

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH DO SZACOWANIA SIŁY KONKURENCJI WEWNĄTRZGATUNKOWEJ W TRZYDZIESTOLETNIH DRZEWOSTANACH BRZOZY BRODAWKOWATEJ (*BETULA PENDULA* ROTH)

Streszczenie

Celem pracy było zbudowanie predykcyjnego modelu neuronowego, mającego wyznaczyć siłę konkurencji wewnątrzgatunkowej brzozy brodawkowej w trzydziestoletnich drzewostanach. Dla jego realizacji zebrano dane empiryczne z pierwszych dziesięciu lat drzewostanu oraz z ostatniego - trzydziestego roku. Do budowy modelu użyto dwóch zmiennych niezależnych - średnicy i wysokości drzew (w każdym roku), łącznie 18 zmiennych. Wygenerowany model został oparty na sieci MLP z jedną warstwą ukrytą. Na jego podstawie przeprowadzono analizę wrażliwości sieci, która określiła jednoznacznie dwie najważniejsze cechy wpływające na przeżywalność brzozy brodawkowej.

Wprowadzenie

Proces naturalnego wydzielenia się drzew jest pochodną ich dystansowania się pod względem wysokościowym i w znacznej mierze rezultatem interakcji genotypu i wpływu środowiska, konkurencji oraz różnych przejawów oddziaływania drzew na siebie. Siła i tempo ubytku drzew zależą od szeregu czynników, takich jak: cechy gatunkowe, w tym światło-żądność, tempo wzrostu na wysokość, zagęszczenie początkowe, faza rozwojowa drzewostanu, zasobność siedliska i inne. Samoprzerzedanie się ma znaczący wpływ na kształtowanie się struktury socjalnej oraz poziomego rozmieszczenia drzew w populacjach drzewiastych, a tym samym wpływa na stabilność i produktywność drzewostanów. Predykcja kierunku oraz sterowanie procesem kształtowania się poziomego rozmieszczenia drzew wpływa na przeżywalność konkretnych osobników w drzewostanach pochodzących z samosiewu jak i pochodzenia sztucznego, może mieć duże znaczenie w prognozowaniu optymalnego terminu, intensywności, metody oraz racjonalizowania kosztów prowadzonych zabiegów pielęgnacyjnych w drzewostanach różnych klas wieku. Sterowanie procesem wydzielenia się drzew przez wzmacnianie i osłabianie konkurencji oraz różnych przejawów oddziaływania drzew na siebie (np. przez prowadzenie selekcji pozytywnej) ma znaczenie utylitarne.

Charakterystyka materiału badawczego i miejsca badań

Badania przeprowadzono na powierzchni doświadczalnej zlokalizowanej na terenie Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice (Leśny Zakład Doświadczalny Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu) - Leśnictwo Wielisławice w pobliżu wsi Bidaszki, w oddziale 25 h (Plan Urządzenia Lasu LZD 2004), współrzędne geograficzne: $\lambda=18^{\circ} 03' E$, $\varphi=51^{\circ} 12' N$ (południowa część województwa wielkopolskiego, powiat kępiński). Zgodnie z przyjętą w kraju rejonizacją przyrodniczo-leśną obszar ten zaliczany jest do Krainy Śląskiej,

Dzielnica Wrocławska, Mezoregion Równiny Oleśnickiej (V.2.g) [15]. Położony jest w zasięgu naturalnego występowania wszystkich ważniejszych gatunków lasotwórczych [2]. Zgodnie z obowiązującym Planem Urządzenia Lasu 2004-2013 r. doświadczenie w całości usytuowane jest na siedlisku BMśw1, na glebie bielcowo-rdzawej, porolnej, wytworzonej z polodowcowych piasków luźnych.

Do analizy wykorzystano własne materiały zebrane jesienią 1998 roku, a także materiały pochodzące z raptularzy pomiarowych z wcześniejszych badań prowadzonych w latach 1971-1978 w ramach długoterminowego tematu badawczego, zainicjowanego i prowadzonego przez prof. Stanisława Szymańskiego na początku lat siedemdziesiątych XX. wieku, w ówczesnej Katedrze Ogólnej Hodowli Lasu, a obecnie Katedrze Hodowli Lasu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu [12].

Analizie poddano podstawowe cechy biometryczne brzozy brodawkowej (*Betula pendula* Roth.) jednego z dziesięciu rosnących w doświadczeniu gatunków drzew leśnych mających duże znaczenie gospodarcze. Do budowy zbioru danych empirycznych wykorzystano dane od 2 do 10 roku oraz z 30 roku życia, następujących cech żywych drzew: przeżywalność, wysokość, średnica (d_0) oraz pierśnica ($d_{1,3}$).

