

PROGNOZOWANIE SUM PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

J. Trajer, D. Czekalski

Katedra Podstaw Inżynierii SGGW, Warszawa

STRESZCZENIE

W artykule zaprezentowano metodę prognozowania sum napromienienia słonecznego płaszczyzny pochyłej z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej. Wykorzystano bazę danych w postaci dobowych sum ze stanowiska pomiarowego SGGW – Ursynów. Opracowany wcześniej kaskadowy model, pod względem danych wejściowych wzbogacono o skwantyfikowaną prognozę stopnia zachmurzenia. Uzyskano znaczącą poprawę jakości modelu.

WPROWADZENIE - PROGNOZOWANIE POGODY, A SUMY PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Warunki atmosferyczne można prognozować stosując różne metody. Trafność prognozy zależy od doświadczenia synoptyka, ilości danych jakimi dysponuje, złożoności sytuacji pogodowej oraz od długości okresu przewidywania. Istnieje kilka metod prognozowania pogody, stosowanych zależnie od interesującego elementu i przeznaczenia prognozy:

- metoda „kontynuacji”, oparta jest na założeniu, że pogoda w okresie czasu na jaki jest sporządzana prognoza pozostanie taka sama jak w momencie sporządzania prognozy. Taka metoda może być stosowana skutecznie na krótkie terminy, kiedy elementy pogodowe zmieniają się bardzo wolno;

- metoda „trendu”, polega na obliczaniu terminu nadejścia przemieszczającego się zjawiska atmosferycznego, przy założeniu, że tempo i kierunek nie ulegną zmianie. Chodzi o fronty atmosferyczne, obszary zachmurzenia czy też opadów itp. Także tą metodę stosuje się do prognozowania krótkoterminowego, raczej rzędu kilku godzin;

- metoda „klimatyczna”, podstawą prognozy jest historyczna, wieloletnia baza danych klimatycznych. Zakłada się, że w danym okresie warunki atmosferyczne będą typowe, zbliżone do najczęściej spotykanych w ubiegłych latach. Metoda ta jest zawodna gdy sytuacja synoptyczna jest nietypowa;

- metoda „analogii”, w tej metodzie aktualna sytuacja synoptyczna porównywana jest z podobną, zanotowaną w przeszłości. Zakłada się, że pogoda w dniu prognozy będzie się kształtować podobnie. Trudność stosowania tej metody wynika z jednej strony z ograniczonej bazy danych historycznych, a z drugiej z nieskończonej liczby kombinacji parametrów meteorologicznych opisujących pogodę. Wraz ze stale wzbogacaną bazą danych meteorologicznych poprawia się trafność prognoz metodą analogii;

- metoda „numeryczna”, wykorzystuje się w niej zestawy programów z aplikacjami modeli prognostycznych do których wprowadza się aktualne dane meteorologiczne z całego kontynentu. Po otrzymaniu wyników działania tych programów, synoptycy analizują wzajemne ich oddziaływanie w celu przedstawienia ostatecznej prognozy pogody. Prognoza numeryczna warunków atmosferycznych zawodzi tylko gdy dane wejściowe opisujące stan początkowy są niekompletne. Numeryczne prognozowanie pogody jest bardzo skuteczne w przypadku prognozy krótkoterminowej w porównaniu z uprzednio wymienionymi.

Ośrodki meteorologiczne przygotowujące prognozy pogody używają w zakresie promieniowania słonecznego pojęć (tab. 1), które nie dają się wprost wyrazić w postaci liczbowej, to jest spodziewanych sum napromienienia. Tylko w aerologii zachmurzenie kwantyfikuje się - wielkością pokrycia sklepienia niebieskiego przez chmury wyrażaną w procentach (dokładnie jako ósme części całości). Jeżeli chmury całkowicie pokrywają niebo, zachmurzenie przyjęto oznaczać cyfrą 8, przy całkowicie bezchmurnym niebie - cyfrą 0. Dodatkowo cyfra 9 jest zarezerwowana dla oznaczenia przypadku, gdy zachmurzenia nie można określić z powodu np. mgły, smogu itp.

Tabela 1. Klasyfikacja zachmurzenia

Klasa zachmurzenia	Opis
Bezchmurne	Nie ma chmur, zachmurzenie 0%
Zachmurzenie małe	Chmury zajmują do 20% całej powierzchni
Zachmurzenie umiarkowane	Chmury zajmują od 21% do 79% całej powierzchni
Zachmurzenie duże	Chmury zajmują więcej niż 80% całej powierzchni

Prognozy meteorologiczne, zgodnie ze swoim przeznaczeniem, nie przewidują określania spodziewanych sum promieniowania słonecznego w danym okresie. Bez wątplenia sumy promieniowania słonecznego (godzinowe, dobowe, dekadowe) w największym stopniu determinują wydajność cieplną słonecznych systemów grzewczych. Prognozowanie sum promieniowania jest istotne w zagadnieniach sterowania systemami grzewczymi, a nabiera szczególnego znaczenia gdy strumienie energii pochodzą z różnych źródeł, co ma miejsce w coraz częściej wdrażanych hybrydowych systemach z segmentem słonecznym.

