

PRÓBA OKREŚLENIA TERMINÓW ZABIEGÓW AGROTECHNICZNYCH NA PLANTACJACH WIERZBY ENERGETYCZNEJ PRZY POMOCY MODELI MATEMATYCZNYCH I SIECI NEURONOWYCH

Maciej Neugebauer, Krzysztof Nalepa, Piotr Sołowiej

Katedra Elektrotechniki i Energetyki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Powstające w ostatnich latach coraz większe plantacje wierzby energetycznej są narażone na atak owadów, które w trakcie gradacji mogą zniszczyć całą plantację. W pracy utworzono model matematyczny opisujący rozwój populacji owadów. Na bazie tego modelu oraz danych z rzeczywistych plantacji – takich jak: dane geograficzne (tj. wielkość plantacji, usytuowanie plantacji względem innych upraw i lasów i inne), dane wegetacyjne (wiek plantacji, okres rozwoju, pora roku i inne) – przeprowadzono modelowanie neuronowe w celu określenia najkorzystniejszego terminu zabiegów agrotechnicznych mających powstrzymać gradację ww. szkodników.

Słowa kluczowe: wierzba energetyczna, modele populacji, szkodniki wierzby

Wstęp

Nasilający się kryzys energetyczny i ekologiczny zmusza do szukania innych, często pochodzenia rolniczego, źródeł energii odnawialnej. Jednym ze źródeł energii cieplnej jest biomasa pochodząca z plantacji wierzby energetycznej. W chwili obecnej plantacji wierzby energetycznej w Polsce jest relatywnie niewiele i są one dość rozrzucone na obszarze całego kraju. Dzięki czemu nie pojawia się w większej skali problem występowania chorób i szkodników [Szczukowski i in. 2004]. Jednak w niedalekiej przyszłości sytuacja ta zapewne ulegnie zmianie. Plantacji będzie coraz więcej i będą one coraz większe [Ericsson i in. 2006]. Na dużych monokulturach pojawiające się szkodniki danego gatunku znajdują doskonałe warunki do życia i rozmnażania się z uwagi na dostępność pożywienia. Przykładem mogą być plantacje wikliny w Polsce [Martyn, Jońca 2003] prowadzone od lat, na których pojawiają się m.in. *Pseudomonas salicyperda* - bakteryjne wędnięcie pędów, *Venturia salicyperda* - parch wierzby, *Glomerella cingulata* - antraknoza, czy patogeny z rodzaju *Meampsora sp.* wywołujące rdzę liściową na plantacjach wierzby w Wielkiej Brytanii [Pei i in. 1999]. Doświadczenia Duńskie pokazują, że również owady mogą być groźne dla plantacji wierzby energetycznej [Reddersen 2001], podobne problemy pojawiają się w Szwecji gdzie próbowano zwalczać szkodniki wierzby metodami biologicznymi [Dalin i in. 2006].

Do szkodników mogących atakować plantacje wierzby energetycznej w Polsce należą: *Phyllodecta vittellinae* – jątrewka wiklinówka, *Phyllobius oblongus* – naliściak pączkojad, *Chlorophanus viridis* – zieleńczyk zielony, *Melasoma saliceti* – rynnica wierzbową, *Earias chlorana* – niekreślanka wierzbowka, *Pontania viminalis* – naroślarz wiklinowiec, *Pterocomma salicis* – mszyca wierzbową, *Cavariella aegopodii* – mszyca wierzbowo-marchwiowa, *Schizotetranychus schizopus* – przedziorek wierzbowiec, *Chrysomela populi* – rynnica topolówka, *Leucoma salicis* – białka wierzbowka. W trakcie gradacji owady te mogą zniszczyć całą plantację.