Badane trzy drzewostany brzozy (3 powtórzenia) są pochodzenia sztucznego i niepielęgnowane. Sadzonki posadzone z zachowaniem regularnej więźby (1×1 m). Na każdej działce (drzewostanie) wytyczono 19 rzędów po 21 sadzonek, łącznie 399 punktów sadzenia. Pomiarami i obserwacjami objęto wszystkie żywe drzewa bez egzemplarzy rosnących w rzędach zewnętrznych (1 i 19) oraz pierwszy i ostatni egzemplarz w rzędzie, które spełniały rolę otuliny, łącznie po 323 punkty sadzenia w każdym drzewostanie.

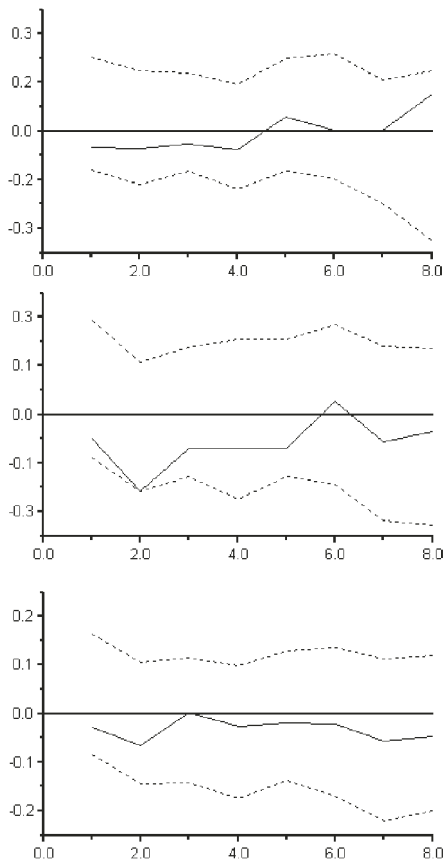
Materiał badawczy obejmował łącznie 969 drzew (trzy powtórzenia po 323 punkty), które stanowiły całkowity zbiór analizowanych danych empirycznych.

Tab. Charakterystyka statystyczna wysokości (h_{10} i h_{30}), grubości ($d_{0(10)}$ i $d_{1,3(30)}$) brzozy brodawkowatej w wieku 10 i 30 lat
 Table Statistical characteristics of the height (h_{10} i h_{30}), thickness ($d_{0(10)}$ i $d_{1,3(30)}$) of silver birch at the age of 10 and 30 years

Gatunki	Średnia (cm)	Ufność -95,0%	Ufność +95,0%	Minimum (cm)	Maksimum (cm)	Odch.Std.	Błąd stand. średniej	V (%)	Skośność	Kurtoza
h_{10}	436,7	428,0	445,4	8,0	829,0	136,30	4,420	31,2	-0,6054	0,2319
h_{30}	1567,7	1520,7	1614,7	245,0	2300,0	292,43	23,80	18,7	-1,0460	2,9182
$d_{0(10)}$	5,3	5,1	5,4	0,5	12,1	2,21	0,070	41,83	0,1816	-0,4094
$d_{1,3(30)}$	11,1	10,6	11,6	2,0	21,0	3,0037	0,245	27,1	0,4034	0,4637

Charakterystyka biometryczna brzozy brodawkowatej w 10 i 30 roku życia

Jednym z czynników charakteryzujących zmiany zachodzące w badanych drzewostanach jest przeżywalność, której wartość określono jako procent żywych drzew na poletku. Pomiędzy dziesiątym a trzydziestym rokiem życia drzew średnia przeżywalność brzozy brodawkowatej spadła z 98,1% do 15,5% wyjściowej liczby osobników. W pierwszych trzech latach życia drzew, w fazie wzrostu indywidualnego, zmniejszenie się liczby żywych drzew spowodowane było wypadami. Od momentu dojścia uprawy do zwarcia, które jak podaje Szymański [11, 12] nastąpiło w trzecim roku życia, przyczyną jest proces naturalnego wydzielenia się drzew.



