

Polish Academy of Sciences  
University of Engineering and Economics in Rzeszów

# **MOTROL**

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS  
IN AGRICULTURE**

**AN INTERNATIONAL JOURNAL  
ON OPERATION OF FARM  
AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY**

**Vol. 15, No 1**

LUBLIN – RZESZÓW 2013

**Editor-in-Chief:** *Eugeniusz Krasowski*

**Assistant Editor:** *Wojciech Tanaś*

### Associate Editors

1. Agricultural machinery: *Valeriy Dubrovin*, Kiev, *Mariusz Szymanek*, Lublin
2. Machinery of agri-food industry: *Leszek Mościcki*, Lublin
3. Energetics: *Ilia Nikolenko*, Simferopol, *Janusz Wojdalski*, Warszawa
4. Land management, urban planning, architecture and geodesy: *Karol Noga*, Kraków, *Roman Kadaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Lichotaj*, Rzeszów

### Editorial Board

<i>Andrzej Ambrozik</i> , Kielce, Poland	<i>Ryszard Michalski</i> , Olsztyn, Poland
<i>Dariusz Andrejko</i> , Lublin, Poland	<i>Aleksandr Morozov</i> , Simferopol, Ukraine
<i>Andrzej Baliński</i> , Kraków, Poland	<i>Janusz Mystowski</i> , Szczecin, Poland
<i>Volodymyr Bulgakow</i> , Kiev, Ukraine	<i>Ignacy Niedziółka</i> , Lublin, Poland
<i>Zbigniew Burski</i> , Lublin, Poland	<i>Paweł Nosko</i> , Lugansk, Ukraine
<i>Karol Cupiał</i> , Częstochowa, Poland	<i>Gennadij Oborski</i> , Odessa, Ukraine
<i>Aleksandr Dashchenko</i> , Odessa, Ukraine	<i>Yurij Osenin</i> , Lugansk, Ukraine
<i>Kazimierz Dreszer</i> , Lublin, Poland	<i>Marian Panasiewicz</i> , Lublin, Poland
<i>Valeriy Dyadychev</i> , Lugansk, Ukraine	<i>Sergiy Pastushenko</i> , Mykolayiv, Ukraine
<i>Dariusz Dziki</i> , Lublin, Poland	<i>Iwan Rohowski</i> , Kiev, Ukraine
<i>Stepan Epogan</i> , Kharkiv, Ukraine	<i>Józef Sawa</i> , Lublin, Poland
<i>Sergiy Fedorkin</i> , Simferopol, Ukraine	<i>Povilas A. Sirvydas</i> , Kaunas, Lithuania
<i>Jan Gliński</i> , Lublin, Poland	<i>Volodymyr Snitynskiy</i> , Lviv, Ukraine
<i>Dimitriy Goncharenko</i> , Kharkiv, Ukraine	<i>Stanisław Sosnowski</i> , Rzeszów, Poland
<i>Jerzy Grudziński</i> , Lublin, Poland	<i>Ludvikas Spokas</i> , Kaunas, Lithuania
<i>Bohdan Hevko</i> , Ternopil, Ukraine	<i>Jarostaw Stryczek</i> , Wrocław, Poland
<i>Aleksandr Hotubenko</i> , Lugansk, Ukraine	<i>Aleksandr Sydorchuk</i> , Kiev, Ukraine
<i>L.P.B.M. Jonssen</i> , Groningen, Holland	<i>Viktor Tarasenko</i> , Simferopol, Ukraine
<i>Stepan Kovalyshyn</i> , Lviv, Ukraine	<i>Giorgiy F. Tayanowski</i> , Minsk, Bielarus
<i>Józef Kowalczyk</i> , Lublin, Poland	<i>Leonid Tishchenko</i> , Kharkiv, Ukraine
<i>Volodymyr Krauchuk</i> , Kiev, Ukraine	<i>Henryk Tylicki</i> , Bydgoszcz, Poland
<i>Elżbieta Kusińska</i> , Lublin, Poland	<i>Denis Viesturs</i> , Ulbrok, Latvia
<i>Janusz Laskowski</i> , Lublin, Poland	<i>Dmytro Voytiuk</i> , Kiev, Ukraine
<i>Nikotaj Lubomirski</i> , Simferopol, Ukraine	<i>Anatolij Yakovenko</i> , Odessa, Ukraine
<i>Kazimierz Lejda</i> , Rzeszów, Poland	<i>Oleg Zaitsev</i> , Symferopol, Ukraine
<i>Dmytro Melnychuk</i> , Kiev, Ukraine	<i>Tadeusz Złoto</i> , Częstochowa, Poland
<i>Jerzy Merkisz</i> , Poznań, Poland	

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Małgorzata Wojciechuk*  
Typeset: *Hanna Krasowska-Kotodziej*, *Adam Niezbecki*  
Cover design: *Hanna Krasowska-Kotodziej*  
Photo on the cover: *Janusz Laskowski*

Editorial Office address: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture  
Wielkopolska Str. 62, 20-725 Lublin, Poland  
e-mail: [eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl](mailto:eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl)  
ISSN 1730-8658

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2013  
© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszów 2013

Edition 150+16 egz.

## Wypożyczenie rolnictwa Polski i Ukrainy w środki mechanizacji do produkcji roślinnej

Oleksandra Oleksivna Artemenko<sup>4</sup>, Waldemar Izdebski<sup>1</sup>, Jacek Skudlarski<sup>2</sup>,  
Stanisław Zajac<sup>3</sup>, Svetlana Aleksandrovna Zayka<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Zakład Zarządzania Produkcją, Politechnika Warszawska, ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa

<sup>2</sup>Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,  
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

<sup>3</sup>Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Rynek 1, 38-400 Krosno

<sup>4</sup>Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture, ul. Gv. Shironinciv 47, 61170 Charków, Ukraina

**Streszczenie.** Przeprowadzono analizę aktualnego stanu mechanizacji rolnictwa Polski i Ukrainy. Produkcją rolniczą w Ukrainie zajmuje się ok. 54 tys. gospodarstw z czego 73% stanowią gospodarstwa farmerskie. W Polsce natomiast produkcją rolniczą zajmuje się 1187 tys. gospodarstw. Ukraińskie rolnictwo przeżywa poważne problemy dotyczące pogarszającego się stanu mechanizacji.

**Słowa kluczowe:** Polska, Ukraina, mechanizacja rolnictwa.

Przeprowadzone analizy dotyczyły wyposażenia rolnictwa Polski i Ukrainy w ciągniki rolnicze i wybrane środki mechanizacji w ujęciu ilościowym oraz w przeliczeniu na 100 ha UR. W przypadku ciągników rolniczych analizy dotyczyły stanu ilościowego w strukturze mocy.

### CHARAKTERYSTYKA ROLNICTWA UKRAINY NA TLE ROLNICTWA POLSKI

#### WSTĘP

Efektywność produkcji rolniczej w dużej mierze uzależniona jest od efektywności mechanizacji gospodarstw rolnych [6, 16]. Przemiany jakie dokonują się gospodarce krajowej mają istotne znaczenie na stan i tendencje wyposażenia gospodarstw rolnych w sprzęt techniczny [17]. Dotyczy to nie tylko Polski, ale także innych państw. Sąsiadująca z Polską Ukraina jest ważnym partnerem strategicznym. Odejście od gospodarki centralnie planowanej do gospodarki rynkowej zarówno w Polsce jak i w Ukrainie miało wpływ na przemiany w mechanizacji rolnictwa obu krajów. Celem niniejszej pracy jest próba oceny stanu i tendencji zmian wyposażenia rolnictwa Polski i Ukrainy w środki mechanizacji rolnictwa.

#### MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY I ZAŁOŻENIA METODYCZNE

Źródłem danych wykorzystywanych w niniejszej pracy były opracowania zawierające wyniki Powszechnego Spisu Rolnego 2010 [3], roczniki i opracowania statystyczne Polski i Ukrainy oraz publikacje dotyczące stanu mechanizacji rolnictwa Polski i Ukrainy.

Jak wynika z danych statystycznych liczba ludności w Ukrainie w roku 2010 wynosiła 45 782,6 tys. osób, z czego obszary wiejskie zamieszkiwało 14 513,4 tys. osób, co stanowiło 56,2% ludności ukraińskiej ogółem [2]. W tymże roku liczba ludności w Polsce wynosiła 38 200 tys. osób. Udział ludności wiejskiej stanowił 39,1% i wynosił 14 939 tys. osób [13].

Powierzchnia użytków rolnych wykorzystywanych w Ukrainie przez gospodarstwa farmerskie i przedsiębiorstwa w roku 2010 wynosiła 36,5 mln. ha, co stanowiło 61% powierzchni kraju. Powierzchnia gruntów ornych w Ukrainie w tym okresie wynosiła 30,9 mln. ha [20]. W Polsce natomiast powierzchnia użytków rolnych w gospodarstwach rolnych w 2010 roku wynosiła 15,5 mln. ha [3].

W roku 2010 produkcją rolniczą w Ukrainie zajmowało się 56 tys. producentów rolnych o różnej formie własności w tym gospodarstwa farmerskie [2]. Około 49,1% użytków rolnych było użytkowanych przez Towarzystwa Rolnicze (Господарські товариства), 20% przez gospodarstwa farmerskie, 16% przez przedsiębiorstwa prywatne, 4,6% przez spółdzielnie produkcyjne, 2,6% przez państwowe przedsiębiorstwa oraz 7,7% przez przedsiębiorstwa innych form własności [19].

Natomiast w Polsce w roku 2010 liczba gospodarstw wynosiła 2 278 tys. [3]. Spośród 1 563 tys. gospodarstw rol-

nych o powierzchni powyżej 1 ha użytków rolnych (UR) – 1 559 tys. stanowiły gospodarstwa indywidualne. Udział powierzchni użytków rolnych pozostających w użytkowaniu gospodarstw indywidualnych w porównaniu do ogólnej powierzchni użytków rolnych w gospodarstwach rolnych w 2010 r. wyniósł 88,1%, natomiast gospodarstwa indywidualne posiadające powierzchnię użytków rolnych powyżej 1 ha stanowiły 86,6% w ogólnej powierzchni użytków rolnych [4].

W strukturze ilościowej producentów rolnych Ukrainy pod względem formy prawnej 79,3% stanowią gospodarstwa farmerskie, 13,7% Towarzystwa Rolnicze (Господарські товариства), 7,5% prywatne przedsiębiorstwa, 1,7% spółdzielnie produkcyjne, 0,6% przedsiębiorstwa państwowe oraz 2,7% przedsiębiorstwa innych form własności [19].

W strukturze gospodarstw Ukrainy (poza gospodarstwami farmerskimi) 15,0% przedsiębiorstw posiadało powierzchnię do 100 ha, 17,3% od 100 do 500 ha, 11,2% od 500 do 1000 ha, 14,1% od 1000 do 2000 ha, zaś 18,8% powierzchnię ponad 2000 ha. Średnia powierzchnia tej grupy gospodarstw wynosiła 1169 ha. W roku 2010 liczba gospodarstw farmerskich w Ukrainie wynosiła 42 tys. W ich posiadaniu było 4,3 mln. ha użytków rolnych w tym 4,2 mln. gruntów ornych. Średnia powierzchnia gospodarstw farmerskich wynosiła 103,3 ha [19]. Powierzchnia 74% gospodarstw farmerskich nie przekracza 100 ha. 712 gospodarstw farmerskich ma powierzchnię od 1000 do 4000 ha, a jedynie 58 gospodarstw farmerskich ma powierzchnię powyżej 4000 ha [23].

W Polsce wg. danych PSR 2010 było 2 278 tys. gospodarstw w tym 2273 gospodarstw indywidualnych. Działalnością rolniczą zajmowało się 1187 tys. gospodarstw. W strukturze gospodarstw dominowały gospodarstwa o powierzchni 1-5 ha (37,9% ogółu gospodarstw rolnych). Liczba gospodarstw o powierzchni powyżej 50 ha wynosi 27 tys. co stanowi 0,7% ogólnej liczby gospodarstw. Średnia powierzchnia gospodarstw prowadzących działalność rolniczą wynosiła 7,62 ha [3].

W strukturze upraw rolnictwa Ukrainy w roku 2010 15,1 mln. ha zajmowały uprawy zbożowe, co stanowiło 55,9% całkowitej powierzchni zasiewów. W uprawie zbóż 52,3% (7,9 mln. ha) zajmowały zboża ozime. Rośliny jare były uprawiane na powierzchni 7,2 mln. ha. W ich strukturze dominował jęczmień, który zajmował 42,1% powierzchni oraz kukurydza (37,7%) [19].

