

PROGNOZOWANIE SUM NAPROMIENIENIA SŁONECZNEGO DLA POTRZEB ENERGETYKI SŁONECZNEJ

Streszczenie

Prognozowanie sum napromienienia słonecznego określonych płaszczyzn może być wykorzystywane w sterowaniu pracą hybrydowych systemów pozyskujących aktywnie energię słoneczną i systemów biernych (w budownictwie). Opracowano metodę prognozowania sum napromienienia słonecznego płaszczyzny pochyłej z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej. Wykorzystano bazę danych dobowych sum napromienienia słonecznego ze stanowiska pomiarowego SGGW – Ursynów z okresu 1995-2000. Opracowano koncepcję kaskadowego modelu neuronowego, w którym prognozy krótkoterminowe wykorzystują wyniki z modelu średnioterminowego, a średnioterminowe z długoterminowego. Model poddano weryfikacji.

Słowa kluczowe: prognoza, suma napromienienia słonecznego, sztuczne sieci neuronowe, energetyka słoneczna

Wykaz oznaczeń

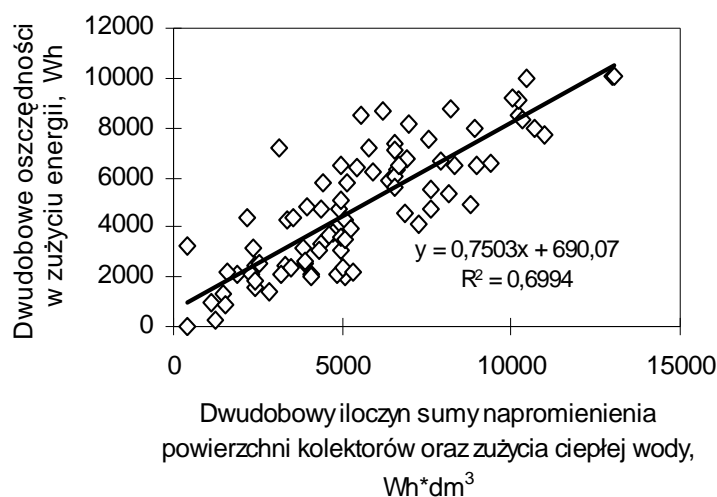
n – liczba dni (liczba prognozowanych miesięcy, dekad i dób)
 y – wartość rzeczywistych okresowych sum napromienienia
 d – wartość prognozowanych okresowych sum napromienienia

Wprowadzenie

Na etapie projektowania słonecznych systemów grzewczych jedną z podstawowych informacji jest spodziewany przebieg napromienienia słonecznego płaszczyzn kolektorów. Wiedza na temat zmienności warunków, w szerszym kontekście, meteorologicznych jest niezbędna w różnych dziedzinach, a szczególnie do obliczania zużycia energii w rocznym cyklu eksploatacji budynków. Standaryzowanie zmiennych meteorologicznych, w tym sum napromienienia słonecznego, wymaga opracowania *Typowego Roku Meteorologicznego* [Kossecka i in. 2003]. Stanowi on zestaw typowych miesięcy, których wyboru dokonuje się w kilku krokach, w wyniku analizy statystycznej charakterystyk dobowych wybranych zmiennych pogodowych.

Na użytkową wydajność grzewczą wdrożonego systemu słonecznego wpływają zasadniczo dwie zmienne wymuszające: dobową sumę napromienienia płaszczyzny kolektorów oraz stopień obciążenia systemu, na przykład w postaci dobowego rozbioru ciepłej wody. Przykładowo związek pomiędzy jednostkową dobową sumą napromienienia słonecznego oraz dobową produkcją energii wyznaczony dla systemu grzewczego z kolektorami słonecznymi zainstalowanego w szkole w Łodzi stanowił podstawę do oceny długoterminowej wydajności tego systemu

Rysunek 1 przedstawia natomiast związek pomiędzy oszczędnością w zapotrzebowaniu na energię elektryczną przez bojler współpracujący z instalacją słoneczną a iloczynem sumy napromienienia kolektorów oraz wielkości rozbioru ciepłej wody. Ze względu na bezwładność zjawisk cieplnych przyjęto do analizy kroczące okresy dwudobowe. Zależność tę wyznaczono na podstawie szczegółowych pomiarów wykonanych na stanowisku badań eksploatacyjnych elementarnej instalacji słonecznej w domu jednorodzinny w Legionowie [Chochowski, Czekalski 1996].



