzo wysokie. Wahaly się one w zakresie od 0,94 do 0,99. Najmniejszą wartość współczynnika korelacji ($r = 0,943$), a zarazem największą wartość średniego błędu bezwzględnego (7,05), stwierdzono w przypadku prognozy maksymalnego natężenia deszczu dla 5 minut, pochodzącej z sieci 1. Niemniej jednak prognozy dla tego czasu trwania opadu z sieci 2 i 3 nie były znacząco lepsze, współczynnik ich korelacji z wartościami obserwowanymi wynosił około 0,95, a wartości średniego błędu bezwzględnego były tylko nieznacznie mniejsze i wynosiły około 6,2. Także dla innych, dłuższych czasów trwania deszczy prognozy natężeń opadów, otrzymywane z poszczególnych sieci były o bardzo zbliżonej jakości. Budowa sieci, a konkretnie zwiększenie liczby warstw ukrytych oraz liczby neuronów w tych warstwach, nie wpływały znacząco na poprawę rezultatów predykcji. Przykładowo stwierdzone dla I_{max90} wartości współczynników korelacji wartości prognozowanych z poszczególnych sieci i obserwowanych nie były prawie całkowicie zróżnicowane i wynosiły $r = 0,986 - 0,987$. Natomiast wraz ze wydłużaniem się czasu trwania opadu widoczny był duży spadek co do

bezwzględnej wartości średniego błędu i średniego błędu bezwzględnego. Na przykład średni błąd w przypadku prognoz sieci 2 wynosił dla natężenia maksymalnego dla czasu 5 minut około: -0.53, a dla czasu 90 minut: -0.008. Podobnie średni błąd bezwzględny małał niemal dziesięciokrotnie z wartości 6,2 dla czasu 5 minut do zaledwie 0.63 dla czasu 90 minut. Zjawisko to w znacznej mierze było warunkowane przez sam szybki, naturalny spadek obserwowanych wartości natężeń maksymalnych deszczy przy wydłużaniu się analizowanego czasu opadu. Przykładowo średnia wartość natężenia maksymalnego dla czasu 5 minut w obrębie analizowanych 662 deszczy wynosiła około 33.6 dm³/(s·ha), a dla czasu 90 minut wynosiła już tylko 7.32 dm³/(s·ha).

Tablica 2. Statystyki regresji rzeczywistych i prognozowanych przez opracowane sztuczne sieci neuronowe wartości maksymalnych natężeń deszczy dla czasów: 5, 10, 20, 30, 45, 90, 120 i 180 minut.

Prognoz. wartość	Sieć 1 - MLP 3:3-8-8			Sieć 2 - MLP 3:3-12-8:8			Sieć 3 - MLP 3:3-12-12-8:8		
	Średni błąd	Sr. błąd bezwz.	Korelacja	Średni błąd	Sr. bł. bezwz.	Korelacja	Średni błąd	Sr. bł. bezwz.	Korelacja
Imax ₅	-0.48866	7.04734	0.94301	-0.53415	6.24944	0.94996	-0.85518	6.21147	0.95272
Imax ₁₀	-0.23586	2.03897	0.99237	-0.20261	2.15645	0.99058	-0.60406	2.19089	0.99187
Imax ₂₀	-0.08899	1.68106	0.99196	-0.05769	1.03905	0.99585	0.01235	1.48688	0.98888
Imax ₃₀	-0.02542	2.07023	0.97394	-0.02934	1.45117	0.98486	-0.02302	1.45856	0.98646
Imax ₄₅	-0.06011	1.73966	0.96701	-0.02472	0.80401	0.99086	-0.00350	1.08819	0.98749
Imax ₉₀	-0.042253	0.630484	0.986353	-0.008337	0.627443	0.986548	0.036692	0.661642	0.986970
Imax ₁₂₀	-0.088871	0.783425	0.971550	-0.093789	0.772343	0.973057	-0.003969	0.764055	0.973955
Imax ₁₈₀	-0.046351	0.813720	0.958260	-0.046344	0.807197	0.959635	0.006290	0.803253	0.961367

Porównanie rezultatów przybliżonego wyznaczania chwilowych natężeń maksymalnych deszczy przy pomocy prostych modeli regresji wielorakiej liniowej oraz sztucznych sieci neuronowych nie wskazuje na istotne zróżnicowanie jakości otrzymywanych wyników. Wartości współczynników korelacji zawarte w tab. 1 i 2 właściwie nie odbiegają od siebie. Przykładowo wartość współczynnika korelacji wynoszącą w przybliżeniu $r=0.99$, stwierdzono dla regresji wartości obserwowanych maksymalnych natężeń deszczy i prognozowanych, zarówno ze sztucznych sieci neuronowych jak i z prostego modelu liniowego. Podobnie jak w przypadku modeli regresji wielorakiej, najlepsze rezultaty prognozowania wartości maksymalnych natężeń deszczy przez sieci neuronowe były uzyskiwane również dla czasów bliskich czasom 15 i 60 minut, dla których maksymalne natężenia były podawane na wejściu sieci.



