

Andrzej Małkiewicz, Stefan Wieczorek  
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa  
Pomorskie Centrum Badań w Gdańsku  
Stanisław Stężala  
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa  
Pomorskie Centrum Badań w Gdańsku  
Instytut Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej w Szczecinie

## WPŁYW STOPNIA NAPEŁNIENIA I PRĘDKOŚCI PRZESUWU CIĘGNA NA WYDAJNOŚĆ I ENERGOCHŁONNOŚĆ TRANSPORTU PASZ GRANULOWANYCH PRZENOŚNIKIEM LINOWO-KRAŻKOWYM

### Streszczenie

Badania przeprowadzono na doświadczalnym przenośniku lino-wo-krażkowym o napędzie ciernym, zbudowanym z typowych elementów stosowanych w seryjnie produkowanych przenośnikach. Wyznaczono zależności pomiędzy jednostkowymi wskaźnikami zużycia energii oraz wydajnością przenośnika a prędkością przesuwu cięgna przy różnych stopniach napełnienia, otrzymując równania regresji prostej. Uzyskano bardzo wysokie wartości współczynnika determinacji  $R^2$  od 0,969 do 0,996 (jednostkowy wskaźnik zużycia energii) oraz  $R^2 = 1$  (wydajność przenośnika). Stwierdzono, że ze wzrostem prędkości przesuwu cięgna wzrasta dla wszystkich stopni napełnienia jednostkowy wskaźnik zużycia energii oraz wydajność przenośnika. Ustalono, że wzrost prędkości powoduje wzrost jednostkowego wskaźnika zużycia energii, a wzrost stopnia napełnienia - jego obniżenie znacznie większe niż wzrost przy zwiększeniu prędkości przesuwu cięgna.

**Słowa kluczowe:** przenośnik lino-wo-krażkowy, energochłonność, wydajność, pasza granulowana, stopień napełnienia, prędkość przesuwu

### Wstęp

W większości specjalistycznych gospodarstw hodowlanych, a przede wszystkim w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji trzody chlewnej i drobiu, proces przygotowania i zadawania pasz jest całkowicie zmechanizowany. Przenośniki lino-wo-krażkowe, które należą do zgarniakowych przenośników rurowych, są bardzo często stosowane w rozwiązaniach systemów wewnątrz-zakładowego transportu materiałów sypkich, gdyż są bezpieczne pod wzglę-

dem technologicznym i ekologicznym oraz zapewniają niezawodną szczelność. Najczęściej stosowane są one w obiektach chowu trzody chlewnej na odcinku od urządzeń przygotowujących paszę do punktów ich zadawania [Myczko 1992]. Także podejmowane są próby zastosowania przenośników linowo-krażkowych w stacjonarnych liniach paszowych przeznaczonych do mechanizacji zadawania pasz dla owiec i bydła [Jugowar 1992].

Bardzo istotnym z praktycznego punktu widzenia wskaźnikiem, umożliwiającym wybór przenośnika, jest jego wydajność, która powinna być dostosowana do potrzeb technologicznych chowu. Wydajność z kolei jest zmienną, zależną od wskaźników techniczno-konstrukcyjnych przenośnika, takich jak średnica przewodu rurowego, średnica i podziałka osadzenia krażków ciągną linowo-krażkowego oraz parametrów jego pracy, a przede wszystkim od stopnia napełnienia przewodu paszowego i prędkości przesuwu ciągną linowo-krażkowego.