Rys. 1. Wpływ sumy napromienienia słonecznego i obciążenia instalacji słonecznej na oszczędności energii

Fig. 1. Effect of solar radiation sums and solar installation load on the energy saving

Bez wątpienia sumy napromienienia słonecznego (godzinowe, dobowe, dekadowe) w największym stopniu determinują efekty cieplne eksploatacji systemów słonecznych. Dotychczas w układach sterowania takimi systemami o aktywności poszczególnych obiegów cieczowych decyduje rozkład temperatur w segmentach systemu (zbiornikach, wymiennikach,

kolektorach). Pośrednio jest to zatem reakcja na bieżący poziom natężenia napromienienia słonecznego. Zagadnienia sterowania systemem nabierają szczególnego znaczenia, gdy strumienie energii pochodzą z różnych źródeł, co ma miejsce w coraz częściej wdrażanych hybrydowych systemach pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych [Czekalski, Mirski 2004].

Warunkiem efektywnej pracy systemu hybrydowego jest zastosowanie układu automatycznego sterowania o szerokich możliwościach programowania stanów pracy poszczególnych segmentów systemu, i jego całości. Zastosowanie w tym celu sterowników programowalnych klasy PLC pozwala na wprowadzanie do zestawu wielkości sygnałowych parametrów o charakterze prognozy warunków eksploatacji systemu. W ten sposób w algorytmie sterowania pojawia się możliwość przyspieszonego wyboru wariantu współpracy instalacji tworzących system hybrydowy w zależności od przewidywanej np. sumy napromienienia słonecznego, czy też rozmiarów poboru energii z systemu.

Rozwój pozyskiwania energii odnawialnej w systemach o bardziej rozbudowanej strukturze, konieczność optymalizacji pracy takich systemów i towarzyszący temu postęp w dziedzinie sterowania programowalnego zapowiadają zapotrzebowanie m. in. na prognozę sum napromienienia słonecznego. Dotychczas ośrodki meteorologiczne przygotowują prognozy obejmujące pojęcia z tego zakresu, które nie dają się wprost wyrazić w postaci liczbowej spodziewanych sum napromienienia.

Celem pracy jest opracowanie metody prognozowania sum napromienienia słonecznego płaszczyzny nachylonej reprezentatywnej dla elewacji płaskich kolektorów słonecznych. Podstawowym założeniem jest możliwość bieżącego prognozowania długo, średnio i krótkoterminowych sum napromienienia; przyjęto tu odpowiednio 30, 10 i 1-dniowe okresy prognoz.

Zakres i metoda pracy

Bazę danych stanowią wyniki pomiarów napromienienia całkowitego płaszczyzny nachylonej z lat 1988-2000 na stanowisku w Katedrze Podstaw Inżynierii – SGGW Ursynów. W latach 1988-1996 stosowano przyrząd MW 81 firmy *Wieczorek*, skalowany w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej, a od 1997 r. do 2000 r. przyrząd CM 11 firmy *Kipp & Zonnen*. Pomiary wykonywano w sposób ciągły, początkowo z rejestracją wartości chwilowych. W 1994 r. wprowadzono automatyczne pomiary

ciągłe zapisywane do pamięci bieżącej komputera. Następnie wyniki uśredniano w obrębie 1 godziny i zapisywano do pamięci stałej.

Od wielu już lat do prognozowania przebiegu zjawisk, gdy istnieje problem z tworzeniem ich modelu matematycznego, są wykorzystywane sztuczne sieci neuronowe, bazujące na zestawie danych rzeczywistych [Osowski 2000; Trajer 2001]. Instrumentem użytym do realizacji postawionego celu jest sieć neuronowa typu *Perceptron wielowarstwowy (MLP)*. Oprogramowanie do sieci zawarte jest w programie *Statistica Neural Networks v. 6.1*. Bazę danych z okresu 1995-2000 (najlepsza ciągłość rejestracji) podzielono na zbiór uczący oraz zbiór weryfikacyjny.

Wyniki badań i ich analiza

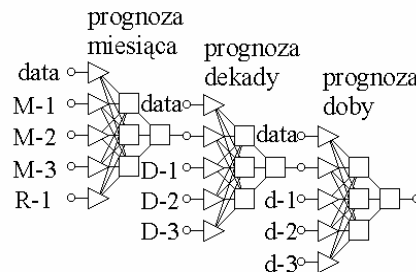
Prognozę sum napromienienia słonecznego podzielono na długookresową – miesięczną, średniookresową – dekadową oraz krótkookresową – dobową, z tym że pojęcia roku, miesiąca i dekady nie mają interpretacji kalendarzowej, lecz oznaczają odpowiednio 365 dni, 30 dni oraz 10 dni. Następnie opracowano oryginalny pod względem koncepcji rozwiązania problemu model kaskadowy (rys. 2) 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 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 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 dób poprzedzających – pierwszej D1, drugiej D2 i trzeciej D3, oraz wynik prognozy dekadowej z II etapu.