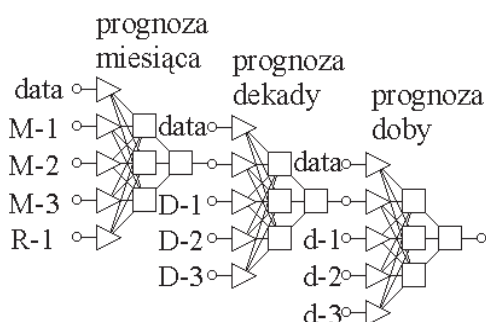
METODA PROGNOZOWANIA SUM PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Rozwijanym w ostatnich latach podejściem do prognozowania przebiegu różnych zjawisk, gdy istnieje problem z tworzeniem ich modeli matematycznych, jest wykorzystanie specjalnej metody statystycznej - sztucznych sieci neuronowych bazujących na zestawie danych rzeczywistych (Ossowski, 2000).

W Katedrze Postaw Inżynierii SGGW w pierwszej fazie badań, której wyniki opublikowano w (Trajer, Czekalski, 2005) podjęto próbę prognozowania sum promieniowania słonecznego w oparciu o własną bazę danych obejmującą wyniki pomiarów dobowych sum promieniowania całkowitego płaszczyzny nachylonej z lat 1995 – 2000 (Czekalski i in., 2005). Instrumentem użytym do realizacji celu była sieć neuronowa typu *Perceptron wielowarstwowy*. Oprogramowanie do sieci zawarte jest w programie Statistica Neural Networks v.6.1. Bazę danych podzielono na zbiór uczący oraz zbiór weryfikacyjny. Prognozę sporządzano jako: długookresową – miesięczną (30 dni naprzód), średniookresową – dekadową (10 dni naprzód), oraz krótkookresową – dobową. Następnie opracowano, nowatorski pod względem pomysłu rozwiązania problemu, model kaskadowy (rys. 1) z wieloetapowym wykorzystaniem analogicznych sieci neuronowych:

- w I etapie sieć neuronowa jest uczona prognozować miesięczną sumę napromienienia i za dane wejściowe przyjmuje numer dnia roku, sumy napromienienia z trzech miesięcy poprzedzających – pierwszego M1, drugiego M2 i trzeciego M3 oraz sumę dla całego roku poprzedzającego R1;
- w II etapie sieć neuronowa jest uczona prognozować dekadową sumę napromienienia i za dane wejściowe przyjmuje numer dnia roku, sumy napromienienia z trzech dekad poprzedzających – pierwszej D1, drugiej D2 i trzeciej D3, oraz wynik prognozy miesięcznej z I etapu;
- w III etapie sieć neuronowa jest uczona prognozować dobową sumę napromienienia i za dane wejściowe przyjmuje numer dnia roku, sumy napromienienia z trzech dni poprzedzających – pierwszej D1, drugiej D2 i trzeciej D3, oraz wynik prognozy dekadowej z II etapu.

W drugiej fazie badań wykorzystano dane w postaci prognozowanych dla Warszawy przez Instytut Meteorologii Gospodarki Wodnej średniego dobowego zachmurzenia. Zachmurzenie prognozowane było w skali od 0 do 8. Wyznaczono korelacje pomiędzy skwantyfikowaną prognozą zachmurzenia, a wielkościami sum promieniowania występującymi w dniach prognozy. Celem tej fazy badań była ocena możliwości przewidywania sum promieniowania tylko w oparciu o prognozę meteorologiczną.



Rys. 1. Schemat modelu prognozowania sum napromienienia słonecznego (Trajer, Czekalski, 2005)

W trzeciej fazie badań wzbogacono dane wejściowe z III etapu prognozy (dobowych sum promieniowania) w ten sposób, że dołączono do nich prognozowany skwantyfikowany stopień zachmurzenia (Kozłowski, 2007).

Jakość modeli oceniano za pomocą statystyk regresyjnych (współczynnik korelacji i iloraz odchylenia błędów). Weryfikację modeli neuronowych przeprowadzono, zgodnie z typową procedurą, na zbiorze danych testujących, które nie były używane w procesie uczenia. Jako główny parametr oceny modelu obliczano globalny względny błąd aproksymacji $\delta(D)_{gl}$:

$$\delta(D)_{gl} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - d_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}}$$

gdzie:

- n – liczba prognozowanych miesięcy, dekad i dób,
- y – wartość rzeczywistych sum napromienienia,
- d – wartość prognozowanych sum napromienienia.