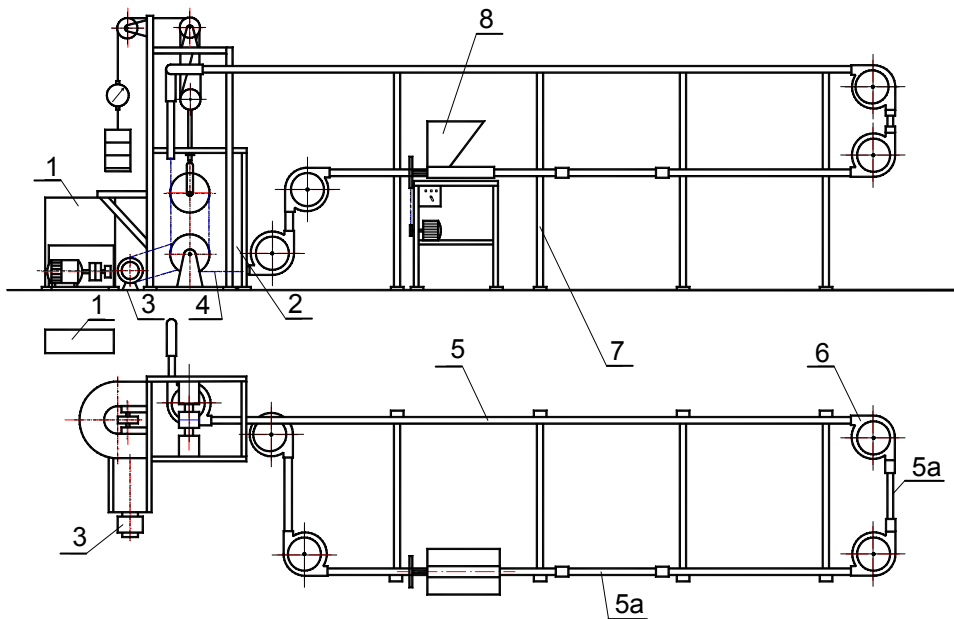
Przy stałych ww. wskaźnikach techniczno-konstrukcyjnych, w tym również liczbie punktów zmian kierunku przesuwania się ciągną linowo-krażkowego, wydajność i zapotrzebowanie na moc, związane z pracą przenośnika zależą głównie od stopnia napełnienia przewodu i prędkości przesuwu ciągną [Krasik, Sidorenko 1973, Pankowski, Domagalski 1997; Małkiewicz 2007]. Powyższe upoważnia do stwierdzenia, że zwiększając stopień napełnienia przenośnika i prędkość przesuwu ciągną, zwiększamy jego wydajność i zużycie energii w trakcie pracy.

Należy jednakże postawić pytanie, do jakich wartości można zwiększać (dla wybranego przenośnika) obydwa ww. parametry i przy jakich ich wartościach można uzyskać założoną wydajność, przy najniższym zużyciu energii, a tym samym najwyższą efektywność pracy przenośnika.

Celem pracy było udzielenie odpowiedzi na wyżej postawione pytanie, poprzez empiryczne wyznaczenie zależności pomiędzy wydajnością i zużyciem energii a podstawowymi parametrami pracy przenośnika linowo-krażkowego przy transporcie granulowanych pasz dla trzody chlewnej.

### **Metodyka badań**

Skonstruowano i wykonano stanowisko badawcze (rys. 1) o napędzie ciernym, wyposażone w silnik elektryczny, umożliwiający płynną zmianę obrotów koła napędowego przenośnika linowo-krażkowego o długości ciągną linowo-krażkowego  $L = 28,88$  m. Średnica wewnętrzna rury wynosiła 46 mm, a średnica krażków 38 mm, podziałka ciągną linowo-krażkowego 50 mm, średnica liny ciągną 6 mm. Przenośnik zasilany był w paszę z dozownika ślimakowego, umożliwiającego płynną zmianę jej ilości zadawanej do przewodu paszowego. Długość odcinka roboczego przenośnika (odległość od punktu zasypywania do punktu opróżniania) wynosiła 17,77 m [Małkiewicz 2001].



Rys. 1. Stanowisko badawcze - przenośnik linowo-krażkowy: 1- hydrauliczny agregat napędowy, 2- konstrukcja wsporcza zespołu napędowego, 3- zespół napędowy z naciągami, 4- ciągnio linowo-krażkowe, 5- rury transportujące paszę, 5a- odcinki rur z przezroczystego metalplexu, 6- koła kierunkowe, 7- konstrukcja wsporcza rur transportujących paszę, 8- dozownik ślimakowy z napędem i zbiornikiem paszy

Fig. 1. Testing stand of the cable-disc feed conveyor: 1- hydraulic drive unit, 2- bracket supporting driving unit, 3- driving unit with stretcher, 4- cable-disc string, 5- feed transporting pipes, 5a- transparent metalplex pipe sections, 6- direction wheels, 7- bracket supporting feed transport pipes, 8- screw batcher with the drive and feed container

Do badań używano paszę granulowaną SUPERFINISZ (mieszanka pełnoporcjowa), przeznaczoną dla tuczników od 70 kg wagi do końca tuczu. Wilgotność paszy wynosiła 12%, a jej gęstość w stanie usypowym 599 kg/m<sup>3</sup> [PN-ISO 6496.2002].