Model gradacji szkodników plantacji wierzby energetycznej

W pracy zbudowano model matematyczny opisujący rozwój populacji owadów, użyty następnie do prób określenia rozwoju populacji *Phyllodecta vittellinae* – jątrewki wiklinówki na plantacji wierzby energetycznej ma postać:

$$\frac{dL_P}{dt} = w_r L_P \left(1 - \frac{L_P}{P_S}\right) - d(N) \quad (1)$$

gdzie:

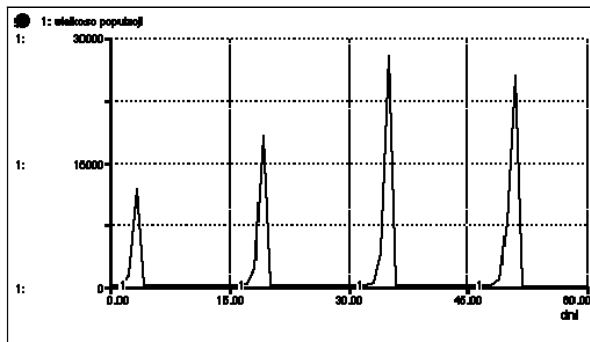
- L_P – liczebność populacji szkodników [szt.],
- w_r – współczynnik przyrostu szkodników (wsp. rozrodu) [1/czas],
- P_S – pojemność środowiska [szt],
- t – czas [mierzony w tygodniach],
- $d(N)$ – funkcja drapieżnictwa (głównie ptaków) [szt/czas].

Tego typu model, pomimo swojej prostoty – np. nie uwzględnia faktu, że owady w czasie rozwoju mają różne postacie: jajka, larwy, gąsienice, postać dorosłą – jest stosowany w modelowaniu pojedynczych populacji z uwagi na prostotę i zgodność z danymi empirycznymi, por. np. Ludwig i in. 1978; Medvinsky i in. 2004; Lee i in. 2007.

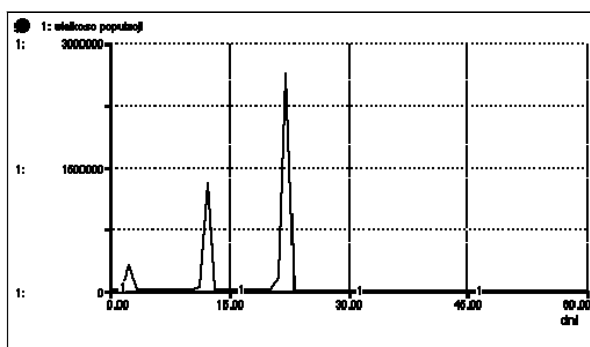
W ramach badanego modelu pominięto funkcję drapieżnictwa, wychodząc z założenia, że na niewielkich plantacjach jest ona pomijalnie mała w stosunku do możliwości gradacji owadów, por. np. Murray 2006.

W prowadzonych badaniach przyjęto, że współczynnik P_S zależy od wielkości i wieku plantacji, a współczynnik rozrodu w_r zależy od warunków pogodowych. Badano modele dla różnych liczebności początkowych szkodników (P_{Sp}) i różnych wartości ww. współczynników. Przykłady uzyskanych wyników pokazano na rysunkach 1–4.

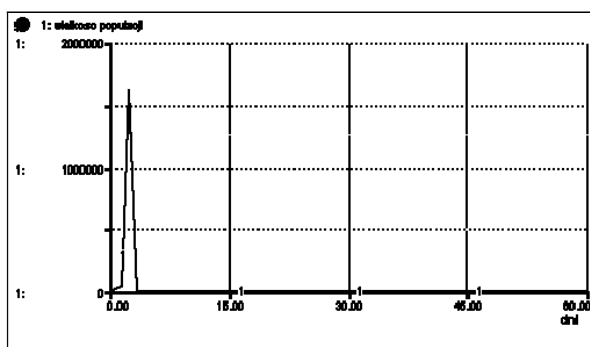
Uzyskane wyniki obrazują kolejne gradacje populacji owadów. W momencie kiedy liczba owadów przekroczy pojemność środowiska następuje migracja owadów. Na dynamikę populacji według badań modelowych największy wpływ posiada współczynnik rozrodu.