W Polsce w roku 2010 ogólna powierzchnia zasiewów wyniosła 10,5 mln. ha. Zboża ogółem tj. zboża podstawowe z mieszankami zbożowymi oraz gryka, proso, inne zbożowe łącznie z kukurydzą na ziarno zajmowały powierzchnię 7643 tys. ha, co stanowiło 72,4% ogólnej powierzchni zasiewów, Rośliny pastewne łącznie z kukurydzą na zielonkę uprawiane były na powierzchni 900 tys. ha, co stanowiło 8,5% ogólnej powierzchni zasiewów [3].

Średni plon zbóż i roślin strączkowych w Ukrainie na stan 2010 roku wynosił 29,8 dt·ha<sup>-1</sup> i był wyższy niż w roku 2000 (19,4 dt·ha<sup>-1</sup>), ale niższy niż w roku 1990 (35,1 dt·ha<sup>-1</sup>) [23]. W Polsce średni plon zbóż podstawowych w roku 2010 wynosił 34,1 dt·ha<sup>-1</sup> [4]. Porównanie plonów wybranych roślin w Ukrainie i Polsce na tle Niemiec i Francji przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Plony wybranych roślin w Polsce i Ukrainie na tle Niemiec i Francji w roku 2010 [dt·ha<sup>-1</sup>]

**Table 1.** Yields of selected plants in Poland and Ukraine against Germany and France in 2010 [dt·ha<sup>-1</sup>]

	Polska	Ukraina	Niemcy	Francja
Pszonica	41,1	26,8	73,1	68,8
Kukurydza	59,5	45,1	97,5	97,1
Buraki cukrowe	483,0	279,5	675,7	937,0
Ziemniaki	211,0	132,5	400,0	432,0

Źródło: Жаліл (red) 2011, GUS (2012)

Source: Жаліл (red) 2011, GUS (2012)

Wielkość uzyskiwanych plonów w Ukrainie jest niższa niż w Polsce. Znaczne różnice plonów dostrzegalne są w przypadku buraków cukrowych i ziemniaków.

#### ANALIZA STANU MECHANIZACJI ROLNICTWA W POLSCE I UKRAINIE

W zakresie wyposażenia gospodarstw w ciągniki i maszyny rolnicze pomiędzy Polską a Ukrainą dostrzegalne są znaczne różnice. Przeprowadzone analizy wykazują, że polskie rolnictwo dysponuje większym liczebnie parkiem maszynowym. Liczba ciągników na wyposażeniu polskiego rolnictwa jest prawie 10 wyższa niż liczba ciągników w rolnictwie Ukrainy. W przypadku kombajnów zbożowych jest to przewaga 5-krotna na korzyść Polski.

Analizy zmian w wyposażeniu polskich gospodarstw w środki mechanizacji wykazują, że na przełomie 2002-2010 nastąpiło zmniejszenie liczby kombajnów buraczanych (o 4 tys. szt.) i ziemniaczanych (o tysiąc szt.) Warto jednak zaznaczyć, że w stosunku do roku 1996 liczba kombajnów buraczanych wzrosła o 3,7%, zaś ziemniaczanych o 3,9% [12].

Jak wykazują przeprowadzone analizy liczba ciągników w Ukrainie w okresie 2000-2010 zmalała o 54,9%, kombajnów zbożowych o 51,9%, zaś siewczarni o 71,3%. Stan ten powiązany jest z faktem, że ukraińskie rolnictwo boryka się z bardzo istotnym problemem starzenia się parku maszynowego.

Analizując dane GUS (2011) dotyczące polskiego rolnictwa można zauważyć, że na przełomie 2002-2010 nastąpił wzrost liczby ciągników o 9,9%, kombajnów zbożowych o 23,6%. Odnotowano natomiast spadek liczby kombajnów buraczanych o 14,2% i kombajnów ziemniaczanych o 1,7%.

Jak wynika z analiz Kozushko [7] większość parku maszynowego w Ukrainie znajduje się w posiadaniu niepaństwowych przedsiębiorstw rolniczych. W posiadaniu tychże przedsiębiorstw znajduje się 56,1% ciągników. 49,6% ciągników znajduje się w gospodarstwach prywatnych, a jedynie 3,4% ciągników znajduje się w gospodarstwach państwowych.

Dostrzegalne są także różnice w zakresie struktury mocy ciągników. W polskim rolnictwie ilościowo przeważają ciągniki o mocy do 40 kW, natomiast w rolnictwie Ukrainy ciągniki o mocy powyżej 40 kW. W zakresie mocy do 100 kW zdecydowanie więcej ciągników znajduje się w polskich gospodarstwach rolnych. Jedynie w przypadku ciągników

**Tabela 2.** Wyposażenie rolnictwa Polski i Ukrainy w ciągniki i wybrane maszyny rolnicze

**Table 2.** Agricultural equipment in Poland and Ukraine - tractors and selected agricultural machines

	Polska		Ukraina				
	2002	2010	2000	2005	2007	2010	2011
Ciągniki rolnicze ogółem	1 339 000	1 471 000	318 927*	216 875*	186 767*	151 287*	147 131*
Kombajny zbożowe	123 000	152 000	65 240	47 150	41 032	32 750	32 062
Sieczkarnie polowe	13 000	12 000	24 939	14 627	11 300	7 841	7 137
Kombajny buraczane	32 000	28 000	12 982	8 478	6 583	4 240	3 848
Kombajny ziemniaczane	81 000	80 000	3574	1947	1547	1694	1660

\*Łącznie z ciągnikami będącymi nośnikami narzędzi

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS 2011, Жаліл (red) 2011, Ukrstat 2011, Ukrstat 2012

Source: authors' calculations based on data from the GUS 2011, Жаліл (red) 2011, Ukrstat 2011, Ukrstat 2012

o mocy powyżej 100 kW więcej ciągników znajduje się w gospodarstwach ukraińskich.

**Tabela 3.** Struktura mocy ciągników w rolnictwie Polski i Ukrainy

**Table 3.** The structure of agricultural tractors in Poland and Ukraine

	Polska [2010]	Ukraina [2011]	
		ogółem	W gospodarstwach farmerskich
Ciągniki ogółem	1 471 000	147 131	31 981
W tym do 40 kW	1 007 000	9 225	1492
40-60 kW	288 000	54 767	12 688
60-100 kW	142 000	43 288	10 425
Pow. 100 kW	33 000	39 851	7 376

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS 2011, Жаліл (red) 2011, Ukrstat 2011, Ukrstat 2012

Source: authors' calculations based on data from the GUS 2011, Жаліл (red) 2011, Ukrstat 2011, Ukrstat 2012

Różnice w charakterystykach mechanizacji rolnictwa dostrzegalne są także w odniesieniu do 100 ha UR. Większe nasycenie parku maszynowego obserwowane jest w polskim rolnictwie.

**Tabela 4.** Ciągniki i wybrane maszyny na 100 ha poszczególnych upraw

**Table 4.** Tractors and machinery compared to 100 hectares of crop-specific

	Polska		Ukraina		
	2002	2010	2000	2005	2010
Ciągniki rolnicze	79	95	11	11	8
Kombajny zbożowe	14	18	6	5	4
Kombajny ziemniaczane	101	206	133	117	59
Kombajny buraczane	107	135	16	17	9

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS 2011, Ukrstat 2011, Ukrstat 2012

Source: authors' calculations based on data from the GUS 2011, Ukrstat 2011, Ukrstat 2012

Zmniejszenie się liczby ciągników i maszyn w rolnictwie Ukrainy spowodowało, że wzrosło znacznie wykorzystanie roczne sprzętu ponad wartości normatywne.

Obciążenie ciągnika w Ukrainie wzrosło z poziomu 71,4 ha w roku 1991 do 183,1 ha w roku 2008, natomiast kombajnu zbożowego z poziomu 138,6 ha do 328,8 ha. Są to wartości przewyższające 2,5-3 razy wartości normatywne [11].

Bardzo ważnym problemem rolnictwa Ukrainy jest poziom zużycia parku maszynowego, który ocenia się na poziomie 50-90%. Ilość ciągników będąca na wyposażeniu ukraińskiego rolnictwa zaspokaja potrzeby ilościowe w te pojazdy jedynie w 57%, kombajnów zbożowych w 51%, zaś sieczkarni w 52% [1]. Przystarzała technika obniża jakość wykonywanych prac a ponadto wymaga znacznych nakładów finansowych. Z tychże przyczyn corocznie w rolnictwie Ukrainy nie pracuje 25-35% ciągników i kombajnów. [23]. Wydatki na remont i odnawianie parku maszynowego w rolnictwie Ukrainy wzrastają corocznie o 5-7% [24]. Ponadto z powodu znacznego zużycia i niewystarczającej liczby środków mechanizacji termin okres wykonania prac agrotechnicznych wydłuża się o 2,5-5 razy [14], co generuje dodatkowo straty plonu, które w przypadku zbóż i strączkowych wynoszą od 2,5 do 3,4 mln. ton [23].

Przyczyną tego złego stanu, który został dodatkowo pogłębiony przez kryzys gospodarczy w 2009 roku jest niska opłacalność produkcji oraz niska rentowność przedsiębiorstw rolnych [7, 23]. Poprawę tego stanu Ministerstwo Polityki Agrarnej Ukrainy realizuje poprzez: programy kredytów preferencyjnych, programy częściowego zwrotu wydatków poniesionych na zakup techniki rolniczej oraz leasingu maszyn i ciągników [9, 15, 23]

W przypadku polskiego rolnictwa również dostrzegalny jest znaczny stopień zużycia techniki rolniczej [5, 8, 10, 16, 18, 21, 22]. Brak doniesień literaturowych dotyczących strat spowodowanych stanem technicznym parku maszynowego pozwala wysunąć przypuszczenie, że zjawisko starzenia się parku maszynowego w polskich gospodarstwach nie generuje aż tak istotnego problemu, który dotyczy rolnictwa Ukrainy.

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza wykazała, że w odniesieniu do rolnictwa w Polsce w ostatnim dziesięcioleciu w zakresie mechanizacji w rolnictwie Ukrainy zaszły niekorzystne zmiany. Jak w przypadku ciągników i kombajnów zbożowych w Polsce odnotowano wzrost ich liczby a w przypad-

ku kombajnów do zbioru okopowych niewielki spadek, to w rolnictwie Ukrainy odnotowano znaczny spadek liczby wszystkich maszyn, co jak wykazały doniesienia innych badaczy generuje znaczne straty dla ukraińskiej gospodarki. Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że pod względem ilościowym rolnictwo Ukrainy jest gorzej wyposażone w stosunku do rolnictwa w Polsce.

