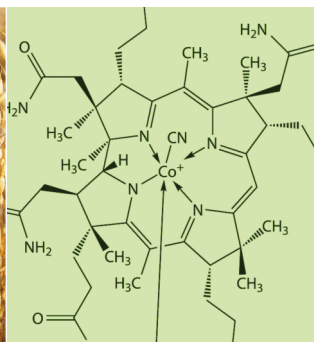


# Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo

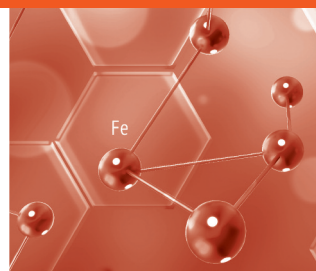
tom I

## Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt



**NOWE WYDANIE**

pod redakcją  
Doroty Jamroz



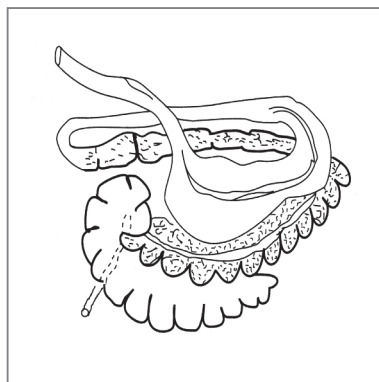
# Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo

AUTORZY:

Jan Barteczko, Lucyna Buraczewska, Stanisław Buraczewski,  
Andrzej Chwalibóg, Adam Cieślak, Paweł Górka, Dorota Jamroz,  
Damian Józefiak, Julian Kamiński, Zygmunt M. Kowalski,  
Andrzej Potkański, Ewa Sawosz-Chwalibóg, Stefania Smulikowska,  
Małgorzata Szumacher-Strabel, Stanisław Wójcik, Aleksandra Ziotecka,  
Barbara Zwierko-Pastuszewska

# Zywienie zwierząt i paszoznawstwo <sup>tom</sup> I

Fizjologiczne i biochemiczne podstawy żywienia zwierząt



pod redakcją  
Doroty Jamroz

Projekt okładki i stron tytułowych *Przemysław Spiechowski*

Ilustracje na okładce

*Timur Kulgarin/Shutterstock*

*Fotokostic/Shutterstock*

*Stoom/Shutterstock*

*Tracey Patterson/Shutterstock*

*MDOGAN/Shutterstock*

*Ariene Studio/Shutterstock*

*Michael G McKinne/Shutterstock*

*Macrovector/Shutterstock*

*Ivan Kireiev/Shutterstock*

*chromatos/Shutterstock*

Wydawca *Małgorzata Nawrot*

Redaktor *Krystyna Kruczyńska*

Produkcja *Mariola Grzywacka*

Łamanie *ALINEA*

Wydanie książki zostało dofinansowane przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Zakład Doświadczalny Żywienia Zwierząt w Gorzynie

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo

Więcej na [www.legalnakultura.pl](http://www.legalnakultura.pl)

*Polska Izba Książki*

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA  
Warszawa 2001, 2015

ISBN 978-83-01-18227-4 t. 1

ISBN 978-83-01-14279-7 t. 1-3

Wydanie 2 zmienione

Warszawa 2015

Wydawnictwo Naukowe PWN S.A.

02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2

infolinia 801 33 33 88

tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288

e-mail: [pwn@pwn.com.pl](mailto:pwn@pwn.com.pl); [www.pwn.pl](http://www.pwn.pl)

Druk i oprawa: Pabianickie Zakłady Graficzne SA

# PRZEDMOWA

Ciągle, często dynamiczne zmiany szeroko pojętego środowiska — klimatu, zanieczyszczenia wód, powietrza, funkcjonowania kompleksów glebowych, technologii produkcji roślinnej — wpływają nie tylko na wegetację i wartość pokarmową roślin uprawnych stanowiących bazę paszową dla zwierząt użytkowych, ale także na warunki utrzymywania zwierząt. Zmieniają się cele chowu i hodowli zwierząt. Ich doskonalenie genetyczne wymaga także coraz większej precyzji w żywieniu i formułowaniu dawek pokarmowych. W organizmie zwierzęcia odbywa się fenomen przetwarzania roślinnego pokarmu na produkty konsumpcyjne o najwyższej wartości pokarmowej dla człowieka.