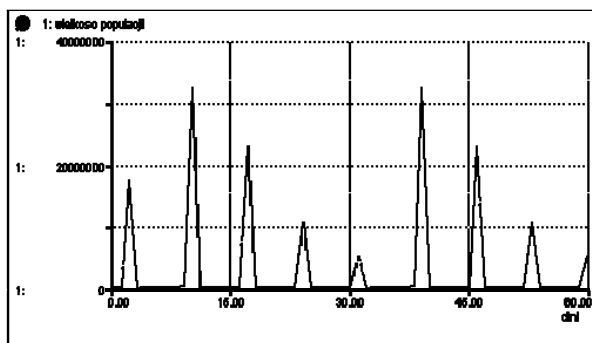
Rys. 1. Wyniki badań modelowania liczebności szkodników dla $w_r=10$, $P_S=10000$ i $P_{Sp}=10$
Fig. 1. The results of research on modelling of pests number for $w_r=10$, $P_S=10000$ i $P_{Sp}=10$



Rys. 2. Wyniki badań modelowania liczebności szkodników dla $w_r=50$, $P_S=230000$ i $P_{Sp}=120$
Fig. 2. The results of research on modelling of pests number $w_r=50$, $P_S=230000$ i $P_{Sp}=120$



Rys. 3. Wyniki badań modelowania liczebności szkodników dla $w_r=50$, $P_S=230000$ i $P_{Sp}=730$
Fig. 3. The results of research on modelling of pests number $w_r=50$, $P_S=230000$ i $P_{Sp}=730$



Rys. 4. Wyniki badań modelowania liczebności szkodników dla $w_t=200$, $P_S=720000$ i $P_{Sp}=500$
 Fig. 4. The results of research on modelling of pests number $w_t=200$, $P_S=720000$ i $P_{Sp}=500$

Modelowanie neuronowe

W celu określenia czasu zabiegów agrotechnicznych na danej plantacji należy uwzględnić dane dotyczące plantacji oraz warunków zewnętrznych. Do tego celu zastosowano modelowanie neuronowe. Sztuczne Sieci Neuronowe (SSN) są narzędziem stosowanym do modelowania trendu i zmienności sezonowej różnych wielkości, także do prognozowania wystąpienia określonych czynników czy zjawisk w określonym czasie [np.: Boniecki, Weres 2003; Boniecki 2004; Bielińska 2002; Brandt 1999; Migdał-Najman Najman 2000] dlatego można je również zastosować w tym przypadku.

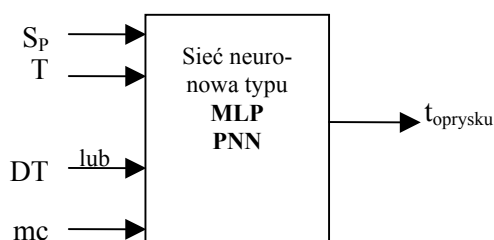
Na bazie modelu populacji (posłużył on do uzyskania odpowiedniej liczby danych potrzebnych do uczenia SSN) oraz danych z rzeczywistych plantacji – takich jak: dane geograficzne (tj. wielkość plantacji, usytuowanie plantacji względem innych upraw i lasów i inne), dane wegetacyjne (wiek plantacji, okres rozwoju, pora roku i inne) przeprowadzono modelowanie neuronowe w celu określenia najkorzystniejszego terminu zabiegów agrotechnicznych mających powstrzymać gradację ww. szkodników.

Do rozwiązania postawionego zadania użyto programu Statistica, w którym utworzono SSN pokazane na rysunku 5.

Powierzchnia uprawy i jej wiek określają pojemność środowiska, a współczynnik pogodowy i pora roku mają wpływ na współczynnik rozrodu owadów. Modelowanie neuronowe przeprowadzono przy założeniu, że początkowa liczba owadów na plantacji jest niewielka. Dla danej uprawy jedynymi zmiennymi jest pora roku, reprezentowana przez miesiąc, oraz współczynnik pogodowy obliczany jako suma temperatury i opadów z ostatnich 5 dni.

Modelowanie neuronowe przeprowadzono w programie Statistica 6.0 – gdzie testowano różne topologie sieci PNN i MLP, tj. sieci z jedną i dwoma warstwami ukrytymi i od 4 do 10 neuronów w warstwach ukrytych. Uczenie sieci neuronowych przeprowadzono zgodnie z algorytmem wstecznej propagacji błędów w fazie pierwszej i gradientów sprzężonych w fazie drugiej. Zbiór danych uczących, walidacyjnych i testowych został przygotowany w oparciu o model matematyczny i dane z rzeczywistych plantacji w programie Stella – wykorzystano w sumie 50 serii po 61 danych – cały zbiór zawierał 3050 przypad-

ków danych (każdy przypadek to cztery dane wejściowe i jedna wyjściowa). Na rysunku 6 pokazano topologię jednej z testowanych sieci (sieć MLP z jedną warstwą ukrytą 4:34-8-1:1) dla której uzyskano najmniejsze błędy.