#### LITERATURA

1. **Bohan T. 2013:** Napravlenija obespechenija selskohozjastvennyh predprijatij tehicheskimi sredstvami proizvodstva. Źródło dostępu: [www.nbu.gov.ua/portal/soc\\_gum/.../18-17.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/.../18-17.pdf) (stan z 6.03.2013).
2. **DSSU (Dierzavna Sluzba Statystyki Ukrainy) 2011:** Statistichnyj shchorichnik Ukrainy za 2010 rik. Kijów TOV „Avgust Trejd”
3. **GUS 2011:** Raport z wyników Powszechny Spis Rolny 2010. Warszawa
4. **GUS 2012:** Rocznik statystyczny rolnictwa. Warszawa
5. **Koniuszy A, 2005:** Proces eksploatacji ciągników rolniczych w gospodarstwach rolnych. MOTROL 7: 105-113
6. **Kowalski S., 2005:** Poziom kosztów i efektywność mechanizacji w wybranych gospodarstwach Polski i Niemiec. Inżynieria Rolnicza 6: 369-375
7. **Kozushko I. G.,** Internet: Suchasnyj stan i problemi technicznego zabezpechenija agrarnych pridприємstv Ukrainy УДК: 338.43:631.3.005 dostępu: [www.nbu.gov.ua/portal/Soc...31/.../19PDF.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/Soc...31/.../19PDF.pdf) (stan na 06.03.2013)
8. **Lorencowicz E. 2010.** Okresy użytkowania ciągników i maszyn w wybranych gospodarstwach rodzinnych województwa lubelskiego. Inżynieria Rolnicza 2 (120): 27-32
9. Materiały naukowo-praktycznej konferencji „Pidvisghenija efektyvnosti virobництва produkcji i vikoristanija resyrsnogo potencjalu pridприємstv. Dniepropietrovsk 2008: 116.
10. **Muzalewski A., 2004.** Analiza i ocena wyposażenia gospodarstw w ciągniki oraz ich użytkowania. Inżynieria Rolnicza 4 (59): 121-129
11. **Ostapchuk Ju. M. (red), 2009:** Silske gospodarstwo Ukrainy. Statistichnyj shchorichnik za 2008 rik / Derzavny komitet statistiki Ukrainy Kijów: DP „Informacijno-analityczne agenstvo”
12. **Pawlak J., 2011:** Wyposażenie rolnictwa polskiego w środki mechanizacji w świetle wyników powszechnych spisów rolnych. Problemy Inżynierii Rolniczej 4: 35-46
13. **Raport: Polska wieś 2012.** Raport o stanie wsi pod red. J. Wilkina i I. Nurzyńskiej. Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR Warszawa
14. **Sabluk P.T., 2008:** Problemi zabezpechenija dohidnosti agroproislovnogo virobництва v Ukrainy v postindustrialnyj pieriod / Ekonomika APK 4: 22
15. **Sidor G.V., 2012:** Rozvitok lizingovyh vidnosti v agrarnomu sektori ekonomiki Ukrainy,UDK 631.16. Innowacyjna ekonomika 4 (30): 250-252
16. **Szeląg-Sikora A., 2012:** Regional differences in equipment of machinery park on farms. TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – 2012, Vol. 12, No. 1: 281-287
17. **Szeląg-Sikora A., Cupiał M., 2012:** Production and technical potential of farms united in the selected producer group. TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – 2012, Vol. 12, 2: 231-236
18. **Tylicki H., 2007:** Algorytmy rozpoznawania stanu maszyn. MOTROL 9: 184-192
19. **Ukrstat 2011:** Silskie gospodarstwo Ukrainy u 2010 roci. Źródło dostępu: [http://ukrstat.org/uk/druk/katalog/kat\\_u/publ7\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/katalog/kat_u/publ7_u.htm) (stan z 6.02.2013)
20. **Ukrstat 2012:** Statistichnyj biuletyn „Najavnist silskogospodarskoj techniki ta ehergetichnyh potuznostiej u sislkomu gospodarstvi za 2011. Kijów, Ukraina
21. **Zajęc S., Izdebski W., Skudlarski J. 2011.** Analiza polskiego rynku ciągników rolniczych i kombajnów zbożowych w latach 2004-2010. Wyd. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Roczniki Naukowe, tom 13, zeszyt 1: 463-467,
22. **Zajęc S., Izdebski W., Kusz D. 2010.** Podaż i popyt ciągników rolniczych w Polsce. Wyd. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Roczniki Naukowe, tom 12, zeszyt 4: 393-397
23. **Zalil J.A. (red), Sobkievich O.V., Rusan V. M., Jurchenko A.D., Skorohod V.O., 2011:** Rozvitok agrarnogo virobництва jak peredumova zabezpechenija prodovolchnoj bezpeki Ukrainy – Kijów, NISD
24. **Zubiec N.V., 2004:** Naukovi osnovi agropromislogo virobництва v zoni Pilissja i zahidnogo regionu Ukrainy / M. V. Zubiec – Kijów, Uroжай

#### EQUIPMENT OF POLAND AND UKRAINE IN MECHANIZATION FOR CROP PRODUCTION

**Summary.** An analysis was made of the current status of agricultural mechanization Polish and Ukrainian. Agricultural production in Ukraine is located about 54 thousand households of which 73% are manufacturing companies of agricultural character. In Poland, however, 1187 thousand farms is engaged in agricultural production. Ukrainian agriculture is experiencing serious problems of deteriorating state of mechanization.

**Key words:** Poland, Ukraine, agriculture mechanization.

## Regeneracja akumulatorów zasadowych z wykorzystaniem ładowarek impulsowych

Artur Boguta, Marek Horyński, Sebastian Styła, Andrzej Sumorek

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki Katedra Inżynierii Komputerowej i Elektrycznej  
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin tel.: 81 53-84-301, fax: 81 53-84-299  
e-mail: a.boguta@pollub.pl, m.horynski@pollub.pl, s.styla@pollub.pl, a.sumorek@pollub.pl

**Streszczenie.** Gwałtowny rozwój elektroniki spowodował wprowadzenie do powszechnego użytku coraz większej liczby przenośnych urządzeń elektronicznych wyposażonych we własne źródła zasilania. Spowodował on potrzebę opracowania zminiaturyzowanych, wysokoenergetycznych i niezawodnych źródeł energii elektrycznej. Do zasilania tych urządzeń wykorzystujemy akumulatory, które zamieniają energię chemiczną w energię elektryczną i odwrotnie. Zapotrzebowanie na odwracalne ogniwa jest przyczyną rozwoju badań nad elektrochemią roztworów niewodnych, oraz koniecznością poszukiwania ogniów galwanicznych nowej generacji, w których stosuje się wysokoenergetyczne materiały elektrodowe i roztwory elektrolitów.

**Słowa kluczowe:** akumulator, regeneracja.

### WPROWADZENIE

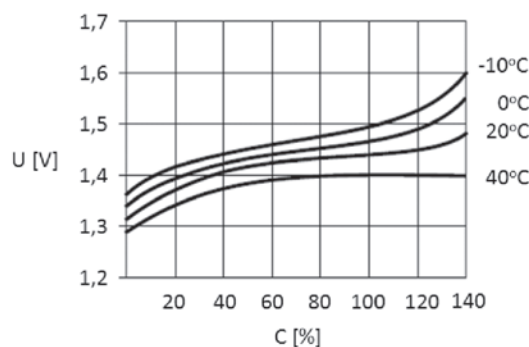
Produkowane akumulatory mają niskie napięcie wyjściowe, co zmusza producentów układów elektronicznych do budowania urządzeń przenośnych zasilanych ze źródeł niskiego napięcia. Użytkownicy sprzętu coraz częściej zamiast jednorazowych baterii stosują dużo bardziej ekonomiczne akumulatory. Ich trwałość w znacznym stopniu zależy od sposobu ich eksploatacji, a w szczególności od metod ładowania. Wiele ładowarek przed rozpoczęciem procesu ładowania testuje podłączony akumulator a następnie przeprowadza proces ładowania odpowiednim prądem. Ładowarka z odpowiednio dobranym prądem ładowania wydłuża żywotności akumulatora i tym samym chroni środowisko naturalne [6, 7].

Można wyróżnić dwa zasadnicze rodzaje ładowarek:

- ładowarki standardowe, przeznaczone do konkretnego typu ogniwa,
  - ładowarki specjalistyczne (mikroprocesorowe), o uniwersalnym zastosowaniu (NiCd, NiMH, Li-Ion i SLA)
- Uniwersalna ładowarka z układem mikroprocesorowym umożliwia szybkie ładowanie akumulatorów NiCd, NiMH, Li-Ion oraz SLA (akumulatory ołowiowo- kwasowe). Moż-

liwe jest ładowanie akumulatorów składających się z kilkunastu ogniw. Dla zapewnienia poprawnego ładowania akumulatorów, ładowarka kontroluje napięcie, prąd i temperaturę, a także rozładowuje wstępnie akumulatory w celu zlikwidowania efektu pamięciowego. Ładowarki również dzięki swej budowie mogą być konfigurowane według własnych potrzeb. Ładowarki uniwersalne posiadają kilka trybów ładowania np. liniowy oraz impulsowy, który pozwala na zmniejszenie strat energii i miniaturyzację. Do kontroli procesu ładowania często stosuje się wyświetlacze LED, LCD, które informują o włożeniu akumulatora, włączeniu ochrony, naładowaniu akumulatora i jego pojemności. Ładowarki automatycznie przystępują do pracy po włożeniu akumulatorów, przy czym mogą je wstępnie rozładować, jeśli jest to konieczne. W przypadku akumulatorów NiCd i NiMH ładowanie może zostać zakończone na podstawie obserwacji zmian temperatury ogniów  $dT/dt$ , wykrycia DU lub po jednoczesnym spełnieniu obu tych warunków [9, 1].

Dla popularnych akumulatorów zasadowych (NiCd i NiMH) napięcie na zaciskach akumulatora nie świadczy o stanie jego naładowania.



**Rys. 1.** Zależność napięcia od dostarczonej energii, przy różnych temperaturach (ładowanie 0,1C)

**Fig. 1.** The voltage of the energy supplied at different temperatures (0.1C charging)

Na rys. 1 przedstawiono zależność napięcia akumulatora zasadowego od ilości dostarczonej energii dla różnych temperatur. Widać dużą zależność napięcia akumulatora od temperatury, a przy temperaturze akumulatora  $+40^{\circ}\text{C}$  napięcie w końcowej fazie ładowania praktycznie się nie zmienia [2, 3]. Wszystkie akumulatorki NiCd oraz NiMH można bez obawy ładować prądem  $0,1\text{ C}$  ( $\text{C}$  – pojemność znamionowa ogniwa) przez czas 14-16 godzin. Ogniwa można przy tym łączyć w szereg. Ładowarka jest wtedy prostym układem, który dostarcza prądu o niezmiennych wartościach, niezależnych od stopnia naładowania (i napięcia ogniwa). Jest to ładowanie standardowe, stosowane do dziś w najtańszych ładowarkach. Przy takim trybie nie ma potrzeby sprawdzania napięcia na poszczególnych ogniwach – napięcie nie świadczy tu o stopniu naładowania a pod koniec ładowania będzie ono wynosiło około  $1,5\text{ V}$  na każdym ogniwie [11].

Efekt pamięciowy występuje rzadko i tylko w ogniwach, które zawsze nie są do końca rozładowywane. Akumulator niejako zapamiętuje, ile pobiera się z niego energii w jednym cyklu i z czasem wykazuje utratę pojemności. Aby uniknąć tego zjawiska, wystarczy co kilka (5-6) cykli niepełnego rozładowania przeprowadzić cykl konserwujący polegający na pełnym naładowaniu i pełnym rozładowaniu kontrolnym, do napięcia około  $1\text{ V}$  (nie mniej niż  $0,8\text{ V}$  na ogniwo). W większości przypadków efekt pamięciowy jest odwracalny. Po stwierdzeniu go trzeba przynajmniej trzykrotnie w pełni naładować i rozładować akumulatorki.

Bardzo często utrata pojemności jest spowodowana innymi przyczynami, w tym słabą jakością ogniw lub zużyciem ogniw.

Sposoby ładowania akumulatorów:

- ładowanie standardowe najprostszą ładowarką niskim prądem  $0,1\text{ C}$  przez 14 do 16 godzin jest bezpieczne. Ładowane tak małym prądem akumulatorki nawet nie do końca rozładowane nie ulegają przeładowaniu i nadmiernemu wzrostowi temperatury oraz nie tracą pojemności,
- przyspieszone ładowanie ogniw prądem  $0,2\text{ C}$ – $0,5\text{ C}$  można wykonać ładowarką posiadającą automatyczny wyłącznik odmierzający czas ładowania lub kontrolujący zmianę temperatury, napięcia i prądu ogniwa. Odmierzanie czasu ładowania ogranicza całkowity ładunek, jaki otrzyma akumulator. Przed takim ładowaniem należy sprawdzić, czy czas i prąd są dobrze dobrane do pojemności akumulatora i czy był on przedtem rozładowany. Ładownie zwiększonym prądem uszkadza akumulator, jeśli był on częściowo naładowany, lub miał mniejszą pojemność,
- ładowanie ekspresowe prądem ok.  $1\text{ C}$  można przeprowadzić dla każdego współczesny akumulator w czasie 1-1,5 godziny. Czasu ładowania standardowego ogniwa nie można już skrócić, ponieważ występują ograniczenia szybkości reakcji chemicznych zachodzących podczas ładowania wewnątrz akumulatora,
- błyskawiczne ładowanie akumulatorów w czasie 10-15 min (do 1 godziny) jest możliwe tylko w przypadku nielicznych akumulatorów specjalnej konstrukcji.

## METODYKA BADAŃ AKUMULATORÓW

Do badań akumulatorów wykorzystano ładowarkę impulsową TechnoLine BC700. Ładowarka posiada cztery niezależne kanały ładujące z możliwością pomiaru prądu i napięcia i pojemności akumulatora.

Parametry ładowarki:

- ładowanie ogniw NiMH i NiCd typu AAA i AA
- skokowa regulacja prądu ładowania:  $200\text{ mA}$ ,  $500\text{ mA}$ ,  $700\text{ mA}$ ,
- skokowa regulacja prądu rozładowania:  $100\text{ mA}$ ,  $250\text{ mA}$ ,  $350\text{ mA}$ ,
- ładowanie standardowe,
- rozładowanie z pełnym naładowaniem,
- ładowanie,
- rozładowanie,
- test pojemności,
- odświeżanie.