Moc ( $P$ ) potrzebną do przemieszczania ciągnia linowo-krażkowego wewnątrz rury transportowej wyznaczano dla wszystkich przyjętych prędkości i dla różnych stopni napełnienia przewodu wg równania [Moszyński 1954]:

$$P = \frac{M * n}{0,9735}, \text{ W} \quad (1)$$

gdzie:

$M$  - moment obrotowy pomierzony na kole napędowym, Nm,  
 $n$  - liczba obrotów koła napędowego, 1/min.

Moment obrotowy mierzono stosując momentomierz-czujnik Mi20 oraz miernik ALFA1000, współpracujący z komputerem klasy IBM PC rejestrujący wartości momentu obrotowego i prędkości obrotowej z częstotliwością 1Hz.

Stopień napełnienia przewodu paszowego ( $\psi$ ) wyznaczano jako stosunek objętości roboczego odcinka przewodu zajętego przez transportowaną paszę ( $V_p$ ), do całkowitej czynnej objętości tego odcinka ( $V_t$ ):

$$\psi = \frac{V_p}{V_t} \quad (2)$$

gdzie:  $V_p = V_o - V_c$  (3)

gdzie:

$V_o$  - objętość roboczego odcinka przewodu paszowego przenośnika,  $\text{dm}^3$ ,  
 $V_c$  - objętość ciągną linowo-krażkowego,  $\text{dm}^3$ .

Przy stałej gęstości ( $\gamma$ ) badanej paszy

$$\psi = \frac{G_p}{G_t} \quad (4)$$

gdzie:

$G_p$  - masa paszy znajdującej się w roboczym odcinku przewodu, kg,

$G_t$  - masa paszy wypełniającej całkowicie roboczy odcinek przewodu, kg.

Stopień napełnienia ( $\psi$ ) ustalano poprzez zmianę prędkości obrotowej ślimaka dozownika ślimakowego [Dietrych i in. 1973], co powodowało zasypanywanie różnej ilości badanej paszy do rury paszowej przenośnika linowo-krażkowego.

Wydajność ( $Q$ ) przenośnika linowo-krażkowego wyznaczano dla każdej prędkości przesuwu ciągną linowo-krażkowego ( $v$ ), przy różnych stopniach napełnienia ( $\psi$ ), na podstawie wyników ważenia paszy odbieranej w punkcie wysypu.

$$Q = \frac{3600 \cdot q}{\tau}, \text{ kg/h} \quad (5)$$

gdzie:

$q$  - ilość paszy przetransportowanej w czasie  $\tau$ ,

$\tau$  - czas transportowania paszy (120 s).

Jako jednostkowy wskaźnik zużycia energii ( $E_e$ ) przyjęto ilość energii elektrycznej zużytej na przetransportowanie 1 kg paszy:

$$E_e = \frac{P}{Q}, \text{ Wh/kg} \quad (6)$$

gdzie:

$P$  - moc, W,

$Q$  - wydajność przenośnika, kg/h.

Do wyznaczenia wpływu zastosowanych parametrów (prędkość przesuwu ciągła roboczego, stopień napełnienia przewodu paszowego) na energochłonność zadawania pasz granulowanych przy pomocy przenośnika linowo-krażkowego zastosowano metodę najmniejszych kwadratów (MNK) [Polański 1968] i współczynników regresji prostej  $y = a + bx$  [Czermiński i in. 1992].

### Wyniki badań

Uzyskane zgodnie z przedstawioną metodyką wyniki badań zestawiono w tabeli 1 oraz zilustrowano na rysunkach 2 i 3. Analiza uzyskanych wyników wykazuje, że zależności pomiędzy prędkością przesuwu ciągła przy różnych stopniach napełnienia przewodu paszowego przenośnika a jednost-

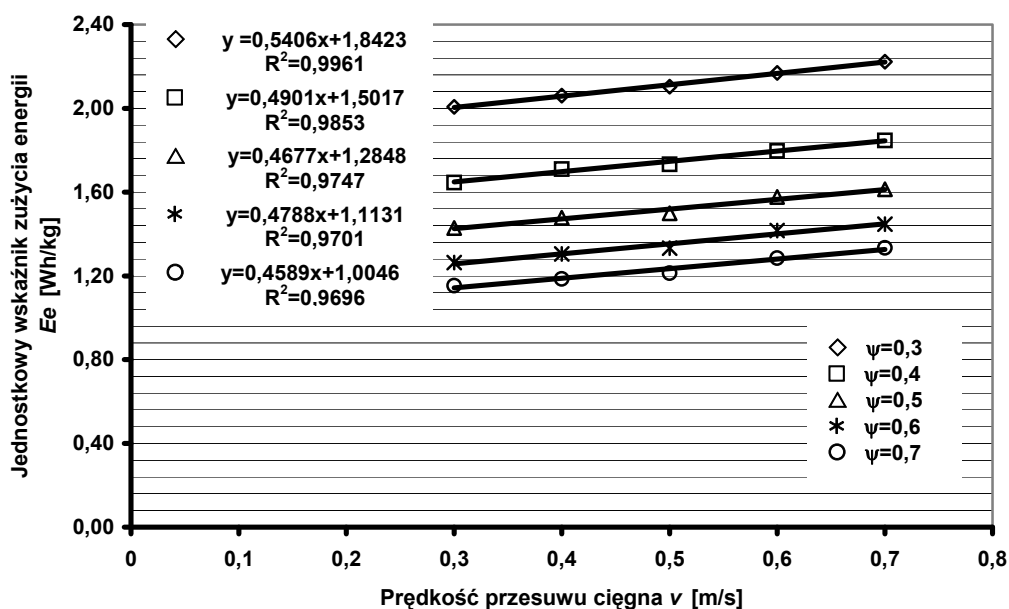
Tabela 1. Wyniki badań transportowania paszy granulowanej o wilgotności  $W = 12\%$  przenośnikiem linowo-krażkowym (stanowisko badawcze) o podziałce osadzenia kważków  $t_1 = 50 \text{ mm}$

Table 1. Test results of transporting pelleted feed (moisture content  $W = 12\%$ ) with the cable disc conveyor (testing stand) of disc mounting scale  $t_1 = 50 \text{ mm}$

Prędkość przesuwu ciągła $v$ (m/s)	Stopień napełnienia $\psi$	Zapotrzebowanie na moc $P(W)$	Wydajność $Q$ (kg/h)	Jednostkowy wskaźnik zużycia energii $E_e$ (Wh/kg)
0,3	0,3	588	293	2,01
	0,4	643	391	1,65
	0,5	698	488	1,43
	0,6	741	586	1,26
	0,7	789	684	1,15
0,4	0,3	805	391	2,06
	0,4	891	521	1,71
	0,5	962	651	1,48
	0,6	1019	782	1,30
	0,7	1081	912	1,19
0,5	0,3	1027	488	2,10
	0,4	1129	651	1,73
	0,5	1220	814	1,50
	0,6	1301	977	1,33
	0,7	1382	1140	1,21
0,6	0,3	1272	586	2,17
	0,4	1405	782	1,80
	0,5	1540	977	1,58
	0,6	1659	1172	1,42
	0,7	1758	1367	1,29
0,7	0,3	1520	684	2,22
	0,4	1684	912	1,85
	0,5	1838	1140	1,61
	0,6	1979	1368	1,45
	0,7	2127	1596	1,33

kowym wskaźnikiem zużycia energii  $E_e$  oraz wydajnością przenośnika  $Q$  są funkcjami liniowymi, odpowiadającymi regresji prostej  $y = a + bx$  o bardzo wysokich wartościach współczynnika determinacji  $R^2$  od 0,969 do 0,996 dla  $E_e = f(v)$  oraz  $R^2 = 1$  dla wszystkich  $Q = f(v)$ .

Wraz ze wzrostem prędkości przesuwu cięgna wzrasta dla wszystkich stopni napełnienia przewodu paszowego jednostkowy wskaźnik zużycia energii  $E_e$  oraz wydajność przenośnika  $Q$  (rys. 2, 3), przy czym tak, jak wzrost prędkości powoduje wzrost jednostkowego wskaźnika zużycia energii, tak wzrost stopnia napełnienia powoduje jego obniżenie (rys. 2) i podwyższenie wydajności przenośnika (rys. 3).