Rys. 5. Rysunek przedstawiający zastosowaną SSN. Opis w tekście
Fig. 5. Drawing showing the applied SSN. Description in the text

Dane wejściowe:

S_p – powierzchnia uprawy [m^2];

T – wiek uprawy [lata];

DT – współczynnik pogodowy;

mc – pora roku = miesiąc.

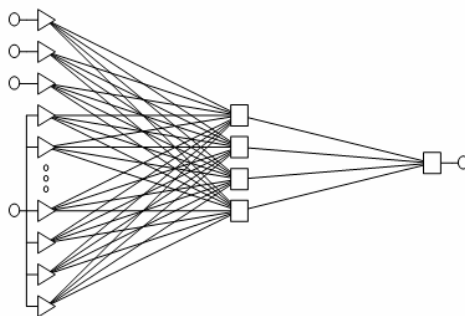
Wyjście sieci $t_{oprysku}$ to zmienna skategoryzowana (1 – 4) opisująca czas oprysku:

1 – oprysk konieczny natychmiast;

2 – oprysk należy wykonać za kilka dni;

3 – oprysk potrzebny za kilkanaście dni;

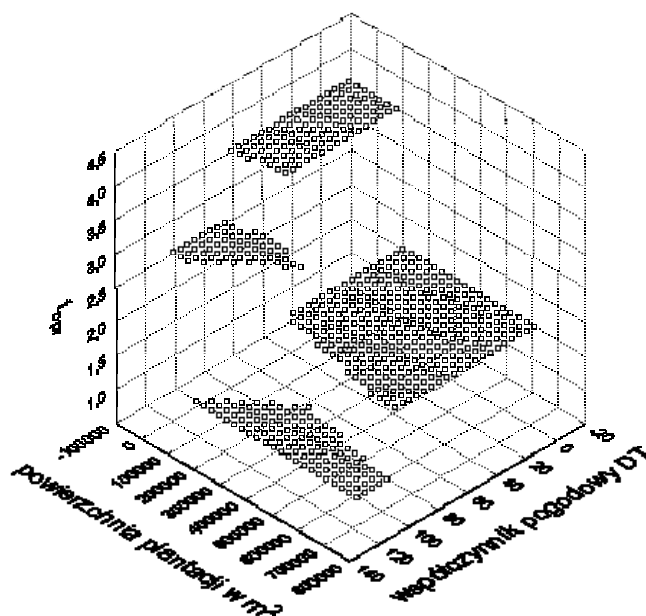
4 – oprysk niepotrzebny.



Rys. 6. Rysunek przedstawiający topologię sieci MLP. Opis w tekście
Fig. 6. Drawing showing the MLP network topology. Description in the text

Przykład powierzchni odpowiedzi uzyskany w czasie modelowania neuronowego dla sieci typu perceptron pokazano na rysunku 7.

Powierzchnia odpowiedzi, trzeci rok plantacji, miesiąc V



Rys. 7. Przykładowa powierzchnia odpowiedzi sieci neuronowej. Opis w tekście
Fig. 7. Example response area of a neural network. Description in the text

Z wykresu wynika np., że dla małej powierzchni plantacji i niskich wartości DT (odpowiadają niskiej temperaturze i wilgotności – czyli warunki niesprzyjające rozwojowi owadów) nie trzeba przeprowadzać oprysków ($t_{\text{oprysku}} = 4$) a dla wysokich wartości współczynnika pogodowego DT oprysk jest konieczny natychmiast ($t_{\text{oprysku}} = 1$).