Każdy kanał ładowarki posiada wyświetlacz, na którym można sprawdzić, jaką funkcję wykonuje ładowarka w danej chwili, jakie są wartości napięć i prądów oraz jaka jest aktualnie zmierzona pojemność akumulatora.

Do badań wykorzystano ogniwa NiMH różnych producentów o różnych pojemnościach oraz ładowarkę BC700. Pomiary były wykonywane dla ogniw używanych oraz takich, które nadawały się już do wymiany.

Dla każdego z badanych ogniw został przeprowadzony test, w którym ustalono ich pojemność rzeczywistą.

Następnie każde z ogniw zostało poddane procesowi odświeżania wykonanemu przy użyciu opisanej wcześniej ładowarki. W celu ustalenia zakończenia procesu ładowania ładowarka kontroluje temperaturę ogniw oraz DU.

Po zakończeniu procesu ładowarka podaje niewielki prąd podtrzymujący stan naładowania.

Ładowarka posiada funkcję pomiaru pojemności testowanych ogniw. Funkcja odświeżania ogniw polega na kilkukrotnym rozładowaniu i ładowaniu z pomiarem pojemności. Po osiągnięciu maksymalnej pojemności (w kilku kolejnych cyklach nie następuje już wzrost pojemności) proces odświeżania zostaje zakończony.

Funkcja pomiaru pojemności i funkcja odświeżania została wykorzystana do przeprowadzenia pomiarów.

## POMIARY

Do pomiarów wykorzystano standardowe akumulatory NiMn o pojemnościach od  $600\text{ mAh}$  do  $3500\text{ mAh}$ . Każde z ogniw zostało poddane odświeżaniu zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale poprzednim. Wyniki uzyskane podczas pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Dodatkowo przeprowadzono pomiary wzrostu pojemności po przeprowadzeniu kilku cykli odświeżających. Wyniki przeprowadzonych kolejnych cykli odświeżających dla tego samego akumulatora przedstawiono w tabeli 2. Wykazały one niewielki wzrost pojemności akumulatora w szczególności pomiędzy cyklem 2 i 3.

Z tabeli 2 można wywnioskować, że uzasadnione jest przeprowadzenie dwóch cykli regenerujących pojemność



**Tabela 1.** Porównanie pojemności akumulatorów przed odświeżaniem i po przeprowadzonym procesie**Table 1.** Comparison of battery capacity before and after the refresh process

Typ/producent	Pojemność deklarowana [mAh]	Pojemność zmierzona [mAh]	Pojemność po odświeżaniu [mAh]	Przyrost pojemności w stosunku do wartości zmierzonej [%]
Star	3500	2013	2100	4,3
Maxcell	2700	2080	2148	3,3
Duracel	2650	2500	2520	0,8
Sanyo	2500	2308	2345	1,6
Forever	2500	2010	2060	2,5
GP	2500	2270	2283	0,6
Energy Tronic	2000	42	605	1340
Star Power	1800	1120	1326	18,4
Varta	1400	1395	1413	1,2
Energizer	1300	1315	1335	1,5
GP	1300	1360	1362	0,2
GP	1100	1025	1031	0,6
Vipow	900	560	615	9,8
Energy Tronic	900	528	537	1,7
Enelop	800	862	920	6,7
GP	600	136	152	11,7

**Tabela 2.** Wpływ kolejnych cykli odświeżania na pojemność akumulatora**Table 2.** Effect of successive refresh cycles on the battery capacity

Typ/Producent	Pojemność deklarowana [mAh]	Pojemność zmierzona [mAh]	Pojemność po kolejnym cyklu		
			[mAh]	[mAh]	[mAh]
			1	2	3
GP	2500	2270	2283	2294	2303
Sanyo	2500	2345	2348	2349	2347
GP	2100	1690	1795	1860	1885
GP	1100	1025	1031	1043	1045
Energy Tronic	900	652	681	696	701

akumulatora. Dalsze zwiększanie będzie prowadziło do znikomego wzrostu pojemności a kolejne cykle będą powodowały zużycie akumulatora.

Podczas analizy wyników należy wziąć pod uwagę to, że są one wartością przybliżoną, ponieważ na wynik składa się wiele czynników m.in. temperatura ogniwa, prąd ładowania i rozładowania. Również stopień zużycia akumulatora i prawidłowe użytkowanie.

## PODSUMOWANIE

Większość akumulatorów ma niższą pojemność od wartości podanej przez producentów. W przypadku markowych akumulatorów popularnych firm różnice te są niewielkie natomiast największe różnice występują w akumulatorach mało znanych producentów.

Ogniwa poddawane procesowi odświeżania zyskiwały zaledwie kilku procentowy przyrost pojemności w stosunku do wartości zmierzonej. Jedno z mocno zużytych odzyskało znaczną część swojej pojemności. Prawdopodobnie w tym ogniwie występował efekt pamięciowy.

Przy zastosowaniu kilku cykli odświeżających następuje jeszcze nieznaczny wzrost pojemności, ale jest on prawie niezauważalny.

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że zauważalny efekt odświeżania ogniwa występuje w akumulatorach mocno zużytych, w których wystąpił efekt pamięciowy.

## LITERATURA

1. **Borkowski A. 1990:** *Zasilanie urządzeń elektronicznych.* WKiŁ.
2. **Cisak A., Werblan L. 1986:** *Wysokoenergetyczne niewodne ogniwa galwaniczne.* PWN, Warszawa.
3. **Couper A. 2000:** *Lead-Acid Battery Desulfator.* Home Power 77 June/July.
4. **Czerwiński A. 2001:** *Współczesne źródła energii.* Wydział Chemii Uniwersytetu Warszawskiego Instytut Chemii Przemysłowej im. Prof. I. Mościckiego, Warszawa.
5. **Czerwiński A. 2005:** *Akumulatory, baterie, ogniwa.* WKiŁ, Warszawa.
6. **Czerwiński A. 2012:** *Akumulatory baterie ogniwa.* WKiŁ, Warszawa.

7. **Gomółka J., Kowalczyk F., Franke A. 1977:** *Współczesne chemiczne źródła prądu*. MON, Warszawa.
8. **Kleshov H. 2008:** *Integrated System of Tooling with the mixed Flexible Production of the Carved Stamps of the Cold Casting Stamping*. MOTROL 10B.
9. **Kopczyk M. 2009:** *Wytyczne techniczne dla baterii i akumulatorów w zakresie ich podlegania przepisom ustawy z dnia 24 kwietnia 2009 r. o bateriach i akumulatorach (Dz. U. Nr 79, poz. 666)*.
10. **Kordesch K., Simader G. 1996:** *Fuel Cells and their Applications*. VCH, Weinheim.
11. **Linden D., Reddy T.B. 1993:** *Handbook of batteries*. McGraw-Hill, New York.
12. **Pijanowski B. 1986:** *Akumulator*. WKiŁ, Warszawa.
13. **Pióro D. 2004:** *Energia – Gigawat – październik 2004*.
14. **Pudlik M. 2005:** *Principles of Wind Energy use as a Source of Energy in Agriculture*. MOTROL 7.
15. **REBA Organizacja Odzysku SA, 2005:** *Prawie wszystko o bateriach*, Warszawa.
16. **Styła S. 2011:** *Problemy w ocenie stanu technicznego samochodowych akumulatorów ołowiowych*. I Sympozjum Naukowe Elektryków i Informatyków. Materiały konferencyjne. Lublin.
17. **Styła S., Sumorek A. 2009:** *Wybrane przypadki diagnostyki akumulatorów ołowiowych stosowanych w samochodach osobowych*. MOTROL.
18. **Vincent C.C., Scrosati B. 1997:** *Modern Batteries*. Arnold, London.
19. **Zienkiewicz R. 1999:** *Telefony komórkowe GSM I DCS*. WKiŁ, Warszawa.

#### BATTERY RECYCLING LOADERS BASE USING PULSE

**Summary.** The rapid development of electronics have led to the widespread use of a growing number of portable electronic devices equipped with its own power supply. It caused the need for miniaturized, high energy and reliable sources of electricity. To power these devices use rechargeable batteries, which convert chemical energy into electrical energy and vice versa. The need for reverse link causes the development of an aqueous solution electrochemistry, and the need to search for a new generation of primary cells, in which the electrode materials and high-electrolyte solutions.

**Key words:** battery, renew.

## Wpływ grubości warstwy nasion składowanych w silosach z pionowym układem wietrzenia na parametry przepływu powietrza

Janusz Bowszys

Katedra Inżynierii Systemów, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski,  
ul. Heweliusza 14, 10-718 Olsztyn, e-mail: j.bowszys@uwm.edu.pl

**Streszczenie.** celem pracy było określenie wielkości wydajności oraz jednostkowej dawki powietrza przepływającego przez warstwę ziarna w silosie. Badania przeprowadzono na ziarnie zbóż. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono istotne zmniejszenie jednostkowej dawki powietrza w zależności od grubości warstwy składowanego ziarna.

**Słowa kluczowe:** silosy, wydajność powietrza, składowanie ziarna, opory przepływu.

### METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań był silos o ładowności 60 Mg, o średnicy części cylindrycznej 4,5m. Wysokość warstwy nasion zmieniano od 0 do 4m. Układ przewietrzania z płytą płaskodenną o współczynniku perforacji blachy wynoszącej 0,0562. Wentylator konstrukcji WP napędzany silnikiem 4 kW o prędkości obrotowej 1445 obr/min [7, 5, 10]. Wybrano dwa rodzaje zbóż różniące się istotnie budową ziarniaków. Materiałem użytym do badań ziarno pszenicy oraz pszenżyta pochodzących z pól doświadczalnych (tab. 1).

### WSTĘP

Długoterminowe przechowywanie ziarna w silosach bez efektywnego wietrzenia powoduje: zmniejszenie jego jakości spowodowane ubytkiem suchej masy, rozwojem pleśni co powoduje zmniejszenie zdolności kiełkowania [17, 18, 4]. Składowane ziarno w procesie dojrzewania poźniwego w wyniku procesów biochemicznych wydziela głównie dwutlenek węgla, wilgoć i ciepło [1, 9, 11, 19].

Produkty oddychania należy usunąć z przestrzeni międzyziarnowych poprzez aktywne wietrzenie [12, 13]. Ziarno zbierane latem charakteryzuje się wysoką temperaturą 25-30°C [14]. Składując ciepłe ziarno bezpośrednio po zbiorze w silosie należy je intensywnie wietrzyć powietrzem o odpowiednich parametrach (temperatura, wydajność, jednostkowa dawka powietrza). W przestrzeniach międzyziarnowych produkty oddychania oddziałując na ziarno powodują zmniejszenie jego jakości [2, 15, 16].

### CELE I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie wpływu wysokości warstwy składowanego ziarna na wydajność oraz jednostkową dawkę powietrza w procesie wietrzenia. Zakres badań obejmował pomiary ciśnień oraz określenie wydajności powietrza w silosie z pionowy układem wietrzenia.

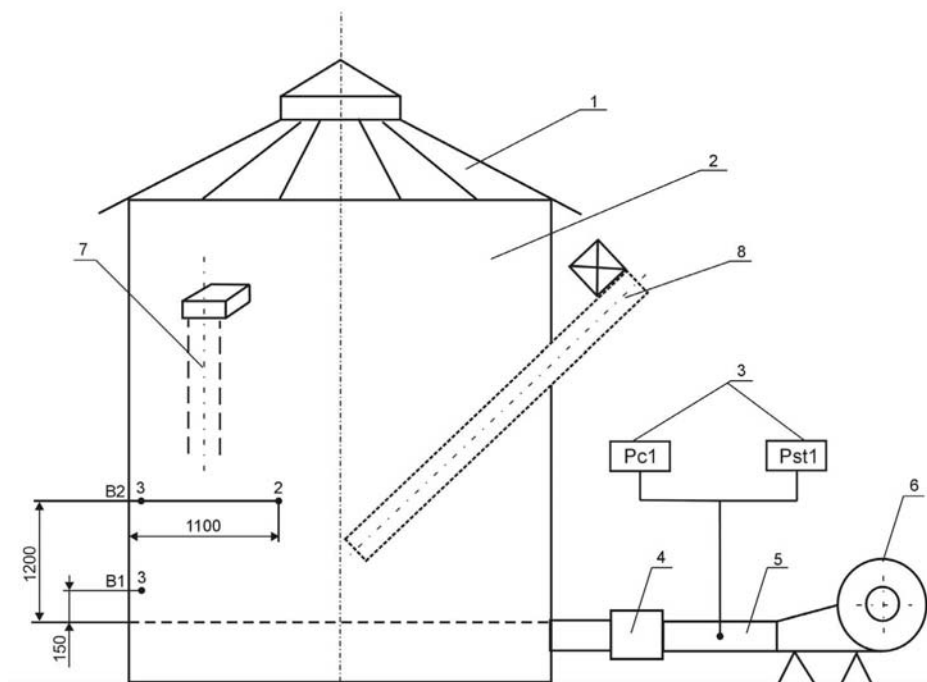
**Tabela 1.** Cechy masy ziarna użytego w doświadczeniach  
**Table 1.** Characteristics of grains used in the experiment.