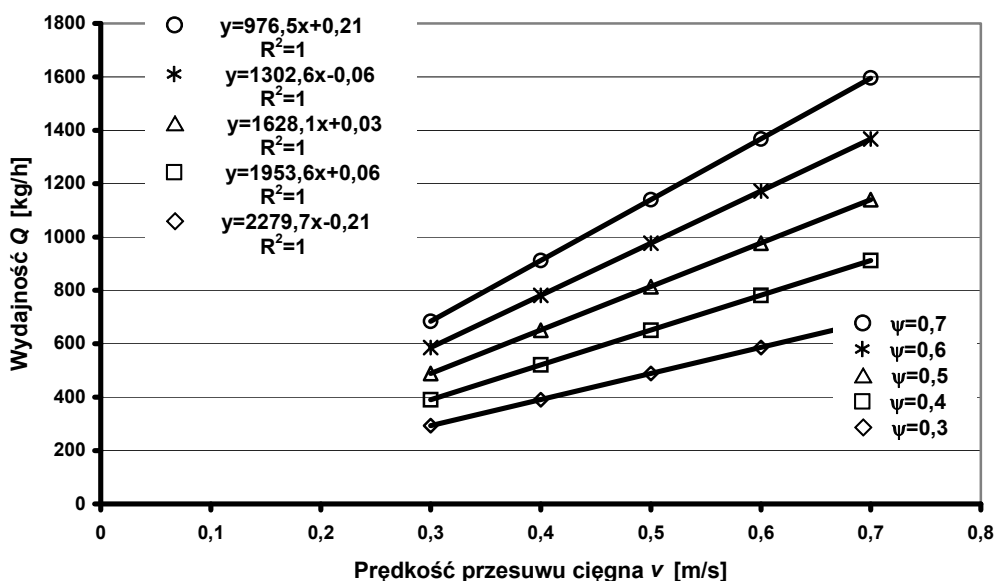
Rys. 2. Zależność jednostkowego wskaźnika zużycia energii  $E_e$  od prędkości przesuwu cięgna, przy różnych stopniach napełnienia przenośnika

Fig. 2. Unitary index of energy consumption  $E_e$  as dependent on string travelling velocity at different degrees of conveyor filling

Zwiększenie prędkości przesuwu cięgna z  $v = 0,3$  m/s do  $v = 0,7$  m/s przy stopniu napełnienia  $\psi = 0,3$ , powoduje wzrost  $E_e$  zaledwie o 10,4%, natomiast wzrost wydajności  $Q$  aż o 133%. Z kolei wzrost stopnia napełnienia z  $\psi = 0,3$  do  $\psi = 0,7$  powoduje spadek jednostkowego wskaźnika zużycia energii  $E_e$  od 42% (dla  $v = 0,3$  m/s) do 40% (dla  $v = 0,7$  m/s) oraz wzrost wydajności przenośnika  $Q$  o 133% dla wszystkich prędkości przesuwu cięgna od  $v = 0,3$  m/s do  $v = 0,7$  m/s.

Dysponując osiągniętymi wynikami (tab. 1, rys. 2 i 3), można dla założonej wydajności wybrać najkorzystniejszy jednostkowy wskaźnik zużycia energii  $E_e$  i wyznaczające go parametry transportu ( $v$ ,  $\Psi$ ), umożliwiające energooszczędną, efektywną pracę przenośnika.

W przypadku założonej wydajności  $Q = 1000$  kg/h, najkorzystniejszym jednostkowym wskaźnikiem zużycia energii jest  $E_e = 1,21$  Wh/kg paszy, co przy założonej ilości paszy umożliwi jej przetransportowanie w czasie 0,9 godz (1000 kg/h : 1,14 kg/h) przy zużyciu 1,21 kWh (1000 kg x 1,21 Wh/kg), przy prędkości przesuwu cięgna  $v = 0,5$  m/s i stopniu napełnienia  $\Psi = 0,7$  (tab. 1). Nieznacznie mniejsze zużycie energii można by uzyskać przy wyborze  $E_e = 1,15$  Wh/kg i charakterystycznych dla niego parametrach  $v = 0,3$  m/s i  $\Psi = 0,7$  m/s, co związane byłoby z wydłużeniem do 1,5 godz. czasu transportu (1000 kg/h : 684 kg/h).



Rys. 3. Zależność wydajności przenośnika  $Q$  od prędkości przesuwu cięgna, przy różnych stopniach napełnienia przenośnika

Fig. 3. Conveyor output as dependent on string travelling velocity, at different degrees of conveyor filling

### Stwierdzenia i wnioski

1. Analiza uzyskanych na zastosowanym do badań stanowisku-przenośniku doświadczalnym wyników transportu pasz granulowanych wykazuje, że zależności pomiędzy prędkością przesuwu cięgna przy różnych stopniach napełnienia przewodu paszowego przenośnika, a jednostkowymi wskaźnikami zużycia energii  $E_e$  oraz wydajnością przenośnika  $Q$ , są funkcjami liniowymi, odpowiadającymi regresji prostej  $y = a + bx$ .

2. Wraz ze wzrostem prędkości przesuwu ciągną wzrasta dla wszystkich stopni napełnienia jednostkowy wskaźnik zużycia energii  $E_e$  oraz wydajność przenośnika  $Q$ , przy czym tak jak wzrost prędkości przy stałym stopniu napełnienia powoduje wzrost wskaźnika  $E_e$ , tak wzrost stopnia napełnienia przy stałej prędkości przesuwu ciągną powoduje jego obniżenie.
3. Wzrost stopnia napełnienia od  $\Psi = 0,3$  do  $\Psi = 0,7$  powoduje przy stałej prędkości przesuwu ciągną zwiększenie o 130% wydajności  $Q$  przenośnika oraz zmniejszenie jednostkowego wskaźnika zużycia energii  $E_e$  o około 40%. Podobnie wzrost prędkości przesuwu ciągną od  $v = 0,3$  m/s do  $v = 0,7$  m/s przy stałym stopniu napełnienia, powoduje identyczne zwiększenie wydajności  $Q$ , jednakże przy zwiększeniu wskaźnika  $E_e$  o około 10%
4. Z powyższego wynika, że poprawę efektywności energetycznej transportu pasz przenośnikami linowo-krażkowymi można najkorzystniej osiągnąć przez wzrost stopnia napełnienia przy prędkości przesuwu ciągną umożliwiającej uzyskanie w wymaganym czasie założonej wydajności  $Q$  transportu.

### **Bibliografia**

- Czermiński J.B., Iwasiewicz A., Paszek Z., Sikorski A. 1992. Metody statystyczne dla chemików. PWN, Warszawa
- Dietrych J., Korewa W., Kornberger Z., Zygmunt K. 1973. Podstawy konstrukcji maszyn. Część III. WNT, Warszawa
- Jugowar L. 1992. Technika komputerowa w żywieniu krów w oborach bezuwiązowych. Materiały na konferencję nt. Nowe techniki w produkcji zwierzęcej. Warszawa, ss. 10-14
- Krasik M., Sidorenko W. 1973. Niekatoryje rezultaty issledowanija trubczatogo transportera s troso-szajbowym raboczym organom. Issledowanije i konstruirowanije maszin dla żiwotnowodstwa. WISCHOM, ss. 77-83
- Małkiewicz A. 2001. Wpływ stopnia napełnienia na energochłonność zadawania pasz przenośnikiem linowo-krażkowym. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa nt. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i przepisów UE. Warszawa, ss. 156-160.
- Małkiewicz A. 2007. Wpływ rodzaju pasz i parametrów transportu na energochłonność pracy przenośników linowo-krażkowych. Rozprawa doktorska, IBMER, Warszawa
- Moszyński W. 1954. Wykład elementów maszyn. Część III - napędy. PWT, Warszawa
- Myczko A. 1992. Nowe technologie w żywieniu i utrzymaniu trzody chlewnej. Materiały na konferencję nt. Nowe techniki w produkcji zwierzęcej. Warszawa, ss. 20-32



Pankowski Z., Domagalski Z. 1997. Badania ciernych elementów napędowych przenośnika linowo-krażkowego. Sprawozdanie z badań IBMER O/Poznań

PN-ISO 6496. 2002. Pasze. Oznaczanie wilgotności i zawartości innych substancji lotnych. Warszawa

Polański Z. 1968. Praktyczne metody wyznaczania niektórych wzorów empirycznych. Pomiary, automatyka, kontrola. 6: 254-258

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2006 jako projekt badawczy.*