Jakość modelu oceniano za pomocą statystyk regresyjnych. W tabeli 1 podano uzyskane wartości współczynnika korelacji i ilorazu odchylenia błędów dla kolejnych etapów modelu kaskadowego. Jakość ta wyraźnie pogarsza się w III etapie działania modelu (sumy dobowe). W związku z tym nie można oczekiwać w tym zakresie zadowalających wyników, co wskazuje weryfikacja empiryczna modelu (błąd prognozy 41,8%).

Tabela 1. Parametry modelu prognozowania napromienienia słonecznego
 Table 1. Parameters of the model predicting solar radiation

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



Rys. 2. Schemat modelu kaskadowego prognozowania sum napromienienia słonecznego
 Fig. 2. Schematic diagram of a cascade model predicting solar radiation sums

Weryfikację modelu przeprowadzono na zbiorze danych testujących, które nie były używane w procesie uczenia. Zbiór ten obejmuje dane z $i = 60$ dni z okresu letniego. Za parametr oceny modelu przyjęto globalny względny błąd aproksymacji $\delta(D)_{gl}$:

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

Wyniki weryfikacji prognozy długo i średnioterminowej są zadowalające, natomiast prognoza krótkoterminowa obarczona jest zbyt dużym błędem. Prognozowanie krótkoterminowe wymaga zatem rozbudowy modelu przez uwzględnienie dodatkowych czynników wejściowych (warunków pogodowych). Zaletą przedstawionej metody jest możliwość bieżącego codziennego prognozowania dawek napromieniowania słonecznego dla przyjętych okresów z wykorzystaniem informacji pośrednich (model kaskadowy), co poprawia jakość prognoz.

Wnioski

Parametry i weryfikacja modelu wskazują, że przebieg napromienienia słonecznego jest typowym procesem deterministycznym z zakłóceniami. Na jakość modelu na pewno wpływa ilość i charakter danych znajdujących się w zbiorze uczącym. W celu zmniejszenia błędu prognoz należy

kontynuować pomiary sum napromienienia płaszczyzny pochyłej i wprowadzić pomiar pozostałych parametrów klimatu (prędkość wiatru, temperatura otoczenia, wilgotność względna), które mogą stanowić uzupełniające dane wejściowe w modelu. Szczególnie ulepszenia wymaga III etap prognozy (sumy dobowe) i w tym zakresie zespół przygotowuje koncepcję uwzględnienia w modelu bieżącej prognozy meteorologicznej jako dodatkowego parametru.

Bibliografia

Kossecka E., Chochowski A., Czekalski D. 2003: Analysis of Estimated and Measured Solar Radiation on a Tilted Surface. Civil Eng., t. XLIX nr 4

Nielsen J. E. 2003: Instalacja kolektorów słonecznych w budynku szkolnym w Łodzi. Analiza danych: październik 2002-czerwiec 2003. Plan Energii

Chochowski A., Czekalski D. 1996: Charakterystyka pozyskiwania energii słonecznej w instalacjach z kolektorami cieczowymi. Cz.I. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, nr 9

Czekalski D, Mirski T. 2004: Układ sterowania w hybrydowym systemie źródeł odnawialnych. Gospodarka Paliwami i Energią, nr 3

Osowski S. 2000. Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. OW Politechniki Warszawskiej

Trajer J. 2001: Modelowanie procesu przechowywania warzyw w wybranych jego aspektach. Wydawnictwo SGGW.

PREDICTION OF SOLAR RADIATION SUMS FOR SOLAR ENERGY CONVERSION SYSTEMS

Summary

Predicting the summary solar radiation on determined surfaces may be used to automatic control of both, the hybrid systems gaining actively the solar energy as well as the passive systems (applied in building engineering). The method of predicting solar radiation sums on an inclined surface was worked out with the use of artificial neural network. Data base on daily solar radiation sums from the measurements on south-oriented tilted surface at Ursynów (Agricultural University of Warsaw) within the period of 1995-2000, was used for this purpose. A cascade neural model was developed where the short-term prognoses use the results of medium-term model, whereas the medium-term – from the long-term model. The model has been verified

Key words: prediction, solar radiation sums, modeling, artificial neural network, solar energy conversion systems

Recenzent – Andrzej Roszkowski