Żywnienie jest jednym z najsilniej oddziałujących czynników środowiskowych, jest narzędziem sterowania wzrostem i rozwojem, rozrodem, zdrowiem, składem chemicznym i jakością produktów mleka, mięsa i jaj. Wreszcie koszty żywienia i pasz decydują o ekonomicznych efektach produkcji zwierzęcej.

Trzytomowy kompleksowy podręcznik *Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo* opracowany przez specjalistów — pracowników naukowych ośrodków akademickich wyższych uczelni i instytutów naukowych — zawiera informacje dotyczące podstaw fizjologii i biochemii żywienia zwierząt oraz potrzeb pokarmowych różnych gatunków grup użytkowych i wiekowych zwierząt gospodarskich i hobbyistycznych. Przedstawiono szczegółowe zasady żywienia zwierząt, a także charakterystykę i wartość pokarmową pasz oraz omówiono dodatki paszowe.

W kolejnym wydaniu podręcznika uwzględniono aktualny stan wiedzy oraz uwarunkowania żywienia zwierząt wynikające z rozwoju nauki, a także z przepisów prawnych obowiązujących w Unii Europejskiej. Autorzy pozostają z nadzieją, że z tej wiedzy skorzystają studenci wydziałów biologii i hodowli zwierząt, bio-

technologii, medycyny weterynaryjnej, wydziałów rolniczych, pracownicy ośrodków doradztwa rolniczego, specjaliści z zakresu produkcji pasz przemysłowych i dodatków paszowych, hodowcy i producenci mięsa, mleka, jaj i ryb. Również dla miłośników zwierząt towarzyszących i dla hobbystów uwzględniono podstawowe informacje dotyczące żywienia ich ulubieńców.

Za wszystkie uwagi i dostrzeżone usterki będziemy wdzięczni.

W imieniu autorów  
prof. dr hab. *Dorota Jamroz*

# SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA . . . . .	5
<b>1. SKŁADNIKI CHEMICZNE PASZ I ICH ZNACZENIE DLA ORGANIZMU ZWIERZĄT . . . . .</b>	<b>13</b>
1.1. Woda i jej rola biologiczna . . . . .	13
• <i>Julian Kamiński</i>	
1.2. Węglowodany (cukrowce) . . . . .	15
1.2.1. Monosacharydy (cukry proste) . . . . .	16
1.2.2. Oligosacharydy . . . . .	18
1.2.3. Polisacharydy . . . . .	19
1.2.3.1. Polisacharydy skrobiowe . . . . .	20
1.2.3.2. Polisacharydy nieskrobiowe . . . . .	21
1.2.3.3. Lignina i inne substancje strukturalne . . . . .	24
1.3. Tłuszczowce (lipidy) . . . . .	27
1.3.1. Kwasy tłuszczowe . . . . .	28
1.3.2. Tłuszcze proste . . . . .	32
1.3.3. Tłuszcze złożone . . . . .	34
1.3.4. Pochodne tłuszczowców . . . . .	35
1.3.5. Wskaźniki charakteryzujące jakość tłuszczu . . . . .	39
1.4. Białka i inne związki azotowe . . . . .	40
• <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Stanisław Buraczewski</span>	
1.4.1. Aminokwasy . . . . .	41
1.4.1.1. Budowa aminokwasów . . . . .	41
1.4.1.2. Podział aminokwasów . . . . .	42
1.4.1.3. Właściwości i reakcje aminokwasów . . . . .	46