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań mają na celu wskazać możliwości zminimalizowania niekorzystnego wpływu zabiegów agrotechnicznych na plantacjach wierzby energetycznej na środowisko naturalne. Przy niewłaściwie wykonywanych zabiegach agrochemicznych (przy stosowaniu maksymalnych dopuszczalnych dawek i wykonywaniu oprysków prewencyjnie) może się okazać, że negatywny wpływ takich plantacji na środowisko naturalne jest większy niż pozytywny, związany ze zmniejszonym spalaniem paliw kopalnych. Z przeprowadzonych badań i symulacji wynika, że największy wpływ na gradację owadów ma współczynnik pogodowy, wielkość plantacji i początkowa liczba owadów. Uwzględniając te dane, można precyzyjnie określić konieczny termin wykonania oprysków.

Bibliografia

- Bielińska E.** 2002. Metody prognozowania. Wyd. Śląsk. Katowice. ISBN 83-7164-349-7.
- Boniecki P.** 2004. Sieci neuronowe typu *MLP* oraz *RBF* jako komplementarne modele aproksymacyjne w procesie predykcji plonu pszenżyta. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 1(2004). s. 28-34.
- Boniecki P., Weres J.** 2003. Wykorzystanie technik neuronowych do predykcji wielkości zbiorów wybranych płodów rolnych. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 48(4). s. 56-59.
- Brandt S.** 1999. Analiza danych, metody statystyczne i obliczeniowe. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa. ISBN 83-01-12986-7.
- Dalin P., Kindvall O., Bjorkman C.** 2006. Predator foraging strategy influences prey population dynamics: arthropods predating a gregarious leaf beetle. *Animal behaviour* 72. s. 1025-1034.
- Ericsson K., Rosenqvist H., Ganko E., Pisarek M., Nilsson L.** 2006. An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland. *Biomass and Bioenergy* 30(2006). s. 16-27.
- Lee S.D., Park S., Park Y.S., Chung Y.J., Lee B.Y., Chon T.S.** 2007. Range expansion of forest pest populations by using the lattice model. *Ecological modelling* 203. s. 157-166.
- Ludwig D., Jones D.D., Holling C.S.** 1978. Qualitative analysis of insect outbreak systems: the spruce budworm and forest. *J. Anim. Ecol.* 47. s. 315-332.
- Medvinsky A.B., Morozov A.Y., Velkov V.V., Li B.L., Sokolov M.S., Malchow H.** 2004. Modeling the invasion of recessive Bt-resistant insects: An impact on transgenic plants. *Journal of Theoretical Biology* 231(2004). s. 121-127.
- Migdal-Najman K., Najman K.** 2000. Sieci neuronowe wykorzystane do prognozowania WIG. *Profesjonalny Inwestor* 8/2000. s. 10-18.
- Murray J.D.** 2006. Wprowadzenie do biomatematyki”, Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2006, ISBN-13: 978-83-01-14719-8.
- Pei M. H., Hunter T., Ruiz C.** 1999. Occurrence of *Melampsora* rust in biomass willow plantations for renewable energy in the United Kingdom”, *Biomass and Bioenergy* 17(1999). s. 153-163.
- Reddersen J.** 2001. RC-willow (*Salix viminalis*) as a resource for flower-visiting insects. *Biomass and Bioenergy* 20. s. 171-179.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.J.** 2004. Wierzba energetyczna. Wydawnictwo Plantpress Sp. z o.o. Kraków. ISBN 83-85982-86-8.

AN ATTEMPT TO DETERMINE TIME FOR AGROTECHNICAL MEASURES AT ENERGY WILLOW PLANTATIONS USING MATHEMATICAL MODELS AND NEURAL NETWORKS

Abstract. Larger and larger energy willow plantations occurring in recent years are exposed to attack of insects, which may devastate the whole plantation during their gradation. The researchers developed a mathematical model describing insect population growth. This model and data from existing plantations – including geographical information (that is: plantation size, plantation location in reference to other crops and forests, and other), vegetation data (plantation age, growth period, season of the year, and other) – provided grounds to carry out neural modelling in order to determine the most advantageous time for agrotechnical measures intended to stop gradation of the above-mentioned pests.

Key words: energy willow, population models, willow pests

Adres do korespondencji:

Maciej Neugebauer: e-mail: mak@uwm.edu.pl
Katedra Elektrotechniki i Energetyki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11
10-736 Olsztyn