Rys. 1. Funkcja Ripley'a $L(t)$ dla drzew żywych w trzech drzewostanach brzozy brodawkowatej w oddziale 25h (objaśnienia: linie przerywane przedziały ufności; linia ciągła, gruba funkcja $L(t)$ dla danych empirycznych; linia ciągła cienka $L(t)=0$ funkcja $L(t)$ dla rozmieszczenia całkowicie losowego)

Fig. 1. Ripley's function $L(t)$ for living trees in the European birch in the compartment 25h (dotted lines confidence intervals; solid thick line $L(t)$ function for empirical data; solid thin line for $L(t)=0$ $L(t)$ function for complete random distribution)

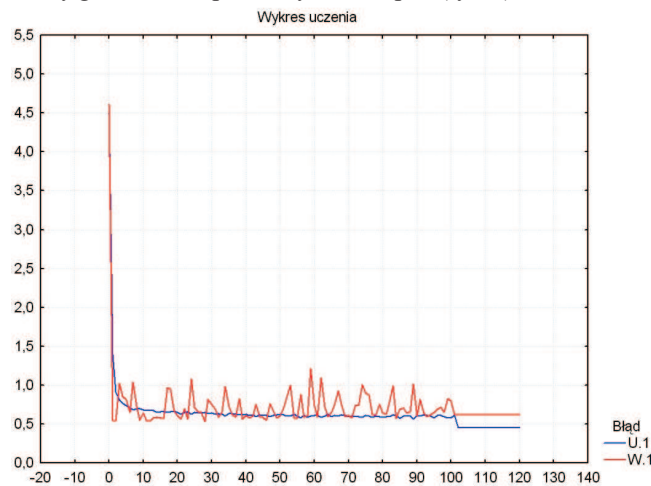
Charakterystykę biometryczną podstawowych cech brzozy brodawkowatej przedstawiono w tab. Uwagę zwraca wysoka zmienność prezentowanych cech, najwyższa grubości (d_0) w wieku 10 lat, ponad 40%. Lewostronny rozkład wysokości, silnie zaakcentowany w 30 roku wskazuje na znaczną dyferencjację wysokości, a tym samym obecność drzewostanu podrzędnego.

W doświadczeniu stwierdzono na podstawie analizy rozmieszczenia drzew z wykorzystaniem funkcji Ripley'a $L(t)$ (rys. 1), że wszystkie brzozy w wieku 30 lat, rosące w trzech badanych drzewostanach, charakteryzowały się losowym rozmieszczeniem, co sugeruje, iż mechanizmy warunkujące inny rozkład osobników na badanych powierzchniach nie są dostatecznie silne, np. w drzewostanach tych nie prowadzono cięć pielęgnacyjnych.

Budowa modelu neuronowego

Prognozowanie siły konkurencji wewnątrzgatunkowej przeżywalności konkretnych osobników przeprowadzono w oparciu o dwie podstawowe cechy charakteryzujące tempo wzrostu w pierwszych dziesięciu latach życia drzewa. Były to wysokość oraz średnica drzewa z pierwszych dziesięciu lat (9×2), ponieważ pomiary rozpoczęto od drugiego roku życia.

Budowę modelu neuronowego oparto na najczęściej stosowanej w zagadnieniach predykcyjnych [1, 7] jednokierunkowej wielowarstwowej sieci neuronowej typu MLP o strukturze 18:18-51-1:1 ze standardowym podziałem w stosunku 1:0,5:0,5. Zbiór uczący wyniósł 485 przypadków, walidacyjny i testowy po 242 przypadki. Na wyjściu sieci wskazano tylko jedną cechę zalezną - przeżywalność - w postaci lingwistycznej TAK lub NIE (TAK - drzewo przeżyło, NIE - drzewo obumarło) w 30 roku badań. Zbudowaną sieć neuronową uczono dwuetapowo. W pierwszym etapie wykorzystano metodę wstecznej propagacji błędów - 100 epok, natomiast w drugim etapie użyto metody gradientów sprzężonych - 20 epok (rys. 2).