1.4.1.4.	Aminokwasy niezbędne . . . . .	47
1.4.1.5.	Skład aminokwasowy pasz i dawek . . . . .	50
1.4.1.6.	Strawność białka pasz i wchłanianie aminokwasów . . . . .	52
1.4.2.	Peptydy . . . . .	53
1.4.3.	Białka . . . . .	54
1.4.3.1.	Klasyfikacja białek . . . . .	54
1.4.3.2.	Białko pasz . . . . .	57
1.4.4.	Związki azotowe niebiałkowe . . . . .	57
1.4.4.1.	Aminokwasy niebiałkowe . . . . .	58
1.4.4.2.	Kwasy nukleinowe . . . . .	58
1.4.4.3.	Alkaloidy . . . . .	59
1.4.4.4.	Glikozydy . . . . .	60
1.4.4.5.	Glukozynolany . . . . .	60
1.4.4.6.	Inne związki niebiałkowe . . . . .	61
1.4.5.	Związki azotowe nieorganiczne . . . . .	61
<b>1.5.</b>	<b>Składniki mineralne . . . . .</b>	<b>62</b>
	• <i>Dorota Jamroz</i>	
1.5.1.	Wapń (Ca) . . . . .	64
1.5.2.	Fosfor (P) . . . . .	68
1.5.3.	Magnez (Mg) . . . . .	71
1.5.4.	Potas, chlor, sód . . . . .	72
1.5.5.	Siarka (S) . . . . .	74
1.5.6.	Mikroelementy i pierwiastki śladowe . . . . .	75
1.5.7.	Metale toksyczne . . . . .	89
<b>1.6.</b>	<b>Witaminy . . . . .</b>	<b>91</b>
	• <i>Stanisław Wójcik</i>	
1.6.1.	Rodzaje witamin . . . . .	92
1.6.2.	Struktury chemiczne i cechy fizyczne . . . . .	92
1.6.3.	Mierniki ilościowe . . . . .	94
1.6.4.	Działanie witamin w organizmie zwierząt . . . . .	94
1.6.5.	Ewolucja stosowania witamin . . . . .	96
1.6.6.	Wrażliwość witamin na czynniki środowiskowe . . . . .	97
1.6.7.	Nazewnictwo witamin . . . . .	98
1.6.8.	Witamina A . . . . .	100
1.6.9.	Kalcyferole — witamina D . . . . .	103
1.6.10.	Tokoferole — witamina E . . . . .	105
1.6.11.	Menadion — witamina K . . . . .	107
1.6.12.	Tiamina — witamina B <sub>1</sub> . . . . .	108
1.6.13.	Ryboflawina — witamina B <sub>2</sub> . . . . .	110
1.6.14.	Niacyna — witamina B <sub>3</sub> . . . . .	111
1.6.15.	Kwas pantotenowy — witamina B <sub>5</sub> . . . . .	113
1.6.16.	Pirydoksyna — witamina B <sub>6</sub> . . . . .	114
1.6.17.	Biotyna — witamina H . . . . .	115
1.6.18.	Kwas foliowy . . . . .	116

1.6.19. Cyjanokobalamina — witamina B <sub>12</sub> . . . . .	117
1.6.20. Kwas askorbinowy — witamina C . . . . .	119
1.6.21. Substancje traktowane jako witaminy . . . . .	120
<b>1.7. Antyżywieniowe i toksyczne składniki pasz . . . . .</b>	<b>122</b>
• <i>Dorota Jamroz</i>	
<b>2. BUDOWA PRZEWODU POKARMOWEGO ZWIERZĄT GOSPODARSKICH . . . . .</b>	<b>134</b>
• <i>Julian Kamiński</i>	
<b>2.1. Przewód pokarmowy świni . . . . .</b>	<b>136</b>
<b>2.2. Przewód pokarmowy konia . . . . .</b>	<b>142</b>
<b>2.3. Budowa przewodu pokarmowego kury . . . . .</b>	<b>146</b>
<b>2.4. Budowa przewodu pokarmowego przeżuwaczy . . . . .</b>	<b>150</b>
<b>3. POBRANIE, TRAWIENIE I WCHŁANIANIE . . . . .</b>	<b>157</b>
• <i>Zygmunt Maciej Kowalski</i> . . . . .	<i>157</i>
<b>3.1. Pobranie paszy . . . . .</b>	<b>157</b>
3.1.1. Regulacja mechaniczna pobrania paszy . . . . .	160
3.1.2. Regulacja fizjologiczna pobrania paszy . . . . .	161
3.1.3. Inne czynniki decydujące o pobraniu paszy . . . . .	164
<b>3.2. Trawienie . . . . .</b>	<b>166</b>
3.2.1. Enzymy trawienne . . . . .	168
3.2.2. Trawienie u zwierząt jednożołądkowych . . . . .	170
3.2.2.1. Trawienie w jamie gębowej . . . . .	170
3.2.2.2. Trawienie w żołądku . . . . .	171
3.2.2.3. Trawienie w jelicie cienkim . . . . .	173
3.2.2.4. Trawienie w jelicie grubym . . . . .	176
3.2.2.5. Trawienie u drobiu . . . . .	177
<b>3.3. Wchłanianie . . . . .</b>	<b>179</b>
3.3.1. Wchłanianie cukrów . . . . .	180
3.3.2. Wchłanianie białek . . . . .	180
3.3.3. Wchłanianie tłuszczów . . . . .	181
3.3.4. Wchłanianie wody, składników mineralnych oraz witamin . . . . .	182
<b>3.4. Trawienie i wchłanianie składników pokarmowych u przeżuwaczy . . . . .</b>	<b>183</b>
3.4.1. Trawienie węglowodanów w żwaczu . . . . .	188
3.4.2. Przemiany składników azotowych w żwaczu . . . . .	194
3.4.3. Przemiany tłuszczów w żwaczu . . . . .	202
3.4.4. Trawienie i wchłanianie w jelicie cienkim przeżuwaczy . . . . .	206
<b>3.5. Metody oznaczania strawności składników pokarmowych . . . . .</b>	<b>209</b>
3.5.1. Metody <i>in vivo</i> . . . . .	210
3.5.1.1. Metoda bilansowa, czyli klasyczna . . . . .	210
3.5.1.2. Metoda wskaźnikowa . . . . .	212
3.5.1.3. Strawność pozorna i rzeczywista . . . . .	214
3.5.1.4. Badania strawnościowe u drobiu . . . . .	215

3.5.2.	Metody woreczków nylonowych . . . . .	215
3.5.3.	Metody laboratoryjne (metody <i>in vitro</i> ) . . . . .	216
3.5.4.	Szacowanie współczynników strawności na podstawie składu chemicznego paszy (metody matematyczne) . . . . .	219
<b>3.6.</b>	<b>Czynniki wpływające na strawność składników pokarmowych . . . . .</b>	<b>221</b>
<b>4.</b>	<b>PRZEMIANA MATERII I ENERGII . . . . .</b>	<b>228</b>
<b>4.1.</b>	<b>Przemiana węglowodanów . . . . .</b>	<b>228</b>
	• <u>Stanisław Buraczewski</u> , <i>Lucyna Buraczewska</i>	
4.1.1.	Synteza glukozy . . . . .	229
4.1.2.	Rozkład glukozy . . . . .	229
4.1.3.	Cykl kwasów trikarboksylowych . . . . .	233
4.1.4.	Cykl pentozofosforanowy . . . . .	236
4.1.5.	Synteza glikogenu i laktozy . . . . .	237
4.1.6.	Przemiany u przeżuwaczy . . . . .	239
<b>4.2.</b>	<b>Przemiana tłuszczowców . . . . .</b>	<b>241</b>
	• <i>Stefania Smulikowska</i>	
4.2.1.	Przemiana lipidów, rozkład, synteza . . . . .	241
4.2.2.	Niezbędne kwasy tłuszczowe . . . . .	247
4.2.3.	Dynamika odkładania tłuszczu . . . . .	249
4.2.4.	Wpływ jakości tłuszczu paszy na jakość i skład odłożonego tłuszczu . . . . .	251
4.2.5.	Skład tłuszczu mleka . . . . .	252
4.2.6.	Zakłócenia w przemianie tłuszczów . . . . .	254
4.2.7.	Tolerancja na tłuszcz . . . . .	255
4.2.8.	Zapotrzebowanie na tłuszcz . . . . .	256
<b>4.3.</b>	<b>Przemiana białek . . . . .</b>	<b>257</b>
	• <i>Lucyna Buraczewska</i> , <u>Stanisław Buraczewski</u>	
4.3.1.	Biosynteza i rozkład aminokwasów . . . . .	257
4.3.2.	Biosynteza i rozkład białek . . . . .	263
4.3.3.	Zapotrzebowanie na białko . . . . .	268
	4.3.3.1. Zapotrzebowanie bytowe . . . . .	270
	4.3.3.2. Zapotrzebowanie produkcyjne . . . . .	272
4.3.4.	Bilans azotu . . . . .	283
	• <i>Barbara Pastuszewska</i>	
4.3.5.	Metody oceny wartości odżywczej (biologicznej) białka . . . . .	286
4.3.6.	Optymalne profile aminokwasów w diecie dla zwierząt monogastrycznych — „białko idealne” . . . . .	291
	• <i>Dorota Jamroz</i>	
<b>4.4.</b>	<b>Przemiana energii . . . . .</b>	<b>299</b>
	• <i>Andrzej Chwalibóg, Ewa Sawosz Chwalibóg</i>	
4.4.1.	Wprowadzenie do bioenergetyki . . . . .	299
4.4.2.	Procesy kataboliczne . . . . .	301
	4.4.2.1. Utlenianie węglowodanów . . . . .	302

4.4.2.2.	Utlenianie tłuszczu . . . . .	303
4.4.2.3.	Utlenianie białka . . . . .	305
4.4.3.	Procesy anaboliczne . . . . .	307
4.4.3.1.	Wydatek energii na syntezę węglowodanów . . . . .	307
4.4.3.2.	Wydatek energii na syntezę tłuszczu . . . . .	308
4.4.3.3.	Wydatek energii na syntezę białka . . . . .	309
4.4.4.	Pomiary przemiany energii . . . . .	311
4.4.4.1.	Kalorymetryczne metody określania produkcji ciepła . . . . .	311
4.4.4.2.	Metoda RQ (respiratory quotient — współczynnik oddechowy) . . . . .	314
4.4.4.3.	Metoda CN (bilans węgla i azotu) . . . . .	316
4.4.4.4.	Oszacowanie produkcji ciepła metodą podwójnie znakowanej wody . . . . .	318
4.4.4.5.	Inne metody oznaczania bilansu energii . . . . .	319
4.4.5.	Podział energii w organizmie . . . . .	320
<b>5.</b>	<b>PRZEMIANY SKŁADNIKÓW MINERALNYCH . . . . .</b>	<b>326</b>
	• <i>Dorota Jamroz</i>	
5.1.	Absorpcja i wydalanie, dostępność składników mineralnych . . . . .	326
5.2.	Tworzenie rezerw i mobilizacja składników mineralnych . . . . .	330
5.3.	Współzależności między składnikami mineralnymi (synergistyczne i antagonistyczne działanie) . . . . .	332
5.4.	Metody określania zapotrzebowania zwierząt na składniki mineralne . . . . .	334
5.5.	Zawartość składników mineralnych w dawkach dla różnych gatunków zwierząt — zapotrzebowanie na makro- i mikroelementy . . . . .	336
<b>6.</b>	<b>ŻYWIENIOWE METODY OGRANICZANIA SKAŻENIA ŚRODOWISKA NATURALNEGO . . . . .</b>	<b>340</b>
	• <i>Adam Cieślak, Małgorzata Szumacher-Strabel, Damian Józefiak, <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">Andrzej Potkański</span></i>	
6.1.	Emisja gazów cieplarnianych . . . . .	340
6.2.	Emisja azotu i fosforu . . . . .	344
6.2.1.	Zwierzęta przeżuwające . . . . .	344
6.2.2.	Zwierzęta nieprzeżuwające . . . . .	345
<b>7.</b>	<b>SYSTEMY OCENY WARTOŚCI POKARMOWEJ PASZ I ZAPOTRZEBOWANIA ZWIERZĄT . . . . .</b>	<b>349</b>
7.1.	Historia systemów i mierników wartościowania pasz . . . . .	349
	• <i>Aleksandra Ziotecka</i>	
7.2.	Systemy oceny wartości pokarmowej pasz i zapotrzebowania u przeżuwaczy . . . . .	357
	• <i>Zygmunt Maciej Kowalski</i>	
7.2.1.	Systemy oceny wartości energetycznej pasz i zapotrzebowania zwierząt przeżuwających . . . . .	357
7.2.2.	Wartość energetyczna pasz dla przeżuwaczy według francuskiego systemu INRA . . . . .	359