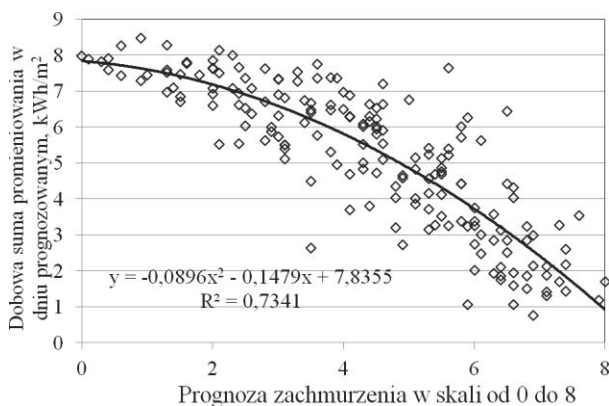
WYNIKI BADAŃ

W tabeli 2 scharakteryzowano jakość modelu uzyskanego w pierwszej fazie badań. Parametry sieci dla etapu prognozowania sum miesięcznych promieniowania zaliczają się do kategorii dobrych, a błąd prognozy wyniósł 21,9%. Jakość modelu wyraźnie pogarsza się w III etapie prognozy dotyczącej sum dobowych. Weryfikacja empiryczna modelu nie dała zadowalających wyników. Błąd prognozy krótkoterminowej osiągnął 41,8%.

Tabela 2. Parametry modelu w pierwszej fazie badań (Trajer, Czekalski, 2005)

Etap w modelu prognozy	Parametry sieci		Weryfikacja
	korelacja	iloraz odchyień	błąd prognozy,%
I – miesiąc	0,96	0,29	21,9
II – dekada	0,93	0,36	23,8
III – doba	0,78	0,63	41,8

W drugiej fazie badań wyznaczano korelację pomiędzy skwantyfikowaną dobową prognozą zachmurzenia, a zmierzoną w dniu prognozy sumą promieniowania. w poszczególnych miesiącach uzyskano korelację od 0,80 do 0,86 (rys. 2). Prognoza zachmurzenia jest zatem cenną informacją, która jako dodatkowa dana wejściowa w modelu neuronowym powinna poprawić jego jakość w etapie III – prognozy dobowej.



Rys. 2. Zależność między dobową prognozą zachmurzenia, a sumą promieniowania dla miesiąca maja

W trzeciej fazie badań model z fazy pierwszej uzupełniono o daną wejściową w postaci prognozy zachmurzenia. Uzyskane dla III etapu prognozy wartości współczynnika korelacji 0,92 i ilorazu odchyłek błędu 0,39 świadczą o zdecydowanej poprawie jakości modelu i jego stosunkowo dobrych własnościach. Średni globalny błąd względny dla całego roku wyniósł 23,2%. w tabeli 3 podano ocenę prognoz dla okresów miesięcznych w postaci wielkości globalnych błędów względnych. Najniższe błędy prognozy stwierdzono w czerwcu i maju odpowiednio 15,2 oraz 19,1%. Także w kwietniu, lipcu i sierpniu błędy były niższe od globalnego. Najgorzej wypadła prognoza dla miesięcy zimowych, gdy błąd sięgał poziomu 50%.

Tabela 3. Miesięczne błędy prognozy sum dobowych promieniowania według zmodyfikowanego modelu

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI
błąd, %	43,9	53,9	28,5	21,5	19,1	15,2
Miesiąc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
błąd, %	22,1	20,0	27,1	31,8	42,8	49,1

WNIOSKI

Prognozowanie dobowych sum promieniowania słonecznego jest zadaniem trudnym, dotyczy bowiem, wprawdzie procesu deterministycznego, ale z silnymi zakłóceniami. Kaskadowy model prognostyczny z wieloetapowym wykorzystaniem analogicznych sieci neuronowych oparty na 6-letniej bazie danych pozwolił przewidywać z dobrą precyzją sumy miesięczne promieniowania. Jednak ulepszenia wymagał etap prognozy dotyczący sum dobowych. Znaczącą poprawę jakości modelu prognostycznego osiągnięto po uwzględnieniu w modelu prognozy meteorologicznej stopnia zachmurzenia, jako dodatkowej danej wejściowej. Globalny błąd prognozy sum dobowych z wartości 41,8% uzyskanej w pierwszej fazie badań uległ poprawie osiągając 23,2%. Szczegółowa analiza weryfikacji modelu wskazuje, że prognozę wyższej precyzji (błąd 15÷20%) otrzymuje się dla miesięcy od kwietnia do sierpnia. Natomiast dla miesięcy zimowych od listopada do lutego najtrudniej jest przewidzieć dobowe sumy promieniowania, gdyż błąd przekracza wówczas 40%.

LITERATURA CYTOWANA:

- Czekalski D., Chochowski A., Obstawski P., 2005, *Pomiary pyranometryczne na stanowisku SGGW – Ursynów*, Polska Energetyka Słoneczna nr 2.
- Kozłowski K., 2007, *Prognozowanie dzienne napromieniowania słonecznego z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych*, Praca magisterska SGGW w Warszawie.
- Ossowski S., 2000, *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji*, OW Politechniki Warszawskiej.
- Trajer J., Czekalski D., 2005, *Prognozowanie sum napromienienia słonecznego dla potrzeb energetyki słonecznej*, Inżynieria Rolnicza nr 8/68.