

Piotr Grudnik  
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach  
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku

## ENERGOCHŁONNOŚĆ PRZECHOWYWANIA ZIEMNIAKÓW W PRZECHOWALNIACH GOSPODARSTW ROLNYCH

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki oceny technologii przechowywania ziemniaków luzem w przechowalniach wybranych gospodarstw rolnych pod względem skumulowanych nakładów energetycznych, przeprowadzonej w latach 2006–2008. Do obliczeń energochłonności przyjęto wskaźniki stosowane w IBMER oraz na podstawie literatury i badań własnych. Podczas badań zastosowano rejestratory do pomiaru zużycia energii elektrycznej przez urządzenia techniczne w przechowalniach, co umożliwiło precyzyjne określenie energochłonności przechowywania ziemniaków w badanych obiektach. Uzyskano następujące wskaźniki energochłonności: w obiekcie I – od 465,6 do 480,8 MJ·Mg<sup>-1</sup>, w II – od 300,8 do 419,7 MJ·Mg<sup>-1</sup>. Udział energii elektrycznej wyniósł odpowiednio: w obiekcie I – 33,7–44,8%, w II – 34,6–46,7%. Zastosowanie rejestratorów umożliwiło też określenie stopnia obciążenia silników elektrycznych napędzających urządzenia techniczne w przechowalniach. Wskaźnik efektywności energetycznej przechowywania ziemniaków w przechowalni I wyniósł 5,3, w II – 6,9 i był wyższy o 32%. Energochłonność przechowywania 1 Mg ziemniaków w przeliczeniu na jeden dzień była mniejsza w przechowalni II, która miała większą komorę, a okres przechowywania był dłuższy. W przechowalniach ziemniaków rachunek energetyczny może być pomocny w ocenie nowych technologii przechowywania, a pomiar zużycia energii elektrycznej przez urządzenia techniczne umożliwi racjonalny ich dobór pod względem potrzebnej mocy.

**Słowa kluczowe:** przechowywanie, ziemniak, efektywność energetyczna, energochłonność

### Wstęp

W dobie postępującego kryzysu energetycznego we współczesnym świecie zmniejszanie zużycia energii jest zadaniem dla wszystkich sektorów gospodarki, w tym także rolnictwa. Dotyczy to również zużycia energii elektrycznej wykorzystywanej do eksploatacji urządzeń technicznych w przechowalniach ziemniaków.

Ziemniaki przeznaczone do przetwórstwa spożywczego muszą spełniać wysokie wymagania odbiorcy. Te wymagania zmuszają producentów do uzyskania ziemniaków odpowiedniej jakości w wyniku prawidłowej technologii produkcji oraz zachowania tej jakości podczas długiego okresu przechowywania (nawet do 9 miesięcy), w optymalnych warunkach termiczno-wilgotnościowych. Takie warunki mogą zapewnić tylko dobrze funkcjonujące przechowalnie z klimatyzacją [Czerko 2001]. Przechowywanie ziemniaków należy do najważniejszych i jednocześnie do najtrudniejszych etapów w technologii produkcji ziemniaków na cele przetwórcze. Oprócz ograniczenia strat przechowalniczych i zachowania wymaganych cech jakościowych ziemniaków (przechowywanych w przechowalniach), ważne jest zmniejszanie zużycia energii podczas ich przechowywania. Jednym z kryterium oceny technologii przechowywania ziemniaków są kryteria technologiczno-ekonomiczne [Nowacki 2000]. Korzystnym rachunkiem dla producenta może być również metoda analizy energetycznej do oceny danej technologii oraz całych gospodarstw [Wójcicki 2005]. Rachunek ten charakteryzuje się dużą niezależnością od zmiany cen, może także przedstawiać obciążenie energetyczne środowiska.

Celem badań było przeprowadzenie oceny energetycznej technologii przechowywania ziemniaków luzem w przechowalniach gospodarstw rolnych.

### **Miejsce, warunki i metodyka badań**

Analizie poddano dwa gospodarstwa specjalizujące się w produkcji i przechowywaniu ziemniaków dla przemysłu przetwórczego, zlokalizowane na terenie województwa mazowieckiego. Zebrane ziemniaki były przechowywane luzem we własnych przechowalniach przez okres do 9 miesięcy. Gospodarstwo I miało przechowalnię z czterema komorami o łącznej pojemności 4600 m<sup>3</sup> (ok. 3000 Mg) i wysokości składowania do 4,5 m, gospodarstwo II również dysponowało czterema komorami o łącznej pojemności 9200 m<sup>3</sup> (ok. 6000 Mg) i wysokości składowania ok. 5 m. Badaniami objęto jedną z komór w każdej z przechowalni w latach 2006–2008. Przechowalnie były wyposażone w sprzęt do załadunku i rozładunku oraz systemy wentylacji. Były to urządzenia techniczne znanych firm, takich jak Miedema, czy Downs, jak również produkcji własnej (w obiekcie I). Tam ziemniaki były rozładowywane z przyczep wywrotek o ładowności 6–9 Mg do zasobnika dozującego, podawane na stół przebieńczy, a następnie przenośnikami taśmowymi do pryzmownika, który napelniał komorę. W przechowalni II ziemniaki były przywożone przyczepami z przenośnikiem o ładowności do 30 Mg i dozowane do zasobnika oraz na stół przebieńczy, a następnie przenośnikami taśmowymi do pryzmownika. Podczas rozładunku pryzm w obu obiektach stosowano dodatkowo elektryczny podbieracz samojezdny i płuczkę do ziemniaków. Przepływowy system wentylacji składał się z wentylatorów, głównego kanału wentylacyjnego, kanałów rozprowadzających i klap wentylacyjnych. Komora przechowalni I jest wyposażona w 3 wentylatory o łącznej mocy 9 kW, w II

pracuje 5 wentylatorów o mocy 3 kW każdy. Łączna moc zainstalowanych silników elektrycznych w urządzeniach załadowniczych i rozładowniczych w przechowalni I wynosiła 19,1 kW, zaś w II – 20,3 kW. Przechowalnie połączone są instalacją elektryczną z pozostałymi obiektami gospodarstwa (wspólny licznik), co uniemożliwiało określenie zużycia energii elektrycznej całej przechowalni oraz przez poszczególne systemy odbioru podczas użytkowania urządzeń w sezonie. Zużycie energii elektrycznej do napędu urządzeń technicznych w przechowalniach w pierwszym roku badań obliczono na podstawie zainstalowanej mocy silników i czasu ich pracy. W drugim roku badań, w obu badanych obiektach, zainstalowano rejestratory typu Elite, które precyzyjnie określały zużycie energii elektrycznej oddzielnie przez urządzenia załadownicze i rozładownicze oraz system wentylacyjny [Grudnik 2009]. Zainstalowane rejestratory na bieżąco zapisywały m.in.: napięcie, natężenie, moc i czas pracy. Mierniki pozwoliły również określić stopień obciążenia silników napędzających urządzenia techniczne w przechowalni. Stosunek zmierzony za pomocą rejestratorów zużycia energii elektrycznej przez urządzenia techniczne do wartości energii elektrycznej zużywanej teoretycznie (moc silników x czas pracy) umożliwiło określenie stopnia obciążenia silników elektrycznych, zainstalowanych w poszczególnych urządzeniach technicznych. Do oceny budowy i eksploatacji urządzeń w przechowalni wykorzystano wskaźniki jednostkowej energochłonności skumulowanej, przedstawione w pracach: Anuszewskiego i in. [1979], Harasima [1991], Kolosa [2000], Szeptyckiego i Wójcickiego [2003] oraz Muzalewskiego [2007]. Podczas badań wykonano chronometraż pracy urządzeń technicznych w badanych przechowalniach, na podstawie którego obliczono m.in.: wydajność linii załadowniczej i wyładowniczej, nakłady siły roboczej. Określono także masę urządzeń technicznych, części zamiennych, powierzchnię obiektów, zużycie środków chemicznych (zapobiegających kiełkowaniu bulw).

Energochłonność skumulowaną badanych obiektów podzielono na 4 podstawowe strumienie energii:

- A – zużycie bezpośrednich nośników (energii elektrycznej);
- B – zużycie surowców i materiałów;
- C – zużycie obiektów, maszyn i części zamiennych;
- D – nakłady pracy ludzkiej;
- E – łączne nakłady energetyczne na przechowanie 1 Mg ziemniaków w badanych obiektach.

Energochłonność technologii obliczono z zależności [Wójcicki 2000]:

$$E = \sum E_{en.el.} + \sum E_{mat.} + \sum E_{ob.} + \sum E_r \quad (1)$$

gdzie:

- $E$  – energochłonność badanej technologii [ $\text{MJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ ];
- $\sum E_{en.el.}$  – suma energochłonności zużycia energii elektrycznej [ $\text{MJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ ];
- $\sum E_{ms}$  – suma energochłonności zużycia materiałów i surowców [ $\text{MJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ ];

- $\sum E_{ob}$  – suma energochłonności zużycia podczas eksploatacji obiektów, maszyn, urządzeń, części zamiennych [ $\text{MJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$ ];  
 $\sum E_r$  – suma energochłonności pracy ludzkiej [ $\text{MJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$ ].

Energię elektryczną w badanych przechowalniach podzielono na 3 strumienie:

- A – zużycie energii przez urządzenia za- i wyładowcze;
- B – zużycie energii przez system wentylacyjny;
- C – zużycie energii przez oświetlenie;
- D – łączne zużycie energii elektrycznej w badanych obiektach.

Zużycie energii elektrycznej w badanych obiektach (w sezonie 2007/2008) zostało określone dwiema metodami: wyliczona (zainstalowana moc w urządzeniach  $\times$  czas pracy) oraz zmierzona za pomocą rejestratorów.

Określono również efektywność energetyczną przechowywania ziemniaków w badanych przechowalniach [Szeptycki 2002], jako współczynnik niemianowany:

$$E_e = P_e \cdot N_e^{-1} \quad (2)$$

gdzie:

- $E_e$  – wskaźnik efektywności energetycznej;
- $P_e$  – wartość energetyczna 1 Mg ziemniaków w [MJ];
- $N_e$  – nakłady energii na 1 Mg przechowywanych ziemniaków w [MJ].

### Przebieg i wyniki badań

Przeprowadzone badania procesu przechowywania ziemniaków w dwóch przechowalniach gospodarstw rolnych umożliwiły obliczenie energochłonności skumulowanej przechowywania ziemniaków w latach 2006–2008 (tab. 1). Stwierdzono, że energochłonność przechowywania (1 Mg) ziemniaków w przechowalni zależy od czasu przechowywania ziemniaków i pojemności komory przechowalni.

W sezonie 2006/07 okres przechowywania w przechowalni I był prawie trzykrotnie dłuższy niż w przechowalni II, a masa składowanych ziemniaków dwukrotnie mniejsza. W efekcie energochłonność przechowywania 1 Mg ziemniaków była o 57% większa niż w obiekcie II. Jednak energochłonność jednostkowa przechowywania (w przeliczeniu na 1 dobę) była o 17,6% mniejsza w obiekcie I. W sezonach 2007/8 i 2008/9 okres przechowywania był podobny i energochłonność przechowywania 1 Mg ziemniaków w przechowalni II (o większej pojemności) była mniejsza o 19,5% i 10,9% w porównaniu z przechowalnią I. Strukturę energochłonności przechowywania ziemniaków (rys. 1) przeanalizowano w czterech strumieniach energii, zgodnie z metodyką badań. Największą pozycję w energochłonności przechowywanych 1 Mg ziemniaków w badanych przechowalniach stanowiła energia elektryczna, której

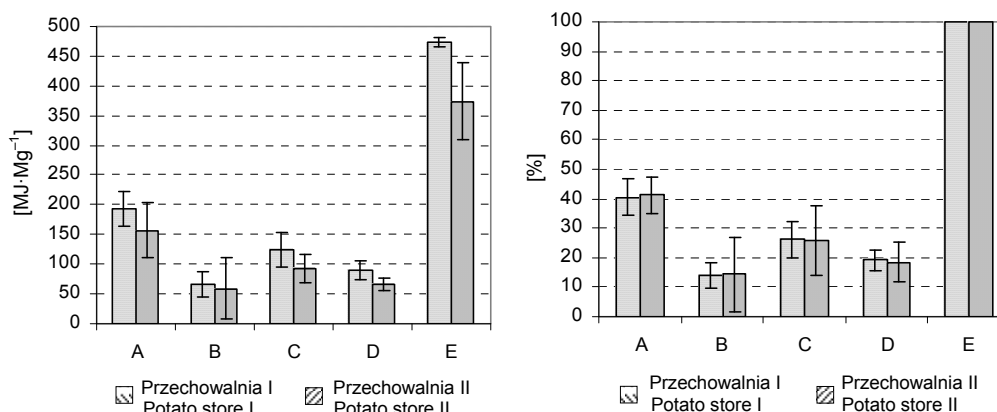
Tabela 1. Energochłonność przechowywania ziemniaków w badanych obiektach  
Table 1. Energy consumption of potato storage in tested objects

Wyszczególnienie Specification	Sezon Season					
	2006/07		2007/08		2008/09	
Obiekt Object	I	II	I	II	I	II
Okres przechowywania [dni] Storage duration [days]	230	80	250	240	240	200
Masa przechowywanych ziemniaków [Mg] Mass of stored potatoes [Mg]	580	1250	650	1150	640	1210
Energochłonność przechowywania w sezonie [ $\text{MJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$ ] Energy consumption of potato storage during the season [ $\text{MJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$ ]	472,4	300,8	480,8 361,9 <sup>1)</sup>	402,5 308,2 <sup>1)</sup>	465,6	419,7
Energochłonność przechowywania [ $\text{MJ}\cdot\text{Mg}^{-1}\cdot\text{dzień}^{-1}$ ] Energy consumption of potato storage [ $\text{MJ}\cdot\text{Mg}^{-1}\cdot\text{dzień}^{-1}$ ]	2,05	2,41	1,92 1,45 <sup>1)</sup>	1,68 1,28 <sup>1)</sup>	1,94	2,10
Wskaźnik efektywności energetycznej $E_e$ Energetic efficiency ratio $E_e$	5,3	8,3	5,2 6,9 <sup>1)</sup>	6,2 8,1 <sup>1)</sup>	5,4	6,2

<sup>1)</sup> Zarejestrowane zużycie energii elektrycznej przez urządzenia techniczne w przechowalni.

<sup>1)</sup> Electric energy consumption recorded by technical devices in the store.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.



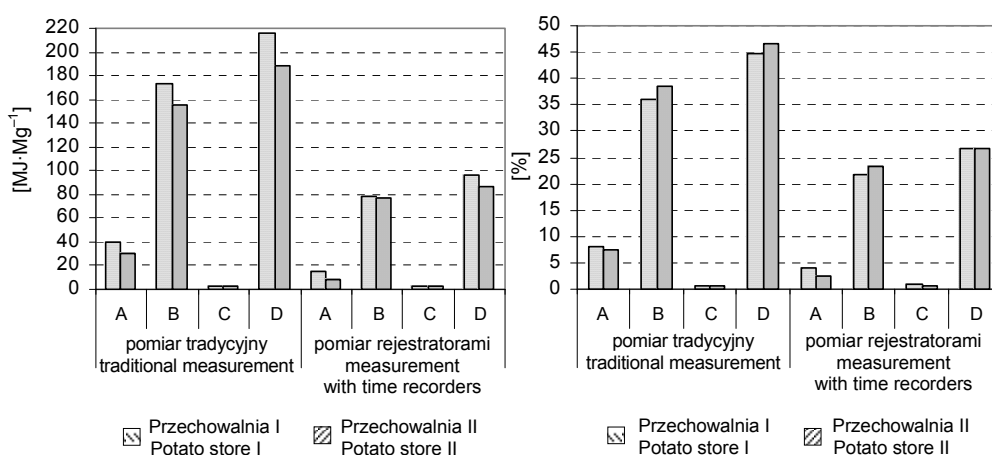
Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 1. Energochłonność przechowywania ziemniaków w sezonach 2006/07–2008/09; wartości średnie; 95-procentowy przedział ufności; A – nośniki energii, B – surowce i materiały, C – urządzenia techniczne, D – robocizna, E – łączne nakłady energetyczne

Fig. 1. Energy consumption by potato storage in the seasons 2006/07–2008/09; mean values; 95% confidence interval; A – energy carriers, B – raw materials and materials, C – technical devices, D – human labour, E – energy inputs in total

średnia wartość z trzech lat badań wyniosła 191,9 MJ w przechowalni I i 156,9 MJ w II. Udział procentowy mieścił się odpowiednio w przedziale 33,7–44,8% w przechowalni I i 34,6–46,7% w II. Podane wartości energii elektrycznej uzyskano z wyliczeń. Po zastosowaniu rejestratorów (w sezonie

2007/08) do pomiaru zużycia energii elektrycznej, pobranej przez urządzenia techniczne w obu przechowalniach (rys. 2) stwierdzono, że energia elektryczna stanowiła 26,6% ogółu nakładów energetycznych na 1 Mg ziemniaków w sezonie przechowalniczym w obydwu obiektach. Zastosowane rejestratory umożliwiły również określenie stopnia obciążenia silników elektrycznych napędzających urządzenia techniczne do załadunku i rozładunku ziemniaków w przechowalniach. Stopień obciążenia tych silników w przechowalni I wyniósł ok. 34%, w II – ok. 45%, zaś obciążenie silników napędzających urządzenia wentylacyjne odpowiednio: ok. 55% i 68%. Można zatem stwierdzić, że dobór silników, zwłaszcza do urządzeń za- i rozładunkowych nie był prawidłowy, głównie w obiekcie I. Było to tzw. przewymiarowanie silników, które wpłynęło na zwiększone zużycie energii elektrycznej przez te urządzenia i w konsekwencji na wzrost energochłonności przechowywania ziemniaków.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 2. Struktura zużycia energii elektrycznej w przechowywaniu ziemniaków (sezon 2007/2008), wyznaczona dwiema metodami; wartości średnie; 95-procentowy przedział ufności; A – załadunek i rozładunek, B – wentylacja, C – oświetlenie, D – łączne nakłady energii elektrycznej

Fig. 2. The structure of electric energy consumption in potato stores (season 2007/2008), determined by two methods; mean values; 95% confidence interval; A – loading and unloading, B – ventilation, C – lighting, D – energy inputs in total

Miarą energochłonności przechowywania ziemniaków luzem w przechowalniach jest wskaźnik efektywności energetycznej, który w przechowalni I wyniósł (średnio w ciągu 3 lat) 5,3, zaś w przechowalni II – 7,0 i był większy o 32%. Uwzględniając faktyczne zużycie energii elektrycznej (zmierzone za pomocą rejestratorów) w sezonie 2007/08, wskaźniki efektywności energetycznej wyniosły w przechowalni I – 6,9, a w II – 8,1. Większy wskaźnik efektywności energetycznej przechowywania ziemniaków nie zawsze oznacza

większą efektywność ekonomiczną. Dłuższe przechowywanie ziemniaków (nawet do 9 miesięcy w sezonie), to większa energochłonność, ale i wyższa cena ziemniaków dostarczonych do przetwórnicy.

### **Wnioski**

1. Przechowywanie ziemniaków w badanych przechowalniach jest technologią energochłonną, której wskaźnik, w zależności od czasu trwania i masy ziemniaków, wynosił w przechowalni I – 465,6–480,8 MJ·Mg<sup>-1</sup>, co odpowiada wartości energetycznej 186,2–192,0 kg ziemniaków; w przechowalni II – 300,8–419,7 MJ·Mg<sup>-1</sup>, co odpowiada wartości energetycznej 120,3–167,9 kg ziemniaków;
2. Największy udział w energochłonności przechowywania 1 Mg ziemniaków ma energia elektryczna; średnio wskaźnik w obu przechowalniach stanowił ok. 40%, tj. w przechowalni I mieścił się w przedziale 33,7–44,8%, a w przechowalni II – 34,6–46,7%.
3. Zastosowanie rejestratorów do pomiaru zużycia energii elektrycznej przez urządzenia techniczne w przechowalniach umożliwiło precyzyjne określenie jej udziału (ok. 27%) w sezonie 2007/08.
4. Użycie rejestratorów do pomiaru zużycia energii elektrycznej umożliwiło określenie stopnia obciążenia silników elektrycznych, napędzających urządzenia załadunkowe i rozładunkowe oraz wentylacyjne, który wyniósł odpowiednio w przechowalni I – 34% i 55%, w przechowalni II – 45% i 68%.
5. Wskaźnik efektywności energetycznej przechowywanych ziemniaków (średni z trzech lat badań) wyniósł w przechowalni I – 5,3, zaś w II – 6,9. Po zmierzeniu zużycia energii elektrycznej w sezonie 2007/08 wskaźniki przybrały następujące wartości: w obiekcie I – 6,9, a w II – 8,1.
6. Przeprowadzenie rachunku energetycznego w przechowalniach ziemniaków jest pomocne podczas oceny nowych rozwiązań technicznych i technologii przechowywania.
7. Zastosowanie precyzyjnych rejestratorów zużycia energii elektrycznej w przechowalniach umożliwia racjonalny dobór urządzeń technicznych wraz z napędem.

### **Bibliografia**

- Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki Z. 1979. Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. Warszawa. IBMER s. 12–33.
- Czerko Z. 2001. Przyszłość przechowywania i konfekcjonowania ziemniaków w Polsce. Wieś Jutra. Nr 3 s. 33–34.
- Grudnik P. 2009. Energochłonność produkcji i przechowywania ziemniaków dla przemysłu przetwórczego. Warszawa. IBMER ss. 31.

Harasim A. 1991. Zbiór mierników i wskaźników stosowanych w badaniach ekonomiczno-rolniczych. Suplement R250, R287. Puławy. IUNG ss. 37.

Kolos W.A. 2000. Ocenočnyje pokazateli dlja energetičeskogo analiza tehnologij i sredsiv mehanizacji sel'skochozjastvenogo proizvodstva. Konf. nauk. Energobereženije w sel'skom chozjajstve. Moskwa. WIESCH s. 101–109.

Muzalewski A. 2007. Koszty eksploatacji maszyn. Nr 22. Warszawa. IBMER ss. 41.

Nowacki W. 2000. Uwarunkowania strukturalno-ekonomiczne i rynkowe produkcji i przechowalnictwa ziemniaka – przegląd piśmiennictwa i wyniki badań własnych. Biuletyn IHAR. Nr 213 s. 5–17.

Szeptycki A. 2002. Efektywność postępu technicznego w technologii towarowej produkcji ziemniaków. Inżynieria Rolnicza. Nr 1 s. 69–70.

Szeptycki A., Wójcicki Z. 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 roku. Warszawa. IBMER s. 201–202.

Wójcicki Z. 2000. Wyposażenie techniczne i nakłady materiałowo-energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. Warszawa. IBMER ss. 139.

Wójcicki Z. 2005. Metodyczne problemy badania energochłonności produkcji rolniczej. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1 s. 3–12.

## **ENERGY INPUTS ON POTATO STORAGE IN THE FARM STORES**

### **Summary**

Paper presents the results of evaluating in-bulk potato storage technology in the stores on two selected farms; evaluation was carried out within years 2006–2008, in respect of cumulated energy inputs. Calculations of energy consumption were based on the indices used at IBMER, on the literature data and own investigation results. Recorders were used to measure the electric energy consumption by technical devices in investigated stores; that enabled precise determination of energy consumed in potato stores. Following energy consumption indices were obtained: in object I – from 465.6 to 480.8 MJ·Mg<sup>-1</sup>, in object II – from 300.8 to 419.7 MJ·Mg<sup>-1</sup>. Respectively, the share of electric energy amounted to: in object I – 33.7 to 44.8%, in object II – 34.6 to 46.7%. Applied recorders enabled also to determine, to what degree are loaded the electric motors driving technical facilities in the stores. Energetic efficiency ratio of potato storage in the stores tested amounted to 5.3 in I object, and 6.9 in the II-nd, being higher by 32%. Energy consuming by storage of 1 Mg potatoes – recounted per 1 storage day – was lower in store II, having at disposal larger storing chamber and longer storage duration. The energetic calculation in potato stores may be helpful in evaluating



new storage technologies; measuring electric energy consumption by the technical devices in stores will enable their rational selection in respect of adequate power rating.

**Key words:** potatoes, storage, energetic efficiency, energy consumption

Praca wpłynęła do Redakcji: 28.10.2010 r.

*Recenzenci: prof. dr hab. Aleksander Szeptycki  
prof. dr hab. Czesław Waszkiewicz*

Adres do korespondencji:

dr inż. Piotr Grudnik  
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy  
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku  
05-825 Grodzisk Mazowiecki  
tel. 22 724-07-03 w. 121; e-mail: p.grudnik@itep.edu.pl