7.2.3.	Zapotrzebowanie energetyczne zwierząt przeżuwających . . . . .	363
7.2.4.	Systemy oceny wartości pokarmowej białka pasz i zapotrzebowania zwierząt przeżuwających . . . . .	366
7.2.5.	Wartość pokarmowa białka pasz według francuskiego systemu INRA . . . . .	368
7.2.6.	Zapotrzebowanie zwierząt na BTJ . . . . .	372
7.2.7.	MetTJ %BTJE i LizTJ %BTJE — dodatkowe jednostki systemu białkowego INRA . . . . .	374
7.2.8.	System wypełnienia w systemie INRA . . . . .	376
7.2.8.1.	Wartość wypełnieniowa pasz . . . . .	376
7.2.9.	Zdolność pobrania paszy . . . . .	378
<b>7.3.</b>	<b>Systemy wartościowania energii i białka dla świń . . . . .</b>	<b>380</b>
	• <i>Stanisław Buraczewski</i>	
7.3.1.	Wartość energetyczna pasz dla świń . . . . .	380
7.3.2.	Wartość białka dla świń . . . . .	388
<b>7.4.</b>	<b>Określenie zapotrzebowania na energię i białko u koni . . . . .</b>	<b>390</b>
	• <i>Aleksandra Ziotecka</i>	
7.4.1.	Zapotrzebowanie koni na energię . . . . .	390
7.4.2.	Zapotrzebowanie koni na białko . . . . .	392
<b>7.5.</b>	<b>Systemy oceny wartości pokarmowej i zapotrzebowania u drobiu . . . . .</b>	<b>394</b>
	• <i>Jan Barteczko</i>	
<b>7.6.</b>	<b>Systemy oceny wartości pokarmowej i zapotrzebowania u zwierząt futerkowych . . . . .</b>	<b>403</b>
<b>7.7.</b>	<b>Systemy oceny wartości pokarmowej i zapotrzebowania u psów i kotów . . . . .</b>	<b>408</b>
<b>7.8.</b>	<b>Systemy oceny wartości pokarmowej i zapotrzebowania u ryb . . . . .</b>	<b>413</b>
<b>8.</b>	<b>NUTRIGENOMIKA . . . . .</b>	<b>417</b>
	• <i>Zygmunt M. Kowalski, Paweł Górka</i>	
<b>8.1.</b>	<b>Definicje . . . . .</b>	<b>418</b>
<b>8.2.</b>	<b>Nutrigenomika, czyli poszukiwanie diety optymalnej . . . . .</b>	<b>420</b>
<b>8.3.</b>	<b>Mechanizmy wpływu składników pokarmowych na ekspresję genów . . . . .</b>	<b>421</b>
<b>8.4.</b>	<b>Narzędzia nutrigenomiki . . . . .</b>	<b>424</b>
<b>8.5.</b>	<b>Przykład wykorzystania techniki DNA microarray w badaniach nutrigenomicznych na zwierzętach . . . . .</b>	<b>425</b>
<b>SKOROWIDZ</b>	<b>. . . . .</b>	<b>429</b>