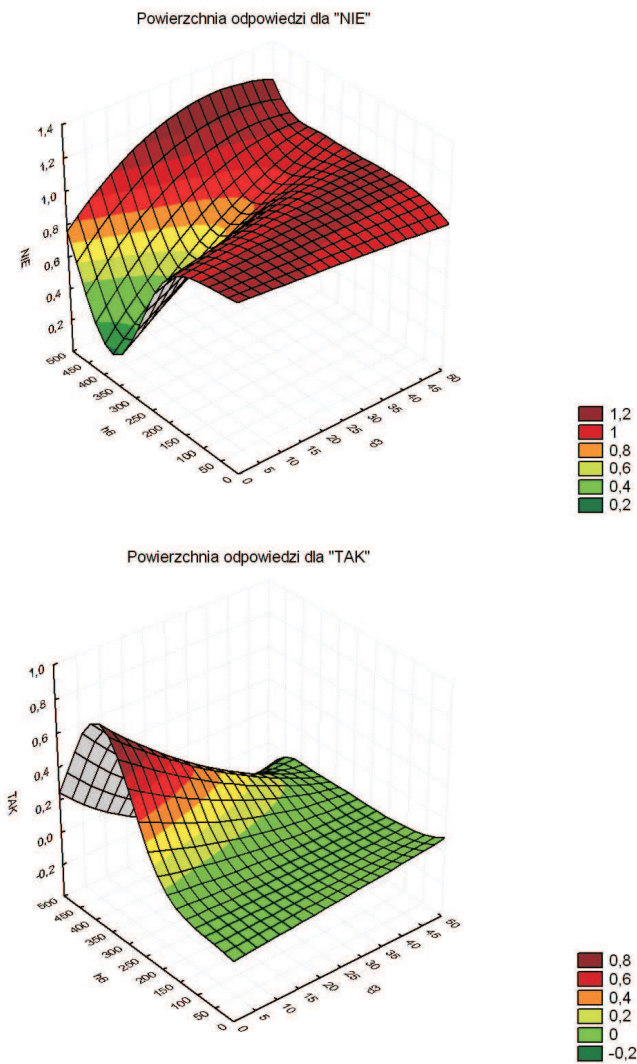
Rys. 2. Wykres uczenia sieci
 Fig. 2. Network learning graph

W wyniku przeprowadzonych obliczeń wykonano analizę wrażliwości, która jednoznacznie wskazuje, że najważniejszą cechą wpływającą na przeżywalność drzew jest wysokość w szóstym roku (h_6) - iloraz przyrostu błędu wyniósł 1,14. Kolejną cechą o randze dwa jest średnica drzewa w trzecim roku (d_3), której iloraz przyrostu błędu był równy 1,04 (rys. 3).

Analiza wrażliwości											
	h_2	d_2	h_3	d_3	h_4	d_4	h_5	d_5	h_6	d_6	h_7
Iloraz	0,9992	1,0286	0,9993	1,0401	0,9914	1,0211	0,9735	1,0232	1,1449	1,0157	0,9760
Ranga	15	3	14	2	16	5	18	4	7	17	11

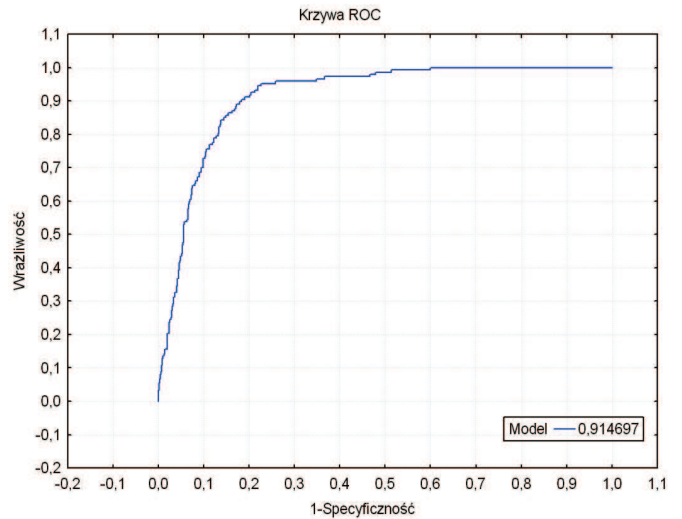
Rys. 3. Analiza wrażliwości sieci neuronowej.
Fig. 3. Sensibility analysis for the neural network

Na podstawie informacji z analizy wrażliwości sieci, można wykreślić dwie powierzchnie odpowiedzi dla ustalonych stanów wyjścia sieci na TAK oraz NIE (rys. 4). Oparte są one o najwyższej sklasyfikowane cechy niezależne: wysokość w szóstym roku (h_6) oraz średnica drzewa w trzecim roku (d_3).



Rys. 4. Powierzchnie odpowiedzi dla h_6 oraz d_3 w dwóch stanach TAK oraz NIE
Fig. 4. Answering surface for h_6 and d_3 in two status TAK and NIE

W kolejnym etapie analiz wyznaczono macierz pomyłek, która wskazała na wynik poprawnych odpowiedzi na TAK - 84,3%, natomiast 86,2% stanowiły poprawnie sklasyfikowane odpowiedzi na NIE. W ostatnim etapie analiz określono pole powierzchni krzywej ROC, które wyniosło 0,914697 (rys. 5).



Rys. 5. Wykres krzywej ROC
Fig. 5. ROC plot

Podsumowanie

Wykreślona krzywa ROC [17] służy do oceny jakości sieci dokonującej podziału obiektów na dwie klasy, gdy próg odrzucania jest równy progowi akceptacji. Podsumowuje ona działanie dwustanowego klasyfikatora, dla wszystkich możliwych wartości progów. Wrażliwość sieci wykreślona jest tu względem wielkości „jeden minus specyficzność”. Idealny klasyfikator daje krzywą przylegającą do lewego i górnego brzegu wykresu, z polem pod krzywą równym 1,0. W analizowanym modelu neuronowym krzywa ROC przyjęła wartość 0,914697 - co jest wartością wysoce zadawalającą.

Od momentu dojścia uprawy do zwarcia, które jak podaje Szymański [11, 12] nastąpiło w trzecim roku życia, ubytek drzew spowodowany jest procesem ich naturalnego wydzielania, który w znacznej mierze wywołany jest następstwem wzrostu i konkurencji wewnątrzgatunkowej. Samoprzedzanie się ma znaczący wpływ na kształtowanie się struktury socjalnej oraz poziomego rozmieszczenia drzew w populacjach drzewiastych [3, 4, 8, 9, 10, 16].

Budowa modelu neuronowego opartego na sieci MLP wskazała na istotny wpływ wysokości w szóstym roku (h_6) oraz średnicy (d_3) w trzecim roku życia drzewostanu, wpływającego bezpośrednio na przeżywalność i ukształtowane w 30 roku poziomego rozmieszczenia drzew. Drzewa o największych średnicach (d_3) w trzecim roku życia, tj. w momencie zwierania się uprawy brzozy oraz najwyższe w szóstym roku (h_6) zajmują uprzywilejowaną pozycję i nie poddają się konkurencji wewnątrzgatunkowej o troficzne i pozatroficzne komponenty środowiska, takie jak światło oraz przestrzeń.

Obecność w drzewostanie konkretnych drzew oraz sposób ich rozmieszczenia to dowód nie poddania się konkurencji najbliższych sąsiadów. Podobnie jak Korzeniewicz i Szymt [5] zaobserwowano w doświadczeniu zmianę typu rozmieszczenia wynikającą z zastosowanej regularnej więźby sadzenia na losowy. W tym wypadku wysoka ranga niektórych cech biometrycznych (h_6 i d_3) wskazanych za pomocą modelu neuronowego wskazuje, iż kształtowanie się struktury poziomej realizuje się w bardzo wczesnej fazie rozwojowej drzewostanu. Na tej podstawie istnieje możliwość wczesnej predykcji przeżywalności osobników brzozy brodawkowatej. Sterowanie procesem wydzielania się drzew przez wzmacnianie i osłabianie konkurencji oraz różnych przejawów oddziaływania drzew na siebie (np. przez prowadzenie selekcji pozytywnej) ma znaczenie użytkowe. Zaprezentowany model

neuronowy oparty na sieci MLP określa te cechy biometryczne, którymi przede wszystkim należy kierować się przy prognozowaniu optymalnego terminu prowadzenia zabiegów oraz podczas prowadzenia zabiegów pielęgnacyjnych kształtujących strukturę drzewostanu.

Przedstawione wyniki wskazują na możliwość wykorzystania modelu neuronowego opartego na sieci MLP do symulowania procesów o charakterze demograficznym, takich jak wzrost i wydzielanie się drzew. Baza danych wejściowych (podstawowych cech biometrycznych drzew) umożliwiająca prześledzenie wzrostu dowolnego drzewa od drugiego roku życia, z precyzyjnym określeniem jego współrzędnych, oprócz możliwości prowadzenia badań nad kształtowaniem się poziomego rozmieszczenia drzew może służyć do analizy kształtowania się struktury socjalnej i wpływu na te procesy samoprzerzedzenia się drzewostanów oraz konkurencji o przestrzeń, pokarm i wodę, na co zwraca uwagę wielu autorów [4, 8, 9, 10, 13, 14, 16].

Wnioski

1. Wytworzony model neuronowy dla predykcji przeżywalności brzozy brodawkowatej jednoznacznie potwierdza możliwość zastosowania sztucznych sieci neuronowych dla tego typu zagadnień.
2. Najważniejszą cechą wpływającą na przeżywalność drzew jest wysokość w szóstym roku życia (h_6), czyli ich wysoka pozycja biosocjalna.
3. Uprzywilejowana pozycja w konkurencji wewnątrzgatunkowej o troficzne i pozatroficzne komponenty wiąże się także ze średnicą w trzecim roku (d_3), w momencie dojścia uprawy do zwarcia.
4. Znając podstawowe cechy biometryczne można oszacować zdolność przeżycia osobnika na poziomie od 84,3% do 86,2%.

Literatura

- [1] Boniecki P.: Elementy modelowania neuronowego w rolnictwie. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, 2008.
- [2] Boratyńska K., Boratyński A., Browicz K., Hantz J.: Atlas rozmieszczenia drzew i krzewów w Polsce. PWN, Warszawa, 1981.
- [3] Bruchwald A.: Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. Sylwan, 1988, nr 11-12, s. 1-10.
- [4] Jaworski A.: Podstawy przyrostowe i ekologiczne odnawiania oraz pielęgnacji drzewostanów. PWRiL, Warszawa, 2004.

- [5] Korzeniewicz R., Szmyt J.: Poziome rozmieszczenie drzew w gospodarczych drzewostanach świerkowych w wieku 80 lat w Nadleśnictwie Sławno. Sylwan, 2007, nr 9, s. 3-11.
- [6] Plan urządzania lasu dla Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice na lata 2004-2013. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddz. w Brzegu.
- [7] Niedbała G., Przybył J., Sęk T.: Prognozowanie zawartości cukru w korzeniach buraka cukrowego z wykorzystaniem technik regresyjnych i neuronowych. Inżynieria Rolnicza, 2007, nr 2(90), s. 225-234.
- [8] Szmyt J.: Wpływ więzby początkowej i wieku na kształtowanie się poziomego rozmieszczenia drzew w niepielęgnowanych drzewostanach sosnowych, świerkowych i dębowych. AR Poznań (maszynopis), 2004.
- [9] Szymański S.: Dynamika rozwoju niekierowanych młodników sosnowych. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych, Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych, 1963, tom XV (3), s. 341-403.
- [10] Szymański S.: Przebieg procesu naturalnego wydzielania się drzew w niepielęgnowanych młodnikach sosnowych. Sylwan, 1964, nr 108 (1), s. 15-31.
- [11] Szymański S.: Wstępne wyniki badań tempa wzrostu w pierwszej młodości kilku ważniejszych gatunków drzew leśnych na siedlisku boru mieszanego świeżego. w Gospodarka leśna i drzewna na tle nowoczesnej ochrony środowiska. Referaty na zjazd Absolwentów Wydziału Leśnego, AR Poznań, 1975, s. 36-43.
- [12] Szymański S.: Wzrost niektórych gatunków drzew leśnych w pierwszych 10 latach życia na siedlisku BMśw. Sylwan, 1982, nr 126 (7), s. 11-29.
- [13] Szwaagrzyk J.: Struktura i dynamika lasu: teoria, metody badania, kontrowersje. Wiad. Ekol. 1988, nr 34, s. 355-373.
- [14] Szwaagrzyk J.: Modelling competition among trees in mixed stands of complex structure. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Rozprawy nr 222. Kraków, 1997.
- [15] Trampler T.: Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A., Matuszkiewicz W.: Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. PWRiL, Warszawa 1990.
- [16] Ward J.S., Parker G.R., Ferrandino F. J.: Long-term spatial dynamics in oldgrowth deciduous forest. For. Ecol. Manag. 1996, nr 83 (3), pp. 189-202.
- [17] Zweig, M.H. & Campbell, G.: Receiver-Operating Characteristic (ROC) Plots: A Fundamental Evaluation Tool in Clinical Medicine. Clin. Chem 1993, nr 39 (4), pp. 561-577.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS UTILIZATION FOR STRENGTH ESTIMATION OF THE INTRASPECIFIC COMPETITION IN THIRTY-YEAR STANDS OF SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH)

Summary

The aim of the work was to build the prediction neural model, to estimate strength of the intraspecific competition in thirty-year stands of silver birch. The empirical data were collected from first ten years of the stand and from last thirtieth. Two independent features were used for building of the model- diameter and height of trees (in every year), together 18 variables. The generated model was based on the MLP network with one hidden layer. The analysis of the sensibility network was carried out on this model. There were qualified two the most important features, which are determined intraspecific competition of silver birch.