Ziarno Grain	Wilgotność Humidity	Czystość Purity	Gęstość w stanie usypowym Density (stored grains)	Porowatość Porosity
	%	%	kg · m <sup>-3</sup>	%
Pszenica wheat	12,5	9,41	761	36
Pszenżyto triticale	12,4	8,28	751	39

W czasie badań wykonano pomiary na stanowisku badawczym (rys. 1) następujących wielkości:

- ciśnienie całkowite strumienia powietrza,
- ciśnienie statyczne strumienia powietrza,
- temperaturę powietrza.

Średnica rurociągu doprowadzającego powietrze (5) wynosiła 320 mm. Pomiary wykonano mikromanometrami w trzech punktach, oś symetrii oraz dwa pomiary w odległości połowy promienia od ścian bocznych. Do obliczeń wydajności przyjęto średnią arytmetyczną trzech pomiarów [2, 6].



**Rys. 1.** Schemat stanowiska badawczego silosu o pionowym układzie wietrzenia z płytą wietrzącą: 1 – dach silosu, 2 – silos, 3 – manometry do pomiaru ciśnienia w rurociągu tłoczącym, 4 – nagrzewnica elektr., 5 – rurociąg, 6 – wentylator, 7 – rurociąg, 8 – przenośnik ślimakowy

**Fig. 1.** The diagram of an elevator with a vertical ventilation and a ventilation plate: 1 – roof, 2 – elevator, 3 – manometers measuring the pressure in a piston pipeline, 4 – electric heater, 5 – pipeline, 6 – ventilator, 7 – pipeline, 8 – carrier

## METODYKA OBLICZEŃ

Obliczenie wartości ciśnienia dynamicznego:

$$P_{dyn} = P_c - P_{st}$$

$P_{dyn}$  – ciśnienie dynamiczne (Pa),

$P_c$  – ciśnienie całkowite (Pa),

$P_{st}$  – ciśnienie statyczne (Pa).

Obliczenie prędkości przepływu w rurociągu:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{dyn}}{\rho}}$$

do obliczeń przyjęto  $\rho = 1,24 \text{ kg/m}^3$ .

Obliczenie wydajności powietrza tłoczonego do silosu:

$$Q_w = F \cdot v,$$

$F$  – powierzchnia przekroju rurociągu o średnicy 320 mm,

$Q_w$  – wydajność powietrza w  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Obliczenie jednostkowej dawki powietrza ( $\text{m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ):

$$q_i = \frac{Q_w}{M_z},$$

$M_z$  – masa składowanego ziarna w Mg dla wysokości (0, 1, 2, 3, 4 m).

## WYNIKI BADAŃ

Analizując układ doprowadzający powietrze do ziarna na podstawie obliczeń stwierdzono, że płyta wietrząca silosu ma łączną powierzchnię szczelin 11 razy większą od powierzchni poprzecznej rurociągu doprowadzającego powietrze z wentylatora do silosu. Potwierdza to fakt, że nie

wystąpiło dławienie przepływu wynikające ze zmiany pola przekroju rurociągu i płyty wietrzącej. Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

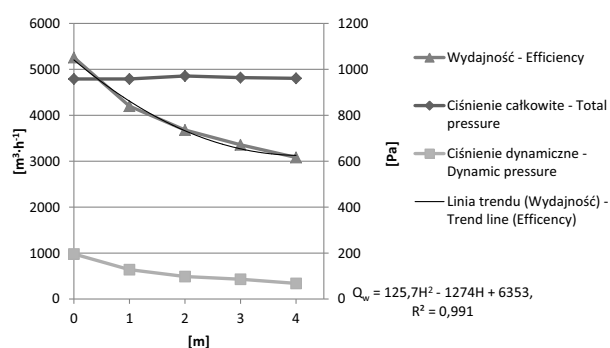
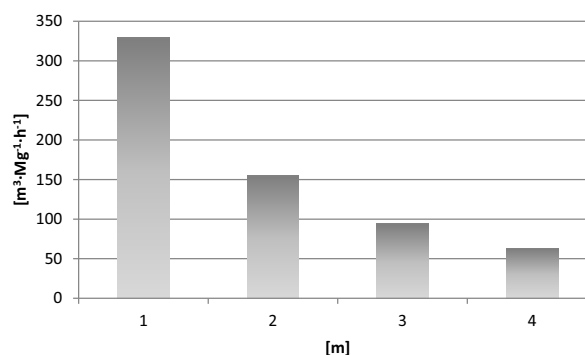
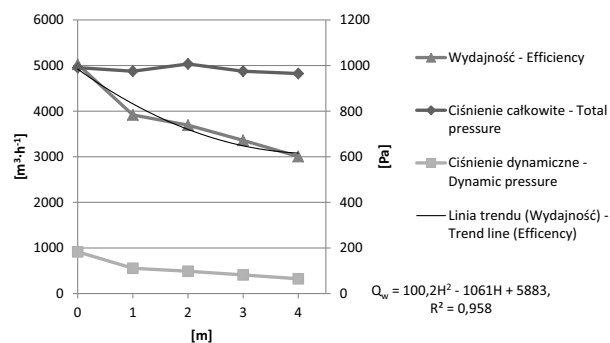
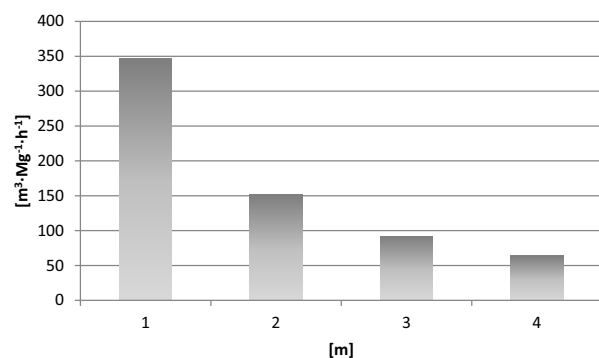
Warstwa pszenicy 1 m spowodowała zmniejszenie wydajności do  $4200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  co odpowiada jednostkowej dawce powietrza  $347 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . Zасыpywano kolejne warstwy 2, 3, 4 m. Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono w tabeli 2. Najmniejsza dawka powietrza była przy 4 m i wynosiła  $64 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  co jest wielkością wystarczającą do przewietrzania ziarna. Wyniki badań dla pszenicy nieznacznie odbiegały od wyników uzyskanych dla pszenżyta. Obecnie dominującym zbożem w produkcji rolnej naszego kraju jest pszenica. Wszystkie silosy do przechowywania ziarna suchego przed rozpoczęciem produkcji seryjnej należy poddawać testowi biologicznemu [7, 4, 3]. Wartość biologiczna przechowywanego zboża zależy w głównej mierze od efektywności przewietrzania [8]. Wyniki badań graficznie przedstawiono na rysunku 2 i 3. Ciśnienie całkowite wyrażające opór przepływu powietrza przez warstwę nasion zmieniało się nieznacznie w granicach 950-1000 Pa. Wydajność powietrza przy warstwie 1 m wynosiła odpowiednio dla pszenicy  $4200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz  $3918 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  dla pszenżyta. Warstwa ziarna o wysokości 4 m spowodowała zmniejszenie wydajności do  $3082 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  oraz  $3006 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  dla pszenżyta. Analizując rysunek 4 i 5 stwierdzono istotne zmniejszenie jednostkowej dawki powietrza z wartości  $347 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  do  $63 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . Wydajność powietrza przepływającego przez masę ziarna w silosie została opisana równaniami regresji:

$Q_w = 125,7H^2 - 1274H + 6353$ ,  $R^2 = 0,991$  dla pszenicy,

$Q_w = 100,2H^2 - 1061H + 5883$ ,  $R^2 = 0,958$  dla pszenżyta.

**Tabela 2.** Wyniki pomiarów i obliczeń parametrów strumienia powietrza**Table 2.** The results of measurements and computation of air stream parameters

Lp.	Wysokość warstwy Hight of a layer	Ciśnienie całkowite Total pressure	Ciśnienie dynamiczne Dynamic pressure	Wydajność powietrza Air efficiency	Jednostkowa dawka powietrza Nominal dose of air
	m	Pa	Pa	m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ·Mg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>
Pszenica wheat					
1	0	958	196	5257	-
2	1	958	128	4200	347
3	2	971	98	3680	152
4	3	964	86	3357	92
5	4	961	68	3082	64
Pszenżyto triticale					
1	0	991	183	5028	-
2	1	975	111	3918	329
3	2	1007	98	3693	155
4	3	975	82	3360	94
5	4	965	65	3006	63

**Rys. 2.** Zmiana ciśnień i wydajności powietrza dla pszenicy  
**Fig. 2.** Changes of pressure and efficiency in case of wheat**Rys. 5.** Zmiana jednostkowej dawki powietrza dla pszenżyta  
**Fig. 5.** Changes of nominal dose of air in case of triticale**Rys. 3.** Zmiana ciśnień i wydajności powietrza dla pszenżyta  
**Fig. 3.** Changes of pressure and efficiency in case of triticale**Rys. 4.** Zmiana jednostkowej dawki powietrza dla pszenicy  
**Fig. 4.** Changes of nominal dose of air in case of wheat

Wydajność powietrza tłoczonego do silosu można zmieniać poprzez zmianę prędkości obrotowej wirnika wentylatora. Obecnie powszechną metodą sterowania napędami elektrycznymi jest montowanie przemienników częstotliwości. Analizując wyniki badań możemy zaoszczędzić energię zmniejszając dawkę powietrza do 50 m<sup>3</sup>·Mg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> dla warstwy od 1 do 4 m.

## WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Zmniejszenie grubości warstwy nasion składowanych w silosie powoduje istotne zmniejszenie wydajności powietrza przepływającego w przestrzeniach międzyziarnowych.
2. Istotnym parametrem charakteryzującym proces przewietrzania ziarna jest jednostkowa dawka powietrza. W badanym silosie przy grubości 1 m wynosiła 347 m<sup>3</sup>·Mg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, zmniejszała się do 64 m<sup>3</sup>·Mg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> przy warstwie 4 m.
3. Utrzymanie zalecanej minimalnej dawki powietrza do przewietrzania ziarna można uzyskać poprzez zmianę charakterystyki wentylatora zmniejszając prędkość obrotową silnika w zależności od wysokości warstwy ziarna poprzez instalowanie przemienników częstotliwości.