Rysunek 2. Obserwowane i prognozowane przez sieć 3 wartości natężeń maksymalnych dla czasu 10 minut

3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują na możliwość uproszczenia procedur opracowywania danych pluwiograficznych dla potrzeb projektowania systemów odwodnienia. Wskazują one na możliwość stosowania w tym zakresie prostej i szybkiej metody przybliżonego wyznaczania chwilowych natężeń maksymalnych deszczy, w oparciu o łatwe do ustalenia wartości natężeń średnich i maksymalnych natężeń dla czasów 15 i 60 minut. Metoda ta może bazować zarówno na zestawie prostych równań liniowych regresji wielorakiej jak i technice sztucznych sieci neuronowych typu MLP o pojedynczej lub podwójnej warstwie ukrytej. Zaletą modeli liniowych regresji wielorakiej jest w tym zakresie ich prostota i możliwość stosowania nawet bez komputera, natomiast opracowane sztuczne sieci neuronowe pozwalają na bardzo szybkie, jednoczesne otrzymywanie wartości natężeń dla wszystkich 8 poszukiwanych czasów po zaprezentowaniu na wejściu wartości natężenia średniego deszczu i maksymalnych natężeń dla czasów 15 i 60 minut.

Przed szerszym wdrożeniem do praktyki inżynierskiej, proponowanych metod przybliżonego wyznaczania chwilowych natężeń maksymalnych deszczy, koniecznym wydaje się zlokalizowanych w innych częściach kraju i o nieco innych uwarunkowaniach klimatycznych.

Podziękowanie

Autor pragnie podziękować Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej za wsparcie badań w postaci stypendium krajowego dla młodych naukowców.

Literatura

- Błaszyk W., Roman M., Stamatello H. (1974) *Kanalizacja*. Arkady, Warszawa.
- Edel R. (2002) *Odwodnienie dróg*. WKŁ, Warszawa.
- Eicher C., Krejci V. (1996) A new rainfall data system for urban hydrology in Switzerland. *Atmospheric Research*, **42**, 177-198.
- Licznar P. (2001) Automatyzacja przetwarzania danych pluwiograficznych w procesie wyznaczania wskaźnika erozyjności deszczy. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis*, 217(87), 125-128.
- Licznar P. (2001) Sieci neuronowe w modelowaniu procesów meteorologicznych. w: *Wybrane zagadnienia z zakresu pomiarów i metod opracowania danych automatycznych stacji meteorologicznych* (J. Lomotowskiego, M.S. Rojka, eds.), Wrocław, *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, Monografie XXV*, 428, 56-79.
- Lomotowski J., Burszta-Adamiak E., Kozłowska E., Licznar P. (2003) Wybrane zagadnienia projektowania kanalizacji deszczowej. *Materiały V Zjazdu Kanalizatorów Polskich, Polkan '03*, Łódź, 20-21 listopada 2003, 39-54.
- Osowski S. (2000) *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji*. Ofic. Wyd. PW, Warszawa.
- Rojek M. (2001) Główne rodzaje automatycznych stacji meteorologicznych w: *Wybrane zagadnienia z zakresu pomiarów i metod opracowania danych automatycznych stacji meteorologicznych* (J. Lomotowskiego, M.S. Rojka, eds.), Wrocław, *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, Monografie XXV*, 428, 56-79.
- Tadeusiewicz R. (1993) *Modele systemów tworzone z wykorzystaniem sieci neuropodobnych. Automatyka Sterowanie Zarządzanie*. IBS PAN, Warszawa, 445-463.
- Tadeusiewicz R. (1993) *Sieci neuronowe*. Akadem. Ofic. Wyd., Warszawa.

IBS PAN *Seria*

45187

Bibl. podręczna

ISSN 0208-8028

ISBN 83-85847-92-8

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl**