

DARIUSZ KULAK, MAREK WAJZDIK

## Klasyfikacja ekotypowa samców sarny europejskiej (*Capreolus capreolus* L.) na podstawie wybranych pomiarów ich ciała

Ecotype classification of the European roe deer (*Capreolus capreolus* L.) males on the basis of selected body parameters

### ABSTRACT

Kulak D., Wajdzik M. 2009. Klasyfikacja ekotypowa samców sarny europejskiej (*Capreolus capreolus* L.) na podstawie wybranych pomiarów ich ciała. Sylwan 153 (8): 563-574.

The studies were carried out on the European roe deer (*Capreolus capreolus* L.) males from field and forest ecotypes harvested in the Opole Region. Attempts were made to identify the ecotype of the examined individuals on the basis of skull and body measurements. It was found that the most useful measurements for ecotype identification are skull dimensions: LTO (profile length), LCB (condylobasal length), LBA (basal length), LV (length between the front edge of the occipital foramen and the end of the jawbone), LHM (mandible length) and MG (body weight). 82% of individuals were correctly classified using the regression analysis method, while the use of the neural network resulted in correctness ranging from 90 to 98% depending on the type of the network applied.

### KEY WORDS

European roe deer, field ecotype, forest ecotype, regression model, neural network

### ADDRESSES

Dariusz Kulak <sup>(1)</sup> – e-mail: rikulak@cyf-kr.edu.pl

Marek Wajdzik <sup>(2)</sup> – e-mail: rlwajdzi@cyf-kr.edu.pl

<sup>(1)</sup> Katedra Użytkowania Lasu i Drewna; Uniwersytet Rolniczy; Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

<sup>(2)</sup> Zakład Zoologii Leśnej i Łowiectwa; Uniwersytet Rolniczy; Al. 29-Listopada 46, 31-425 Kraków

## Wstęp

Pierwsze wzmianki o możliwości występowania dwóch ekotypów sarny europejskiej (*Capreolus capreolus*) na ziemiach polskich pochodzą z początku XX wieku. Stwierdzono wówczas, że oprócz sarny zamieszkującej tereny leśne, a właściwie strefę ekotonu, tj. pogranicza lasów i pól, na wielkoobszarowych uprawach rolniczych Wielkopolski występuje ekotyp polny [Schechtel 1929]. Obecnie wiadomo już, że ekotypy te znacząco różnią się pod względem fizjologii [Majewska i in. 1982], morfologii i anatomii [Fruziński i in. 1982; Wajdzik 1998], behawioru [Bresiński 1982, Pielowski 1999] i ekologii [Kałuziński 1982]. Nadal nie ma jednak odpowiedzi na pytanie czy wymienione wyżej różnice są na tyle duże, by wyłącznie na ich podstawie określać przynależność ekotypową konkretnego osobnika sarny.

Celem badań było opracowanie metod umożliwiających klasyfikację ekotypową samców sarny na podstawie wykonanych na nich pomiarów biometrycznych. Założono, że cel zostanie zrealizowany za pomocą modelowania regresyjnego oraz, porównawczo, z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

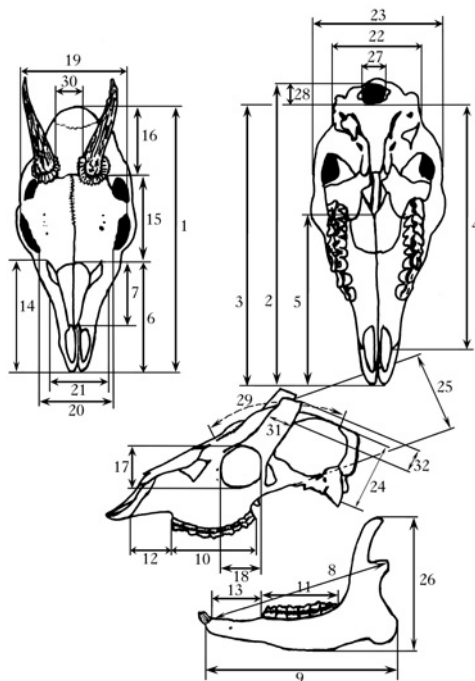
## Materiał i metody

Badania wykonano na 131 samcach sarny (rogaczach) bytujących w dwóch lokalnych populacjach na terenie Opolszczyzny. Wszystkie osobniki pozyskane zostały w drodze odstrzału. Ekotyp polny (73 osobniki) pochodził z okolic Paczkowa, a leśny (58 osobników) z okolic Namysłowa. Na wszystkich czaszkach po ich wypreparowaniu, w miejscach przedstawionych na rycinie 1, wykonano suwmiarką 32 pomiary z dokładnością do 1 mm. Oprócz pomiarów kraniometrycznych (czaszki) określono za pomocą wagi elektronicznej masę kompletnej czaszki wraz z żuchwą (MCz – pomiar nr 33) z dokładnością do 1 g oraz masę tuszy, czyli ciała bez głowy i po wypatroszeniu (WG – pomiar nr 34) z dokładnością do 0,5 kg. Wiek zwierząt określono za pomocą dwóch metod: uwzględniającej stopień starcia uzębienia [Geneja 1992] oraz Eidmanna, czyli na podstawie liczby warstw odłożonej zębiny w siekaczu I1 [Lochman 1987]. Cały zebrany materiał z podziałem na ekotypy pogrupowano w sześć klas wieku: 1 – sarny jednoroczne, 2 – dwuletnie, 3 – trzyletnie, 4 – czteroletnie, 5 – pięcioletnie, 6 – sześcioletnie i starsze. Informacje dotyczące pomierzonych osobników w poszczególnych klasach wieku zestawiono w tabeli 1.

Wyniki pomiarów zestawiono w komputerowej bazie danych i poddano obróbce za pomocą programu Statistica 6.0 PL [2004].

## Wyniki

Fundamentalnym problemem był dobór cech, które umożliwiłyby poprawne określenie przynależności badanych zwierząt do jednego z ekotypów. Pomiary czaszek i ciała wykonano na



Ryc. 1.

Pomiary wykonane na czaszkach  
Measurements made on skulls

osobnikach w różnym wieku, co bezpośrednio wpływało na uzyskane wartości mierzonych cech. Konieczne zatem było rozpatrywanie różnic występujących między ekotypami osobno w kolejnych klasach wieku. W celu wstępnej klasyfikacji przydatności dyskryminacyjnej poszczególnych pomiarów wykonano test t-Studenta po uprzednim sprawdzeniu warunków jego stosowania (addytywności i homogeniczności rozkładów) za pomocą testów Shapiro-Wilka oraz Levene'a. Uzyskano w ten sposób informację o statystycznej istotności różnic wartości średnich pomierzonych parametrów charakteryzujących zwierzęta z ekotypu polnego i leśnego w kolejnych klasach wieku (tab. 2).

Z powyższego zestawienia wynika, iż wraz z wiekiem różnice pomiędzy zwierzętami z obu ekotypów są coraz większe. W pierwszej klasie wieku cech, które statystycznie istotnie różnicowały oba ekotypy było 8, w drugiej – 13, w trzeciej – 14, w czwartej – 16, w piątej – 23, a w szóstej

Tabela 1.

Zebrany materiał z podziałem na ekotypy i klasy wieku  
 Collected material with the division into ecotypes and age classes

Klasa wieku	Ekotyp polny	Ekotyp leśny
1	15	11
2	12	10
3	10	9
4	10	7
5	11	9
6	15	12

– 18. Jednak, aby dana cecha miała przydatność klasyfikacyjną, przyjęto, że musi ona statystycznie istotnie różnicować obydwa ekotypy we wszystkich klasach wieku. Dlatego też do budowy modeli regresji pozwalających na określenie przynależności ekotypowej samców sarny wykorzystane zostały tylko następujące cechy:

- długość profilu czaszki (LTO) – pomiar 1,
- długość kondylobazalna (LCB) – pomiar 2,
- długość bazalna (LBA) – pomiar 3,
- odległość między przednią krawędzią otworu potylicznego a końcem kości szczękowej (LV) – pomiar 4,
- długość zuchwy (LHM) – pomiar 9,
- masa tuszy (WG).

Uzyskane modele regresji dla poszczególnych cech wraz z przedziałami predykcji informacyjnymi z 95% prawdopodobieństwem o zakresie, w jakim należy spodziewać się kolejnych obserwacji, przedstawiono na rycinach 2-7.

Wyniki testów t-Studenta, za pomocą których weryfikowano istotność współczynników kierunkowych i wyrazów wolnych równań regresji przedstawionych na powyższych rycinach wraz ze współczynnikami korelacji pomiędzy kolejnymi pomiarami i klasą wieku, zestawiono w tab. 3. Wszystkie przedstawione na rycinach 2-7 równania regresji są poprawne i opisują istotne statystycznie zależności pomiędzy kolejnymi cechami a wiekiem sarny.

Poprawne zaszeregowanie osobnika do ekotypu polnego jest możliwe wtedy, gdy wartość pomierzonej cechy znajdzie się powyżej górnej linii predykcji dla ekotypu leśnego. Gdy wartość pomiaru znajdzie się na wykresie poniżej dolnej linii predykcji dla ekotypu polnego, jest to przedstawiciel sarny leśnej. Z kolei osobniki, których wartości pomiarów znajdują się w zakreskowanym polu (ryc. 8; przykład na podstawie LBA), nie mogą zostać z 95% pewnością poprawnie zaklasyfikowane do konkretnego ekotypu. Przeprowadzono analizę graficzną rycin 2-7. Określono w ten sposób przedziały graniczne, po przekroczeniu których możliwe jest z założonym prawdopodobieństwem stwierdzenie przynależności analizowanego zwierzęcia do ekotypu polnego lub leśnego. Wyniki wykonanej analizy zestawiono w tabeli 4.

Przyjęto, że jako miernik praktycznej przydatności zastosowanej metody rozróżniania ekotypów sarny, użyte zostanie prawdopodobieństwo poprawnej klasyfikacji ekotypu na podstawie danego pomiaru. W tym celu porównano wymiary każdego ze 131 pomierzonych osobników z przedziałami granicznymi (tab. 5). Przydatność większości pomiarów do rozróżniania ekotypów rośnie wraz z wiekiem zwierząt. Najtrudniej jest określić ekotyp osobników z 1 klasy wieku. Wykorzystując wszystkie sześć pomiarów możliwe jest poprawne zaklasyfikowanie tylko 65% przypadków. W 4 klasie wieku skuteczność zaproponowanej metody wyniosła 100%, w 5

Tabela 2.

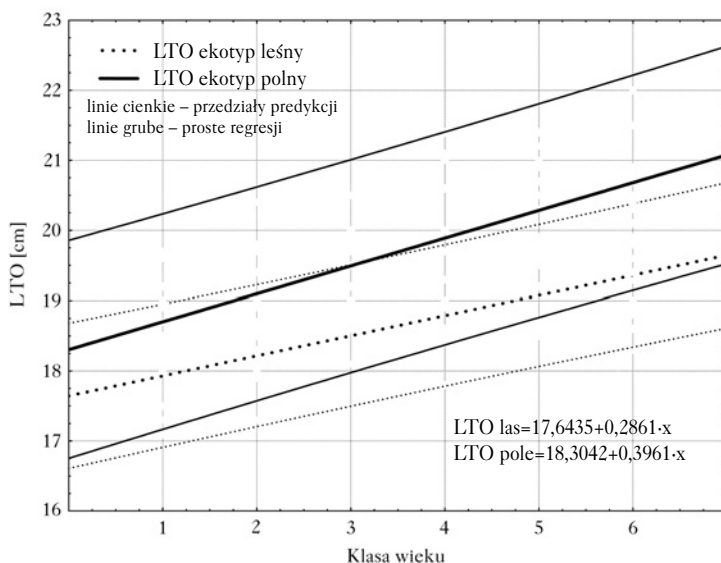
Istotność różnic między ekotypem polnym i leśnym w klasach wieku  
Significance of differences between field and forest ecotypes in age classes

Numer pomiaru	Klasa wieku											
	1		2		3		4		5		6	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p
1	-2,89	0,01*	-4,81	0,00*	-3,54	0,00*	-3,44	0,00*	-4,37	0,00*	-4,07	0,00*
2	-3,18	0,00*	-4,26	0,00*	-4,18	0,00*	-4,00	0,00*	-3,86	0,00*	-4,66	0,00*
3	-3,29	0,00*	-3,96	0,00*	-3,30	0,00*	-3,60	0,00*	-3,98	0,00*	-4,43	0,00*
4	-3,20	0,00*	-3,05	0,01*	-2,91	0,01*	-2,83	0,01*	-4,63	0,00*	-5,15	0,00*
5	-1,67	0,11	-1,21	0,24	-2,49	0,02*	-0,74	0,47	-2,50	0,02*	-1,10	0,28
6	-1,10	0,28	-1,91	0,07	-2,49	0,02*	-1,24	0,23	-2,81	0,01*	-0,96	0,35
7	-0,41	0,69	-1,71	0,10	-3,35	0,00*	-1,24	0,23	-0,85	0,40	-0,80	0,43
8	-1,98	0,06	-3,10	0,01*	-3,55	0,00*	-3,79	0,00*	-4,24	0,00*	-2,14	0,04*
9	-3,21	0,00*	-4,41	0,00*	-3,72	0,00*	-4,70	0,00*	-4,11	0,00*	-2,72	0,01*
10	-1,40	0,18	-1,05	0,30	-0,70	0,49	-1,40	0,18	-0,91	0,38	-1,77	0,09
11	-1,37	0,18	-1,82	0,08	-1,34	0,20	-3,05	0,01*	0,18	0,86	-1,26	0,22
12	-1,93	0,07	-0,95	0,35	0,72	0,48	-0,13	0,90	-4,34	0,00*	-0,53	0,60
13	-2,11	0,05*	-2,20	0,04*	-1,59	0,13	-1,97	0,07	-4,37	0,00*	-3,70	0,00*
14	-1,45	0,16	-2,63	0,02*	-3,07	0,01*	-2,04	0,06	-4,98	0,00*	-1,44	0,16
15	-1,24	0,23	-1,79	0,09	-1,56	0,14	-2,68	0,02*	-3,79	0,00*	-2,80	0,01*
16	-0,37	0,72	-0,62	0,55	-0,31	0,76	-1,64	0,12	-0,16	0,87	-0,04	0,97
17	-0,65	0,52	-1,50	0,15	-1,24	0,23	-2,27	0,04*	-0,97	0,35	0,13	0,90
18	0,46	0,65	-0,53	0,60	-1,01	0,33	-1,85	0,08	-1,82	0,09	-2,28	0,03*
19	-0,12	0,91	-1,10	0,28	-1,01	0,33	-1,53	0,15	-0,94	0,36	-0,80	0,43
20	-0,16	0,87	-3,48	0,00*	-3,23	0,00*	-1,80	0,09	-1,66	0,11	0,06	0,95
21	-0,47	0,64	-0,96	0,35	-1,91	0,07	-1,92	0,07	-3,53	0,00*	-1,86	0,07
22	-0,83	0,42	-0,70	0,49	-0,81	0,43	-1,18	0,26	-2,98	0,01*	-2,17	0,04*
23	-2,16	0,04*	-1,53	0,14	-0,37	0,72	-2,30	0,04*	-2,94	0,01*	-4,83	0,00*
24	-0,09	0,93	-0,87	0,39	-0,58	0,57	-1,26	0,23	2,40	0,03*	0,78	0,44
25	-1,66	0,11	-0,37	0,71	-0,91	0,38	-3,04	0,01*	-1,81	0,09	-3,76	0,00*
26	-1,35	0,19	-1,24	0,23	-1,19	0,25	-2,89	0,01*	-2,92	0,01*	-3,24	0,00*
27	-0,01	0,99	-0,86	0,40	-0,72	0,48	-2,24	0,04*	-2,17	0,04*	-0,52	0,61
28	-0,06	0,95	-2,40	0,03*	-1,75	0,10	0,44	0,67	0,51	0,61	0,00	1,00
29	0,77	0,45	0,42	0,68	0,62	0,54	-0,23	0,82	0,97	0,34	-1,63	0,12
30	0,38	0,71	2,35	0,03*	2,32	0,03*	1,50	0,15	3,19	0,01*	1,07	0,29
31	-0,01	0,99	-1,14	0,27	-1,03	0,32	-1,88	0,08	-2,01	0,06	-2,90	0,01*
32	-1,45	0,16	-1,95	0,07	-0,40	0,70	-0,47	0,64	0,40	0,69	-0,53	0,60
33	-1,63	0,12	-2,81	0,01*	-2,72	0,01*	-2,42	0,03*	-5,53	0,00*	-4,37	0,00*
34	-4,47	0,00*	-5,86	0,00*	-4,66	0,00*	-5,88	0,00*	-9,11	0,00*	-9,41	0,00*

t – wartość statystyki t-Studenta; p – obliczony poziom istotności; \* – różnice statystycznie istotne na poziomie  $\alpha=0,05$   
t – Student's t statistics; p – calculated significance level; \* – statistically significant differences at  $\alpha=0.05$

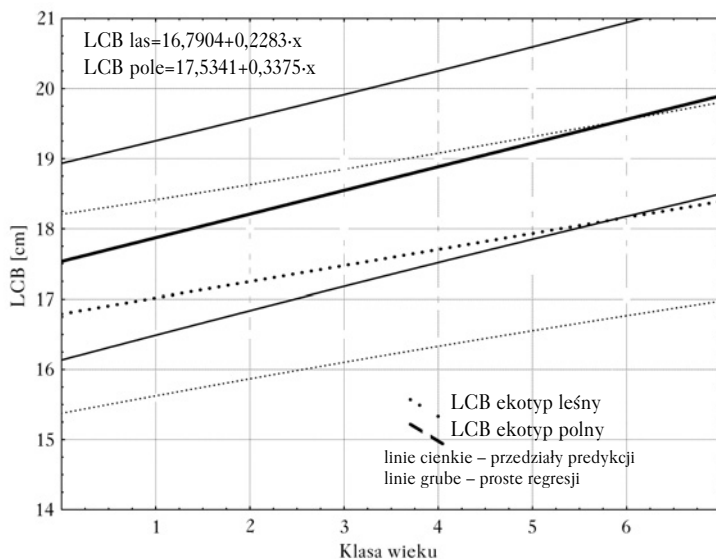
i 6 – ponad 90%. Największą przydatność dyskryminacyjną wykazała masa ciała (blisko 70%), pozostałe cechy łącznie we wszystkich klasach wieku umożliwiają poprawną klasyfikację około 30% przypadków. Wykorzystując wszystkie analizowane cechy do określenia przynależności osobników do ekotypu, można było uzyskać z wykorzystaniem proponowanej metody blisko 82% poprawnych zaszeregowania (tab. 5).

Błędy poprawnych klasyfikacji przy zastosowaniu przedstawionej powyżej metody, szczególnie widoczne w młodszych klasach wieku, skłoniły do poszukiwania innych sposobów



Ryc. 2.

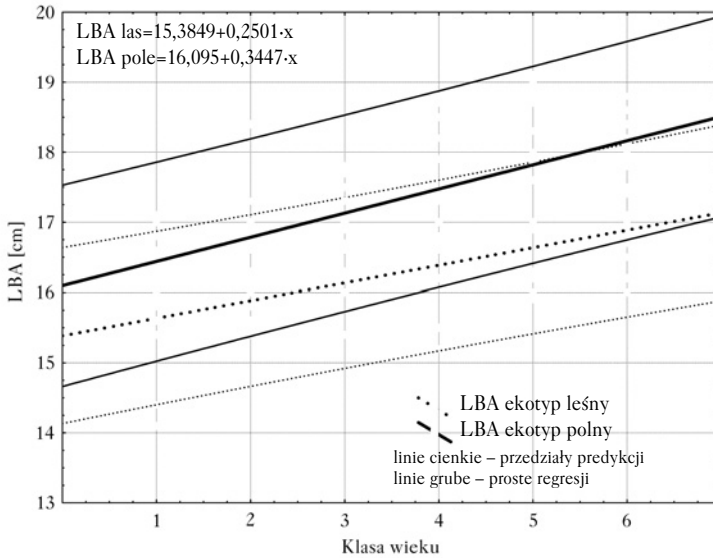
Rozrzut wartości LTO dla ekotypu polnego i leśnego w klasach wieku  
 LTO value range for field and forest ecotypes in age classes



Ryc. 3.

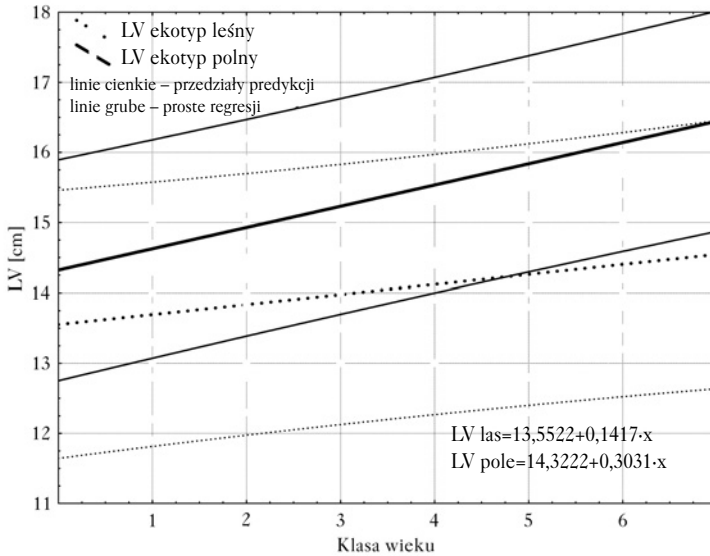
Rozrzut wartości LCB dla ekotypu polnego i leśnego w klasach wieku  
 LCB value range for field and forest ecotypes in age classes

oceny przynależności ekotypowej sarny. W tym celu podjęto próbę budowy sztucznych sieci neuronowych. Kolejne osobniki przypisano losowo w klasach wieku do grup zmiennych: uczących (67 przypadków), walidacyjnych, czyli służących wykonaniu sprawdzianu krzyżowego (32 przypadki) i testowych (32 przypadki). W środowisku Statistica [2004] stworzono 20 sieci



Ryc. 4.

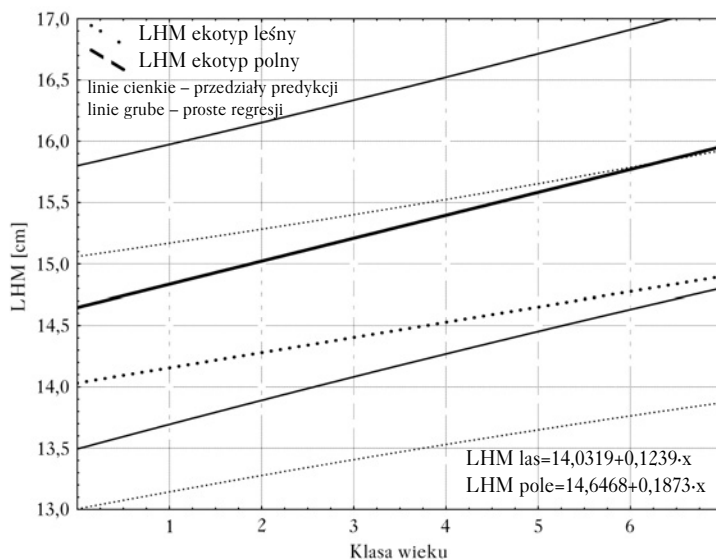
Rozrzut wartości LBA dla ekotypu polnego i leśnego w klasach wieku  
 LBA value range for field and forest ecotypes in age classes



Ryc. 5.

Rozrzut wartości LV dla ekotypu polnego i leśnego w klasach wieku  
 LV value range for field and forest ecotypes in age classes

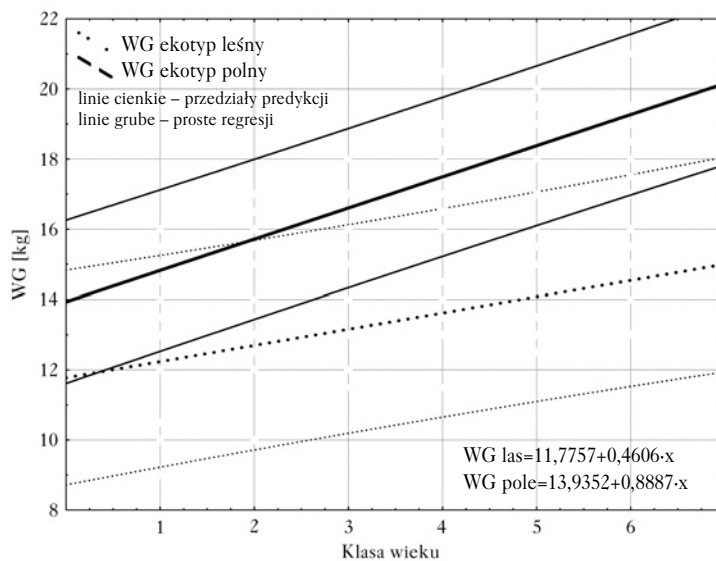
różnych typów, rozwiązujących podjęty problem klasyfikacyjny. Działania optymalizacyjne na sieciach neuronowych zmierzały w kierunku uzyskania sieci najdokładniej rozróżniającej obydwa ekotypy z wykorzystaniem wszystkich uwzględnianych dotychczas pomiarów (LTO, LCB, LV, LHM, WG) oraz uzyskania sieci najprostszej, rozróżniającej ekotypy sarny na podstawie jak



Ryc. 6.

Rozrzut wartości LHM dla ekotypu polnego i leśnego w klasach wieku

LHM value range for field and forest ecotypes in age classes



Ryc. 7.

Rozrzut wartości WG dla ekotypu polnego i leśnego w klasach wieku

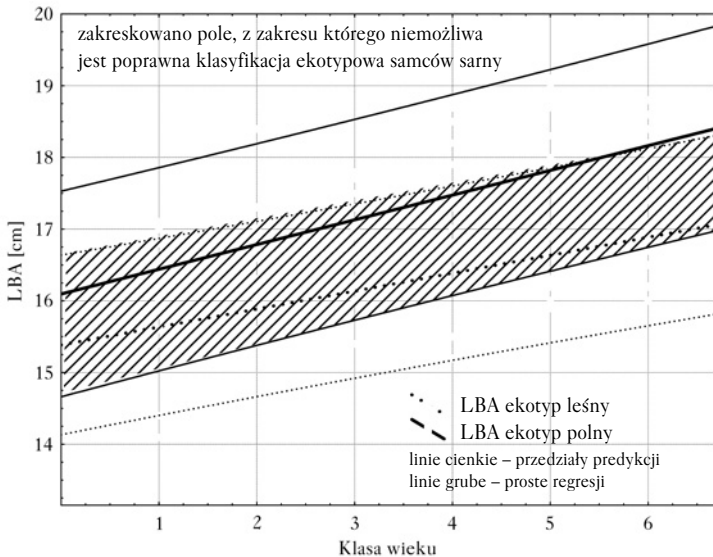
WG value range for field and forest ecotypes in age classes

najmniejszej liczby cech. Przyjmując jako kryterium wyboru najlepszej sieci liczbę poprawnie sklasyfikowanych przypadków, do dalszych analiz wybrano dwie sieci. Sieć pierwsza to perceptron wielowarstwowy (MLP) z sześcioma zmiennymi wejściowymi (klasa wieku, LTO, LCB, LV, LHM oraz WG), jedną wyjściową (ekotyp), sześcioma neuronami w pierwszej warstwie, ośmio-

Tabela 3.

Zebrany materiał z podziałem na ekotypy i klasy wieku  
 Collected material with the division into ecotypes and age classes

Nr pomiaru i symbol	Ekotyp	R	Wyraz wolny		Współczynnik kierunkowy	
			t	p	t	p
1 – LTO	polny	0,70	96,37	0,00	8,20	0,00
	leśny	0,73	94,23	0,00	7,94	0,00
2 – LCB	polny	0,68	102,46	0,00	7,75	0,00
	leśny	0,53	86,56	0,00	4,64	0,00
3 – LBA	polny	0,68	91,77	0,00	7,73	0,00
	leśny	0,61	89,62	0,00	5,74	0,00
4 – LV	polny	0,59	74,49	0,00	6,20	0,00
	leśny	0,47	51,80	0,00	2,14	0,04
9 – LHM	polny	0,53	103,81	0,00	5,22	0,00
	leśny	0,49	99,61	0,00	3,47	0,00
34 – WG	polny	0,82	49,05	0,00	12,30	0,00
	leśny	0,50	28,10	0,00	4,33	0,00



Ryc. 8.

Rozrzut wartości LBA dla ekotypu polnego i leśnego w klasach wieku  
 LBA value range for field and forest ecotypes in age classes

ma w drugiej i jednym w trzeciej. Przy jej tworzeniu wykorzystano algorytm uczący wstecznej propagacji błędów. Po 20 epokach (iteracjach) metodą gradientów sprzężonych zakończono proces uczenia sieci. Schemat tej sieci przedstawiono na rycinie 9. Sieć druga ma charakter liniowy, trzy zmienne wejściowe (klasa wieku, LTO, WG), jedną wyjściową (ekotyp), trzy neurony w warstwie pierwszej i jeden w drugiej. Wykorzystuje algorytm uczący pseudoinwersji (minimalizacji średnich wartości kwadratów odchyień). Schemat tej sieci przedstawiono na rycinie 10.

Ogólną jakość obydwu sieci, mierzoną liczbą poprawnie sklasyfikowanych przypadków, przedstawiono w tabeli 6. Zauważyć można bardzo dużą przydatność dyskryminacyjną sieci



Tabela 4.

Przedziały graniczne dla wykonanych pomiarów, umożliwiające poprawne zaklasyfikowanie samców sarny do ekotypów w kolejnych klasach wieku

Threshold limits for performed measurements enabling proper classification of roe deer males to the ecotypes in successive age classes

Nr pomiaru i symbol	Ekotyp	Klasa wieku					
		1	2	3	4	5	6
1 – LTO [cm]	polny	>18,9	>19,2	>19,6	>19,9	>20,4	>20,7
	leśny	<17,1	<17,6	<18,0	<18,4	<18,7	<19,2
2 – LCB [cm]	polny	>18,4	>18,6	>18,8	>19,1	>19,3	>19,6
	leśny	<16,5	<16,8	<17,2	<17,5	<17,8	<18,2
3 – LBA [cm]	polny	>16,8	>17,1	>17,3	>17,5	>17,8	>18,2
	leśny	<15,0	<15,4	<15,7	<16,1	<16,5	<16,7
4 – LV [cm]	polny	>15,6	>15,7	>15,8	>16,0	>16,1	>16,2
	leśny	<13,1	<13,4	<13,7	<14,0	<14,3	<14,6
9 – LHM [cm]	polny	>15,2	>15,3	>15,4	>15,5	>15,7	>15,8
	leśny	<13,7	<13,9	<14,1	<14,3	<14,4	<14,6
34 – WG [kg]	polny	>15,3	>15,6	>16,1	>16,5	>17,0	>17,5
	leśny	<12,5	<13,6	<14,4	<15,2	<16,1	<16,8

Tabela 5.

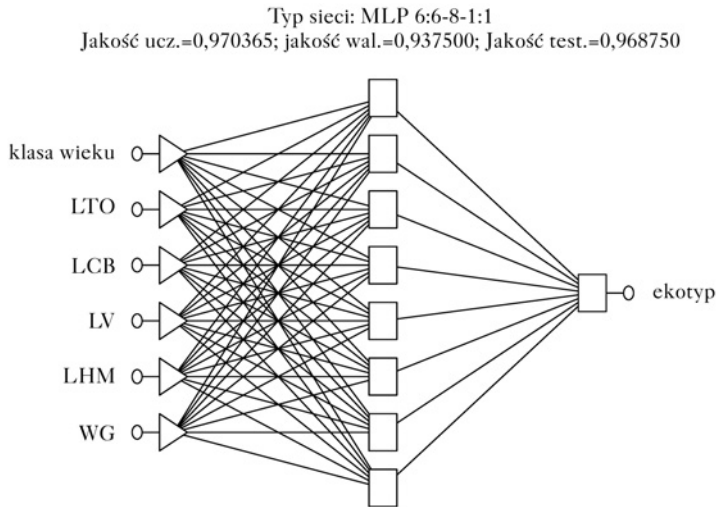
Prawdopodobieństwo [%] poprawnego zaszeregowania samców sarny do jednego z ekotypów za pomocą przedziałów granicznych wybranych wymiarów ich ciała

Probability [%] of a proper classification of roe deer males to one of the ecotypes using threshold limits of their body dimensions

Nr pomiaru i symbol	Klasa wieku						Ogółem
	1	2	3	4	5	6	
1 – LTO	15,4	22,7	26,3	41,2	50,0	37,0	31,3
2 – LCB	11,5	9,1	26,3	52,9	55,0	33,3	29,8
3 – LBA	19,2	9,1	26,3	47,1	70,0	33,3	32,8
4 – LV	15,4	27,3	21,1	41,2	55,0	48,1	34,4
9 – LHM	15,4	18,2	21,1	47,1	30,0	44,4	29,0
34 – WG	38,5	63,6	52,6	82,4	90,0	92,6	69,5
Ogółem	65,4	77,3	68,4	100,0	95,0	92,6	81,7

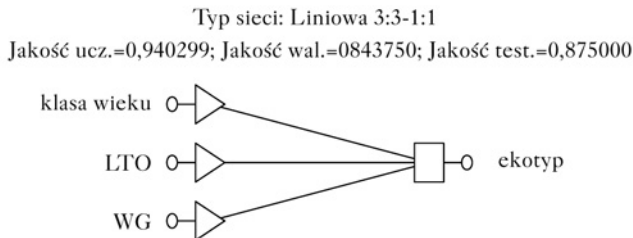
pierwszej, która wykonała tylko 3 nieprawidłowe klasyfikacje (1 przy ocenie pochodzenia saren z ekotypu leśnego i 2 przy ekotypie polnym). Ponadto sieć ta wykorzystuje o jeden pomiar mniej (bez LBA) niż proponowana metoda regresyjna (ryc. 9). Używanie drugiej sieci wiąże się już z większą liczbą popełnianych błędów klasyfikacyjnych. Łącznie sieć ta nieprawidłowo przypisała 13 osobników, w tym 11 błędów wystąpiło przy ocenie ekotypu leśnego, a 2 przy ekotypie polnym. Dużą zaletą tej sieci jest bazowanie na małej ilości zmiennych – klasie wieku i 2 pomiarach (LTO i WG) (ryc. 10).

Dla umożliwienia pełnego porównania metody opartej na modelach regresji z metodą sieci neuronowych, przedstawiono poprawność oceny ekotypów sarny przez obydwie sieci w kolejnych klasach wieku (tab. 7). Sieć MLP błędy klasyfikacyjne popełniła w 1 i 3 klasie wieku. Metoda regresyjna również w tych klasach dawała największe błędy, jednak było ich nieporównywalnie więcej (tab. 5). Sieć liniowa bezbłędna okazała się wyłącznie w 5 klasie wieku, ale i tak charakteryzuje się o ponad 8 punktów procentowych większą poprawnością klasyfikacji niż metoda regresyjna. Jest jednocześnie prostsza w zastosowaniu, gdyż bazuje na mniejszej ilości



Ryc. 9.

Schemat sieci neuronowej perceptronu trójwarstwowego, struktura neuronów w poszczególnych warstwach  
Diagram of a neural network - tree-layer perceptron, neural structure in individual layers



Ryc. 10.

Schemat sieci neuronowej liniowej, struktura neuronów w poszczególnych warstwach  
Diagram of a linear neural network, neural structure in individual layers

Tabela 6.

Charakterystyka jakości klasyfikacji przyjętych sieci neuronowych  
Characterisation of the quality of the adopted neural networks

	Sieć 1 (MLP)		Sieć 2 (liniowa)	
	przypadki: ekotyp leśny	ekotyp polny	ekotyp leśny	ekotyp polny
Ogółem [n]	58	73	58	73
Skłasyfikowane poprawnie [n]	57	71	47	71
Skłasyfikowane błędnie [n]	1	2	11	2
Skłasyfikowane poprawnie [%]	98,28	97,26	81,03	97,26
Skłasyfikowane błędnie [%]	1,72	2,74	18,97	2,74

cech, które trzeba pomierzyć. Należy dodać, że wykorzystując możliwość „douczenia” sieci w oparciu o nowe dane należy spodziewać się dalszego zwiększania ich dokładności. Stosunkowo duża dokładność sieci liniowej pozwala przypuszczać, że możliwe jest rozróżnianie ekotypów sarny za pomocą zależności o charakterze liniowym. W chwili obecnej niemożliwe jest jednak stwierdzenie, na jakich pomiarach samców sarny należałoby takie modele budować.

Tabela 7.

Prawdopodobieństwo [%] poprawnego zaklasyfikowania samców sarny do jednego z ekotypów za pomocą sieci neuronowych

Probability [%] of a proper classification of roe deer males to one of the ecotypes using neural networks

	Klasa wieku						Razem
	1	2	3	4	5	6	
Sieć nr 1	92,31	100,00	94,74	100,00	100,00	100,00	97,71
Sieć nr 2	76,92	86,36	89,47	94,12	100,00	96,30	90,08

## Wnioski

- ✦ W ramach zebranego materiału możliwe jest określenie ekotypu, z jakiego pochodzi dany osobnik sarny (polny czy leśny), wyłącznie na podstawie wybranych pomiarów jego ciała.
- ✦ Największą przydatność do klasyfikacji ekotypowej sarny wykazują następujące pomiary: LTO, LCB, LBA, LV, LHM oraz WG.
- ✦ W związku ze stosunkowo dużym zróżnicowaniem analizowanych wymiarów ciała saren, zaproponowana metoda oceny przynależności ekotypowej tych zwierząt, z wykorzystaniem modelowania regresyjnego, wykazała się dużą skutecznością. Stosując ją dokonano prawie 82% poprawnych ocen.
- ✦ Wykazano wysoką praktyczną przydatność sieci neuronowych do określania ekotypu, w jakim bytowały badane zwierzęta.
- ✦ Sieć neuronowa o charakterze perceptronu trójwarstwowego (MLP) wykazała się najwyższą przydatnością do przewidywania ekotypu. Skuteczność tej metody wynosi blisko 98%. Modelowanie oparte o liniową sieć neuronową, przy niewielkiej liczbie danych wejściowych, pozwoliło na poprawne zaklasyfikowanie ponad 90% przypadków.
- ✦ Celowe jest prowadzenie dalszych prac badawczych w innych regionach Polski, by umożliwić rozróżnianie ekotypów samców sarny na podstawie prostych pomiarów, również wśród bytujących tam zwierząt.

## Literatura

- Bresiński W. 1982. Grouping tendencies in roe deer under agrocenosis conditions. *Acta theriol.* 27, 29: 427-447.
- Fruziński B., Kałuziński J., Baksalary J. 1982. Weight and body measurements of forest and field roe deer. *Acta theriol.* 27, 479-488.
- Geneja J. 1992. Określanie wieku kozłów odstrzelonych. *Łowiec Polski* 8: 38-39.
- Majewska B., Pielowski Z., Łabudzki L. 1982. The level of some energy metabolism indices in forest and field populations of roe deer. *Acta theriol.* 27, 32: 471-477.
- Kałuziński J. 1982. Dynamics and structure of field roe deer population. *Acta theriol.* 27, 27: 385-408.
- Lochman J. i in. 1987. Określanie wieku zwierzyny. PWRiL, Warszawa. 23-25.
- Pielowski Z. 1999. Sarna. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat.
- Schechtel E. 1929. Sarna (Szkic łowiecki). Wilno.
- STATISTICA (data analysis software system) version 6. 2004. StatSoft Inc. www.statsoft.com.
- Wajdzik M. 1998. Sarna polna i sarna leśna. Co wykazały badania czaszek? *Łowiec Polski* 4: 4-5.

## SUMMARY

### Ecotype classification of the European roe deer (*Capreolus capreolus* L.) males on the basis of selected body parameters

The aim of the research was to develop a method to identify the ecotype of European roe deer (*Capreolus capreolus* L.) males based entirely on the selected biometrical parameters. The material

for the research came from the Opole Region. 32 measurements from each prepared skull were taken (Fig. 1). Also, the body weight (weight after disembowel, without head) was determined. In total, measurements were taken from 131 individuals categorised into six age classes (Table 1). According to the Student t-test, LTO (length of skull profile), LCB (condylobasal length), LBA (basal length), LV (length between the front edge of the occipital foramen and the end of the jawbone), LHM (mandible length) and WG (body weight) were the most useful measurements in identification of the ecotype. Regression equations were calculated to describe relationships between measurements and age class (Fig. 2-7). Correct classification of an individual into the field ecotype is considered possible only when the value of the measured parameter is above the upper prediction line for the forest ecotype. Roe deer represents forest ecotype when the measurement value is under the lower prediction line for the field ecotype in a graph (Fig. 8). Basing on these assumptions threshold limits were determined which, when crossed, make possible, with the assumed 95% probability, to classify the examined animal to the field or forest ecotype (Table 4). The effectiveness of this method was verified by calculating the probability of correct classification of roe deer males into one of the ecotypes (Table 5). In general, the effectiveness of the regression analysis model was increasing with animal age. The method allowed correct classification of 82% of examined individuals to a given ecotype.

Also, a neural network method was used in the research to differentiate between roe deer ecotypes (Fig. 9 and 10). A three-layer perceptron network proved very effective – nearly 98% of roe deer were correctly classified using this method (Table 6 and 7). A simple linear network based on three input data (age class, LTO and WG) was effective in 90%.

The presented research proves that differences between roe deer males colonising field and forest ecotypes are large enough to identify the ecotype to which a given individual belongs exclusively on the basis of selected measurements of its body.