## LITERATURA

1. **Bowszys J. 2003.** Rozkład temperatur w masie ziarna pszenicy przechowywanej w metalowych silosach zbożowych. Proceedings of National Agricultural University of Ukraine, „Mechanization of Agricultural Production”, Kyiv, 14:173-179
2. **Bowszys J. 2006.** Doskonalenie technologii suszenia i przechowywania w cylindrycznych silosach zbożowych. Zeszyt 302. Wydział Inżynierii Produkcji AR Lublin.
3. **Bowszys J., Grabowski J., Tomczykowski J. 2004.** Temperatures in seed mass stored in a metallic immediately after harvest. Techn. Sc. 7/2004.
4. **Bowszys J., Majchrzak B. 2002.** Storing grain of winter wheat in metallic elevators with regard to the grain wholesomeness. Pol. J. Sc., 10 (1):9-19.
5. **Bowszys J., Rogowski J. 1999a.** Preliminary studies on the application on the spreading chute for batching large cereal silos. Acta. Acad. Agricult. Techn. Ols. Technical Sciences. 2: 5-11.
6. **Bowszys J., Tomczykowski J. 2007.** Self-segregation of maize kernels during gravitational discharge from a silo. TEKA Kom. Mot. Power Ind. Agricult. VII. 38-43.
7. **Bowszys J., Tworkowski J. 2003.** Wheat grain storing in metal elevators with regard to physical changes and sowing value. Techn. Sc., 6: 25-38.
8. **Grzesiuk S., Górecki R. 1994.** Fizjologia plonów. Wprowadzenie do przechowania. Wyd. ART. Olsztyn.
9. **Horabik I. 1994.** Wpływ właściwości mechanicznych ziarna pszenicy na rozkład obciążenia w zbiorniku. Rozprawa nauk. Acta Agrophysica 1.
10. Instrukcja obsługi – Silosy Zbożowe BIN.
11. **Kusińska E. 1996.** Zjawiska towarzyszące migracji wilgoci w silosie zbożowym. Zeszyty Probl. Post. Nauk Roln., 425 (2).
12. **Kusińska E. 2000.** Wpływ czasu przechowywania na własności fizyczne ziarna żyta. Inżynieria Rolnicza, 5: 125-132.
13. **Kusińska E. 2002.** Wpływ zawartości wody i temperatury ziarna pszenicy na napór poziomy w modelowym silosie. Rozprawy Nauk. AR w Lublinie, 255.
14. **Kusińska E. 2006.** An influence of outer energy on moisture content distribution in grains stored in a model silo. TEKA Kom. Mot. Power Ind. Agricult. VI. 75-84.
15. **Kusińska E. 2007.** Influence of moisture content on temperature distribution in triticale grain during layer filling of a silo. TEKA Kom. Mot. Power Ind. Agricult. VII. 138-144.
16. **Kusińska E. 2008.** Hydraulic resistance of air flow through wheat grain in bulk. TEKA Kom. Mot. Power Ind. Agricult. VIII. 121-127.
17. **Narkiewicz – Jodko M. 1986.** Wartość siewna przechowywanego ziarna trzech zbóż w aspekcie fitopatologicznym. Zesz. Nauk. ART. Wrocław, 55.
18. **Narkiewicz – Jodko M. 1991.** Wpływ warunków zbioru na mikroflorę przechowywanego ziarna pszenicy ozimej. Biul. IHAR, 180: 33-41.
19. **Szwed G., Kusińska E. 2005.** Zmiana cech geometrycznych ziarniaków pszenicy w wyniku niekorzystnych warunków przechowywania. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa 7, 196-207.

AN IMPACT OF THE THICKNESS OF LAYER  
OF STORED GRAINS ON AIR FLOW PARAMETERS  
IN ELEVATORS WITH VERTICAL VENTILATION

**Summary.** The objective of the study was to determine the rate of efficiency and a nominal dose of air flowing through the layer of grains stored in the elevator. The studies were carried out using cereal grains. The results of the present study indicated significant decrease in nominal airflow that depended on the thickness of layer of stored grains.

**Key words:** grain elevator, air efficiency, grain storage, flow resistance.

## Przebieg procesu suszenia oraz zmiany jakości nasion bobiku w silosie z promieniowym układem wietrzenia (cz. I)

Janusz Bowszys<sup>1</sup>, Teresa Bowszys<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Systemów, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie  
ul. Heweliusza 14, 10-718 Olsztyn, email: j.bowszys@uwm.edu.pl

<sup>2</sup>Katedra Chemii Rolnej i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie  
email: bowter@uwm.edu.pl

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wpływu niskotemperaturowego suszenia w silosach z promieniowym układem wietrzenia na jakość nasion bobiku. Wykonano dwa doświadczenia stosując powietrze nieogrzewane i podgrzane w nagrzewnicy o mocy 18 kW. Stwierdzono, że w obu przypadkach nasiona wysuszone tą metodą wykazały wysoką zdolność kiełkowania. Poddano obserwacji nasiona przechowywane w tym silosie od zbioru do wysiewu w następnym roku. Suszone i przechowywane nasiona bobiku w silosie z promieniowym układem wietrzenia charakteryzowały się dobrą wartością siewną.

**Słowa kluczowe:** silosy, przechowywanie, bobik, jakość nasion.

ponowne rozpowszechnienie uprawy bobiku z przeznaczeniem na paszę, zwłaszcza jeżeli zostanie ograniczony import śrutu sojowej (GMO) [7].

Rośliny strączkowe zbierane kombajnami w okresie jesiennym mają nasiona o wysokiej wilgotności. Intensywne suszenie w suszarkach daszkowych wywołuje naprężenia cieplne powodujące mikropęknięcia nasion i uszkodzenie zarodka.

Celem badań było określenie przebiegu procesu suszenia nasion bobiku w silosie suszącym z promieniowym układem wietrzenia, w których czynnikiem suszącym jest powietrze o temperaturze otoczenia lub lekko podgrzane w nagrzewnicy elektrycznej. Miały także wykazać wpływ tej technologii na jakość nasion bobiku w okresie przechowywania od zbioru do wiosennego siewu.

### WSTĘP

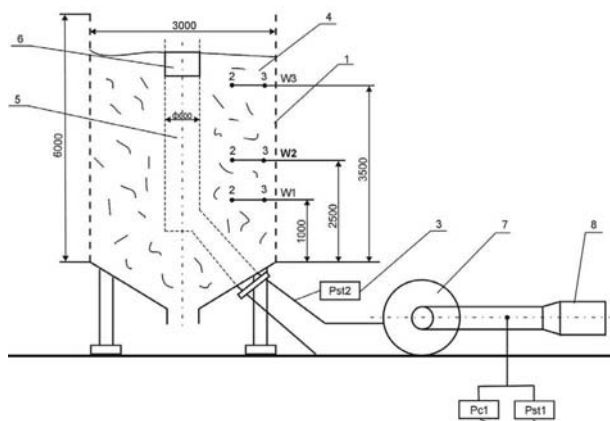
Silosy o konstrukcji metalowej dzielimy na 3 grupy: silosy do przechowywania ziarna suchego, wilgotnego oczekującego na suszenie oraz suszące z możliwością suszenia ziarna w zbiorniku. Suszące budowane są z promieniowym lub pionowym układem wietrzenia [3]. Proces suszenia w tych silosach można realizować powietrzem atmosferycznym o temperaturze otoczenia lub podgrzewanym najczęściej w nagrzewnicach metalowych.

Bobik jest rośliną strączkową o dużym znaczeniu ekologicznym ponieważ odgrywa ważną rolę w płodozmianie o dużym udziale zbóż, zwiększa zawartość w glebie materii organicznej, a wiązanie azotu atmosferycznego pozwala ograniczyć stosowanie N-mineralnego. Uprawa tej rośliny z przeznaczeniem na paszę dla zwierząt została znacznie ograniczona (do 90 tys. ha) z powodu obecności tanin czyli związków antyżywnościowych powodujących obniżenie strawności białka i węglowodanów oraz pogorszenie smakowitości paszy [6, 11]. Odmiany tradycyjne zawierały 0,7-1 mg związków taninowych w 1 g s.m. Obecnie wyhodowano nowe odmiany niskotaninowe i samokończące np. Albus, Amulet, Kasztelan, Olga zawierające minimalne ilości tanin – 0,014 mg w 1 g s.m. Może to spowodować

### METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań był silos z promieniowym układem wietrzenia. Schemat stanowiska badawczego umieszczono na rysunku 1.

Powietrze tłoczone przez wentylator (7) z rury środkowej (5) o średnicy 600 mm wypływa promieniowo susząc warstwę nasion. Rura środkowa i płaszcz silosu wykonano z blachy perforowanej z otworami daszkowymi. Proces suszenia można realizować powietrzem nieogrzewanym lub podgrzanym w nagrzewnicy elektrycznej (8). Zamontowane mikromanometry (3) wykorzystano do pomiaru ciśnień. Wzierniki W1, W2, W3 służą do pobierania prób sondą przy ściance W1<sub>3</sub> oraz w odległości 0,6 m od ścianki W1<sub>2</sub>. Materiałem użytym do badań był bobik odmiany Nadwiślański pochodzący z jednego pola zebrany w 6 partiach, wstępnie oczyszczony. Czystość nasion wynosiła 89,52% do 91,4%, zanieczyszczenia użyteczne 4,5 do 9,6%, nieużyteczne 0,5 do 0,95%. Proces suszenia realizowano w dwóch doświadczeniach. Doświadczenie I- suszenie powietrzem nieogrze-



**Rys. 1** Schemat stanowiska badawczego silosu z promieniowym układem wentrowania: 1 – silos, 2 – mikromanometry do pomiaru ciśnienia w rurociągu ssącym, 3 – manometr, 4 – warstwa wierzchnia nasion, 5 – rura wentylująca, 6 – tłok, 7 – wentylator, 8 – nagrzewnica elektryczna,  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  – płaszczyzny pobierania prób ziarna, (2 – w odległości 0,6 m od ściany, 3 – przy ścianie)

**Fig. 1** The diagram of an elevator with a radial ventilation: 1 – elevator, 2 – micromanometers measuring the pressure in a suction pipeline, 3 – manometer, 4 – seeds top layer, 5 – ventilating pipe, 6 – piston, 7 – ventilator, 8 – electric heater,  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  – sampling planes (2 – at a distance of 0,6 m from the wall, 3 – near the wall)

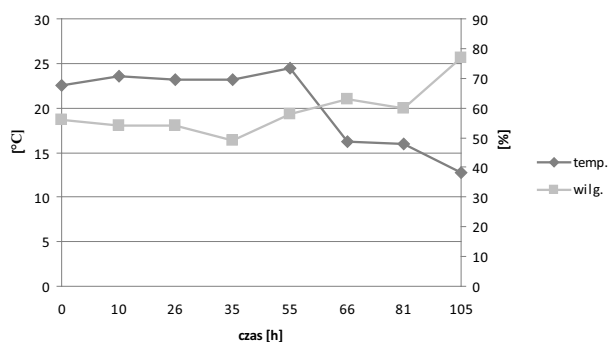
wanym o wydajności  $10180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  i jednostkowej dawce powietrza  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , masa nasion 34 t. Doświadczenie II – powietrzem ogrzewanym w nagrzewnicy elektrycznej o mocy 18 kW, wydajność  $10060 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  jednostkowa dawka  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , masa nasion 34 t. Nasiona wysuszone podgrzanym powietrzem przechowywano w tym silosie od zbioru do okresu wiosennego siewu, kontrolując zdolność kiełkowania.

Wilgotność poszczególnych partii nasion zasypywanych do silosu mierzono wilgotnościomierzem przemysłowym N-197A. Natomiast wilgotność próbek pobieranych do analizy procesu suszenia i przechowywania określono metodą suszarkową z dokładnością do 0,01%. Temperaturę nasion w silosie mierzono termometrem cyfrowym z dokładnością do 0,1°C. Wydajność powietrza tłoczonego do silosu przed wentylator FK-50 o mocy silnika 7,5 kW obliczano według metody [1, 2]. Próbkę do analizy procesu suszenia pobierano w punktach  $W_{12}$ ,  $W_{13}$  co około 8 godzin. Okres przechowywania trwał 143 dni od zbioru do siewu wiosennego. Próby pobierano 7- krotnie (rys. 5). Podstawowym miernikiem jakości materiału siewnego jest zdolność kiełkowania, którą określano według PN-R-65950.

## WYNIKI BADAŃ

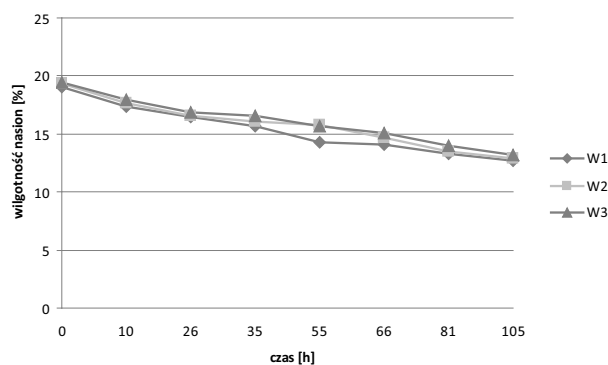
Badania nad efektywnością suszenia prowadzono w dwóch doświadczeniach stosując powietrze nieogrzewane o parametrach otoczenia oraz ogrzewane nagrzewnica elektryczną. Przebieg zmian (doświadczenie I) temperatury i wilgotności powietrza suszącego przedstawiono na rysun-

ku 2. Wilgotność powietrza zmieniała się w granicach od 49 do 77%, natomiast temperatura od 12,8 do 24,5°C. Stosując suszenie powietrzem nagrzewanym wystąpiło zwiększenie temperatury nasion średnio w granicach od 21,2 do 23°C co nie spowodowało obniżenia zdolności kiełkowania. Procesem suszenia sterowano tak, żeby nie nawilżyć badanego materiału powietrzem suszącym. Rzeczywisty przebieg krzywych suszenia przedstawiono na rysunku 3. Nasiona o wilgotności początkowej 19% wysuszone do 12,7% po 105 godzinach wietrzenia. Na podstawie analizy krzywych suszenia stwierdzono, że proces suszenia w badanych płaszczyznach  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  przebiega równomiernie (rys. 3).



**Rys. 2.** Temperatura i wilgotność powietrza suszącego w funkcji czasu suszenia

**Fig 2.** Temperature and humidity of drying air versus drying time



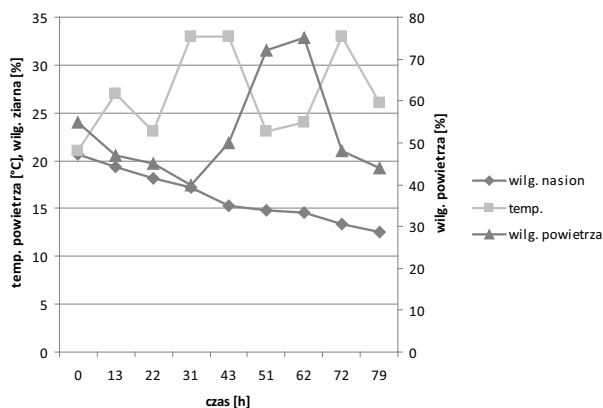
**Rys. 3.** Rzeczywisty przebieg krzywych suszenia bobiku w poszczególnych płaszczyznach powietrzem nieogrzewanym

**Fig 3.** The real course of drying curves in particular planes during drying of horse beans with non heated air

Wpływ tej metody suszenia na jakość materiału siewnego zbadano określając zdolność kiełkowania nasion przed suszeniem i po wysuszeniu w silosie nieogrzewanym powietrzem. Zdolność kiełkowania nasion przed suszeniem wynosiła 96% natomiast po wysuszeniu w silosie 90,3% [8, 9, 10].

Skrócenie czasu suszenia (doświadczenie II) uzyskano stosując podgrzewanie powietrza w nagrzewnicy elektrycznej. Przebieg zmian temperatury, wilgotności powietrza i wilgotności ziarna przedstawiono na rysunku 4. W ciągu 79 godzin badań wilgotność powietrza zmieniała się od 40 do 55%, natomiast temperatura od 21 do 33°C. Nasiona o wilgotności początkowej 20,7% wysuszone do 12,6% po 79 godzinach pracy nagrzewnicy. Wysuszone nasiona w silosie przechowywano do lutego roku następnego [4, 5].

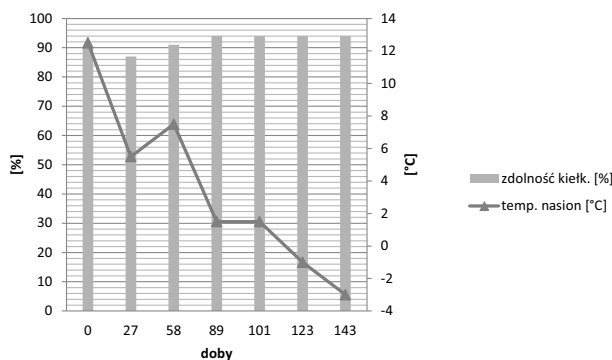




Rys. 4. Rzeczywisty przebieg krzywej suszenia w płaszczyźnie W3 powietrzem ogrzewanym w nagrzewnicy o kontrolowanej temperaturze i wilgotności względnej

Fig. 4 The real course of a drying curve in the W3 plane during drying with air heated in a heater with controlled temperature and relative humidity

Próby do określenia zdolności kiełkowania pobierano co 20 dni. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rysunku 5. W całym okresie przechowywania zdolność kiełkowania zmieniła się w granicach od 96 do 89%. Wychłodzenie nasion od temperatury początkowej 19°C do temperatury -3,1°C nastąpiło po 143 dniach przechowywania.



Rys. 5. Zmiana zdolności kiełkowania i temperatury nasion przechowywanych od 30.09 do 20.02 roku następnego

Fig. 5. Change in germination ability and temperature of seeds stored from 30.09 to 20.02. of the next year

## WNIOSKI

1. Suszenie w silosach nasion bobiku nieogrzany powietrzem pozwala uzyskać szybkość suszenia  $2 \text{ Mg} \cdot \% \cdot \text{h}^{-1}$ , a zastosowanie nagrzewnicy NP18 na zwiększenie tego wskaźnika do  $3,5 \text{ Mg} \cdot \% \cdot \text{h}^{-1}$ .
2. Suszenie nasion bobiku w silosach z promieniowym układem wietrzenia zachowuje materiał siewny bez uszkodzeń mechanicznych co zapewnia wysoką zdolność kiełkowania.
3. Zastosowany promieniowy układ wietrzenia zapewnia równomierne suszenie nasion w całej objętości silosu.
4. Zastosowany wentylator typu FK-50 współpracujący z badanym silosem zapewnia wystarczającą wydajność

powietrza umożliwiając suszenie nasion bobiku w silosie.

## LITERATURA

1. Bowszys J. 2003: Rozkład temperatur w masie ziarna pszenicy przechowywanej w metalowych silosach zbożowych. Proceedings of National Agricultural University of Ukraine, „Mechanization of Agricultural Production”, Kyiv, 14, 173-179
2. Bowszys J. 2006: Doskonalenie technologii suszenia i przechowywania w cylindrycznych silosach zbożowych. z 302. Wydział Inżynierii Produkcji AR Lublin.
3. Bowszys J., Cydzik R.: Silos zbożowy do dosuszania ziarna nr patentu 74982.
4. Bowszys J., Grabowski J., Tomczykowski J. 2004: Temperatures in seed mass stored in a metallic immediately after harvest. Techn. Sc. 7/2004.
5. Bowszys J., Tomczykowski J. 2007: Self-segregation of maize kernels during gravitational discharge from a silo. TEKA Kom. Mot. Power Ind. Agricult. VII. 38-43.
6. Grzesiuk S., Górecki R. 1994: Fizjologia plonów. Wprowadzenie do przechwalnictwa. Wyd. ART. Olsztyn.
7. Hall T., Maljean J.-F. 2007: The EU support to research and the expected contribution of plant science to the Knowledge-Based Bio-Economy. Integr. Leg. Biol. for Sust. Agri. 6<sup>th</sup> Europ. Conf. for Grain Leg. 2007, Lisbon:4.
8. Michalczyk D., Górecki R., Kulka K., Rejowski A. 1998: Changes In phosphorus of field bean (*Vicia faba* var. minor Harz) seed stored at different temperatures. Plant Breeding and Seed Sci. 42 (1), 37-46.
9. Narkiewicz-Jodko M. 1986: Wartość siewna przechowywanego ziarna trzech zbóż w aspekcie fitopatologicznym. Zesz. Nauk. ART. Wrocław, 55.
10. Piotrowicz-Cieślak A., Michalczyk D., Bulinska-Radowska Z., Górecki R. 2010: Zawartość węglowodanów rozpuszczalnych w nasionach roślin strączkowych podczas długoterminowego przechowywania. ZPPNR z 555, 139-146.
11. Szwed G., Kusińska E. 2005: Zmiana cech geometrycznych ziarniaków pszenicy w wyniku niekorzystnych warunków przechowywania. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa 7, 196-207.

## THE PROCESS OF SEEDS DRYING AND CHANGES IN SEEDS QUALITY OF HORSE BEAN IN AN ELEVATOR WITH A RADIAL VENTILATION SYSTEM

**Summary.** The aim of the study was to evaluate the impact of low temperature drying in an elevator with a radial ventilation system on a quality of horse bean seeds. The two tests have been performed using non heated air or the air heated in a 18 kW heater. It has been ascertained that in both cases the seeds dried by this method showed high germination ability. The seeds stored in this elevator from collecting to sowing time were examined in the next year. Horse bean seeds dried and stored in an elevator with a radial ventilation system showed good sowing value.

**Key words:** elevators, storage, horse bean, seeds quality.



## Badania wydajności eksploatacyjnej linii rozlewniczej „K r o n e s” o sterowaniu mikroprocesorowym

Zbigniew Burski, Hanna Krasowska-Kotodziej

**Streszczenie.** w pracy przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych linii rozlewniczej „Krones” o sterowaniu mikroprocesorowym. Podano charakterystykę techniczną, wielkość produkcji oraz ocenę istotności statystycznych etapowej wydajności produkcyjnej.

**Słowa kluczowe:** przemysł spożywczy, gospodarka surowcowo-materiałowa, linia rozlewnicza, wydajność eksploatacyjna, istotność statystyczna procesu.

- najwyższy poziom obejmuje sterowanie przebiegiem produkcji (np. układy sterowania PLC i CNC);
- poziom drugi, to zbieranie danych z procesu i ich wizualizacja (np. SCADA);
- poziom trzeci, to systemy zarządzania produkcją i śledzenie jej przebiegu typu MES (*Manufacturing Execution System*);
- poziom czwarty, to system zarządzania i planowania zasobów całego przedsiębiorstwa ERP (*Enterprise Resource Planning*).

Takim zintegrowanym zestawem programów do zarządzania informacją związaną z produkcją jest MM i System (*Manufacturing Management Information System*) w postaci np. Wonderware Faktory Suite 2000 [17, 18].

### WPROWADZENIE

Proces technologiczny w zakładzie przemysłu spożywczego to znacznie więcej, niż praca ludzi, surowce i materiały czy środki produkcji. Jest to cały system analizy zagrożeń i krytycznych punktów kontroli jakości (HACCP) opartych na opracowanych i nadzorowanych jego dokumentach, dotyczących realizacji procedur [21], audytu wewnętrznego [22] i zasad jego weryfikacji [8, 19, 20].

Informacja o stanie procesu technologicznego jest podstawą polepszenia jakości produkcji, wzrostu wydajności i oszczędności finansowych zakładu [9, 14, 15] oraz środowiskowego oddziaływania [24, 25]. Zarządzanie procesami produkcyjnymi przy pomocy nowoczesnego oprogramowania stanowi niezbędny warunek istnienia na konkurencyjnym rynku. Usprawnienie procesu technologicznego (w szczególności szybkie lokalizowanie i usuwanie występujących w nim nieprawidłowości) wymaga szczegółowej wiedzy o jego przebiegu. Na tę wiedzę składa się cały szereg informacji o pracy poszczególnych urządzeń, przepływie surowców i materiałów, wartościach rozmaitych parametrów logistyczno-technologicznych [5, 6, 18, 25]. Niezbędne są odpowiednie systemy informatyczne, zapewniające efektywne gromadzenie i wykorzystywanie odpowiednich informacji [1, 2, 3, 4].

We współczesnych systemach sterowania można wyróżnić pewne poziomy funkcjonalne:

### CEL PRACY

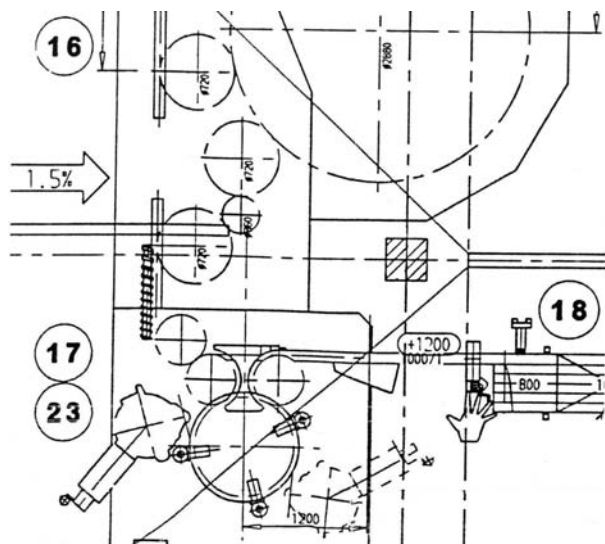
Celem niniejszej pracy jest ocena eksploatacji linii produkcyjnej rozlewu butelkowego piwa firmy „KRONES” w zakresie rzeczywistego, produkcyjnego wykorzystania jej nominalnej wydajności. Ocenę eksploatacji oparto o statystyczne istotności zachodzącego procesu technologicznego, ze szczególnym uwzględnieniem występujących stras surowcowo-materiałowych.

### CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA AUTOMATYZACJI I MIKROPROCESOROWEGO STEROWANIA CYKLEM PRODUKCYJNYM OBIEKTU BADAŃ

Początek procesu eksploatacji linii rozlewniczej stanowi umieszczenie na wózek widłowym palety z pustymi butelkami. Następnie są one transportowane sekcyjnym przenośnikiem rolkowym. Nacisk palety na rolkę połączoną z wyłącznikiem krańcowym powoduje uruchomienie kolejnych jego sekcji, aż do depaletyzatora.

W linii pracują dwa typy depaletyzatorów: w pełni automatyczny nowego typu 470 (model ANS) oraz *Krones Palmaster typ 451* (model EN1). O przybyciu palety do depaletyzatora informuje komórka. Rozładowane skrzynki przemieszczają się na przenośnikach łańcuchowych zaopatrzonych w fotokomórki połączone z detektorem czasowym (tzw. czasówką). Co 10 sekund następuje włączenie kolejnego odcinka przenośnika. Butelki są automatycznie wyładowywane ze skrzynek na stół odbiorczy komputerowo sterowaną wyładówarką firmy *Krones Linapack* (model A-T-1600). Spiętrzeniu butelek w strefie wyładunku zapobiega fotokomórka. Dalej przenośniki dostarczają butelki do myjki zamaczalnikowo-natryskowej, nieprzelotowej firmy *Krones* typu *Lavatic-lces*, a skrzynki do myjki *Krones* typ 690 (model 35) [11, 12].

Na wyjściu butelek z myjki zainstalowany jest czujnik zbliżeniowy. Następnie butelki przechodzą przez Inspektora Butelek Pustych (IBP) firmy *Krones Linatronic* typ 712 (model M). Tu dokonywana jest ocena każdej części butelki, grubość ścianki, gwintu butelki i ewentualnej obecności resztek cieczy myjących. Kontrola przeprowadzana jest za pomocą kamery z wykorzystaniem źródła światła ultrafioletowego i podczerwieni. „IBP” rozróżnia uszkodzenie mechaniczne butelki od zanieczyszczeń, które można usunąć. Na tej podstawie automatycznie odsyła butelki do ponownego umycia lub odrzucenia do kosza, gdy są za wysokie lub za niskie [13]. Butelki po umyciu i kontroli przemieszczane są za pomocą podajnika ślimakowego do gwiazdy podającej napełniarki. Zastosowana rozlewaczka piwa *Krones Sensometric 126 VP-VP 104-087/KK 13-S* zblokowana z zamykarką kapsli koronowych *KK 360-13-087* i etykietciarką *Krones Starmatic 0-80-960-28-8-8-110* tworzą tzw. monoblok (rys. 1).



**Rys. 1.** Schemat konstrukcyjny monobloku linii rozlewniczej formy Krones: 16- rozlew butelkowy, 17- etykietciarka, 18- kontrola napełniania butelek, 23- datownik laserowy [12].

**Fig. 1.** A diagram of monoblock construction of the “Krones” bottling line: 16 – bottling, 17 – labeler, 18 – control of bottling, 23 – laser stamp [12]

Szczegółowy proces technologiczny pracy monobloku w rozlewie butelkowym przedstawiono w pracy [17].

W aspekcie technicznym (rys. 1) pracę przenośników w monobloku regulują czujniki zbliżeniowe (spiętrzenie butelek) i fotokomórki (butelki przewrócone).

Napełnione, zakapslowane i zaetykietowane butelki przechodzą przez kontrolę napełniania. Wykonuje ją urządzenie *Chekmat*, typ 707 (model FEM-G). Kontrola polega wysokość nalewu za pomocą promieniowania gamma oraz fotoelektryczna kontrola etykiet. Kamera sprawdza zamknięcie butelki kapslem. Wadliwy produkt jest eliminowany automatycznie przez wyrzutnik pneumatyczny na oddzielny transporter.

Po napełnieniu i sprawdzeniu butelki są pakowane do skrzynek, a następnie na palety. Każda paleta owijana jest folią, przy pomocy *owijarki* typu 902 (model 101) i sprawdzana przez urządzenie typ 455 (model Kontrol). Butelki o poj. 0,5 l są ładowane do plastikowych skrzynek po 20 sztuk w pięciu warstwach, czyli po 900 sztuk butelek na palecie.

## METODYKA BADAŃ I OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH

### 1. PRZEDMIOT BADAŃ I CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁU BADAWCZEGO

Przedmiotem badań była linia rozlewnicza firmy *KRONES*, ze szczególnym uwzględnieniem wyjściowej wydajności nominalnej i finalnej z uwzględnieniem czynników eksploatacyjnych, istotnie wpływających na efekt końcowy produkcji. Parametry techniczne linii dla **butelek 0,5 l**: napełnianie 36 000 szt./h, pakowanie 41 400 szt./h, paletowanie 43 200 szt./h. Dla **butelek 0,33 l**: napełnianie 24 000 szt./h, paletowanie 28 800 szt./h.

W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę materiału badawczego wydajności eksploatacyjnej linii rozlewniczej *KRONES* na przykładzie miesiąca lutego.

Jak wynika z danych zawartych w tab. 1, butelki o pojemności 0,5 l stanowią znaczny procent w produkcji piwa butelkowego. Potwierdzają to dane produkcyjne, zawarte w innych opracowaniach autorów [5,6].

### 2. METODYKA OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH

W analizie statystycznej do ilościowej oceny istotności zachodzenia procesu eksploatacji linii butelkowego rozlewu piwa na określonym poziomie prawdopodobieństwa, wykorzystano cztery rodzaje testów statystycznych [7, 23]. Wynikało to z braku znajomości kształtu rozkładu danych w populacji (normalnego Gaussa czy asymetrycznego). Dwa testy parametryczne, typowe porównania dwóch populacji oraz test HSD Tukey’a, w przypadku porównania większej ich liczby. Dwa testy niesymetryczne: test rangowanych znaków przy porównaniu dwóch populacji oraz test Kruskala-Wallisa w przypadku dwóch lub większej liczby porównywanych populacji (tabela 3-6).

W tabeli 2 przedstawiono objaśnienia przyjętych oznaczeń materiałowych i wydajnościowych w analizie statystycznej.

**Tabela 1.** Dane statystyczne produkcji linii rozlewniczej *KRONES* w miesiącu lutym o nominalnej wydajności produkcyjnej 193 500 butelek 0,5 l na dobę**Table 1.** Statistical data for *KRONES* bottling line production line in February with a nominal production capacity 193 500 bottles of 0.5 liters per day

Data	Produkcja	Słuczka produkcyjna			Słuczka ponadnormatywna			Razem			Pobrano z magazynu	Typ (poj. but.)
		[szt.]	[kg]	[%]	[szt.]	[kg]	[%]	[szt.]	[kg]	[%]		
1.02.	200 500	2 700	1000	1,3	3160	1170	1,53	5850	2170	2,83	206 460	0,5
2.02.	215 860	2 842	1051	1,3	5738	2124	2,53	8550	3175	3,83	224 440	0,5
4.02.	42 408	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
8.02.	196 240	3 480	1288	1,7	5180	1916	2,53	8660	3204	4,23	206 900	0,5
12.02.	223 720	3 960	1465	1,7	5440	2013	2,33	9400	3478	4,03	233 120	0,5
16.02.	43 296	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
17.02.	165 200	2 950	1092	1,7	5370	1986	3,1	8320	3078	4,8	173 520	0,5
18.02.	35 420	643	2384	1,7	1757	650	4,64	2400	888	6,34	37 820	0,5
19.02.	166 180	3 005	1111	1,7	7601	2811	4,3	10606	3933	6	176 786	0,5
22.02.	218 690	3 844	1422	1,7	3616	1338	1,6	7460	2760	3,3	226 150	0,5
23.02.	232 840	4 127	1527	1,7	5823	2154	2,4	9950	3681	4,1	242 790	0,5
26.02.	204 460	3640	1347	1,7	6220	2301	2,9	9860	3648	4,6	214 320	0,5

**Tabela 2.** Objasnienia przyjętych oznaczeń materiałowych i wydajnościowych**Table 2.** Explanation of designations adopted in materials and performance

Lp.	Wyszczególnienie/ skrót
1.	Nominalna wydajność produkcyjna linii rozlewniczej – nom
2.	Pobrano z magazynu – mag
3.	Słuczka produkcyjna 1 (szt.) – spr.1
4.	Słuczka produkcyjna 2 (kg) – spr. 2
5.	Słuczka ponadnormatywna 1 (szt.) – spon 1
6.	Słuczka ponadnormatywna 2 (kg) – spon 2
7.	Produkcja końcowa – prod.

**Tabela 3.** Statystyki sumacyjne wydajności i strat produkcyjnych wg poziomu czynnika „grupa”, (m-c)**Table 3.** Summation statistics of productivity and production losses according to the level of the factor “group”, (month)

Grupa [m-c]	Liczebność dzienna [n]	Mag. [szt.]		Spr. 1 [szt.]		Spr. 2 [kg]			Prod. [szt.]
		Odch. stand.	Wsp. zm. [%]	Odch. stand.	Wsp. zm. [%]	Odch. stand.	Wsp. zm. [%]	Odch. stand.	
1	17	45897,7	38,65	597,16	38,66	221,09	38,69	44245,6	38,75
2	17	49457,9	43,22	843,91	45,99	520,10	62,11	47101,1	43,06
3	21	47956,7	42,17	1546,81	57,66	495,17	57,50	47044,1	42,22
4	31	54363,0	40,39	921,27	40,33	340,85	49,33	52153,6	40,31
5	38	63271,3	45,10	1011,39	41,77	386,76	44,33	59193,6	44,69
6	31	51248,3	36,25	874,41	38,25	322,56	38,24	49176,3	38,21
Razem (całk.)	155	54132,6	41,93	992,47	45,25	386,96	47,23	51456,6	4,60

**Tabela 4 a.** Analiza wariancji wydajności i strat produkcyjnych wg poziomu czynnika „grupa”, (m-c)**Table 4 a.** Analysis of productivity variance and production losses based on the level of the factor “group”, (month)

Źródło	Licz. Df [n-1]	Mag.szt.]				Spr. 1 [szt.]			
		Suma kwadratów	Średni kwadrat	Wart. testu F	Poz. istot. TAK/NIE	Suma kwadratów	Średni kwadrat	Wart. testu F	Poz. istot. TAK/NIE
Między grupami	5	1,68473 E 10	3,36946 E 9	1,16	0,33 NIE	1,22209 E 7	2,44418 E 6	2,61	0,02 TAK
Wewn. grup	149	4,34425 E 11	2,91561 E 9	-	-	1,3947 E 8	936038,0	-	-
Całk. (popr.)	154	4,51273 E 11	-	-	-	1,51691 E 8	-	-	-

**Tabela 4 b.** Analiza wariancji wydajności i strat produkcyjnych wg poziomu czynnika „grupa”, (m-c)**Table 4 b.** Analysis of productivity variance and production losses based on the level of the factor “group”, (month)

Źródło	Licz. Df [n-1]	Spr. 2 [kg]				Produkcja [szt.]			
		Suma kwadratów	Średni kwadrat	Wart. testu F	Poz. istot. TAK/NIE	Suma kwadratów	Średni kwadrat	Wart. testu F	Poz. istot. TAK/NIE
Między grupami	5	1,23067 E 6	246135,0	1,68	0,14 NIE	1,28802 E 10	2,57605 E 9	0,97	0,43 NIE
Wewn. grup	149	2,18295 E 7	146506,0	-	-	3,94879 E 11	2,65049 E 9	-	-
Całk. (popr.)	154	2,30601 E 7	-	-	-	4,07759 E 11	-	-	-

**Tabela 4 c.** Analiza wariancji wydajności i strat produkcyjnych wg poziomu czynnika „grupa”, (m-c)**Table 4 c.** Analysis of productivity variance and production losses based on the level of the factor “group”, (month)

Źródło	Licz. Df [n-1]	Spon. 1 [szt.]				Spon. 2 [szt.]			
		Suma kwadratów	Średni kwadrat	Wart. testu F	Poz. istot. TAK/NIE	Suma kwadratów	Średni kwadrat	Wart. testu F	Poz. istot. TAK/NIE
Między grupami	4	9,29997 E 6	2,32499	0,76	0,55 NIE	1,56844 E 6	392109,0	0,93	0,45 NIE
Wewn. grup	124	3,78173 E 8	3,04978	-	-	5,24628 E 7	423087,0	-	-
Całk. (popr.)	128	3,87473 E 8	-	-	-	5,40312 E 7	-	-	-

**Tabela 5.** Test Kruskala-Wallisa wydajności i strat produkcyjnych wg poziomów czynnika „grupa”, (mc)**Table 5.** Kruskal-Wallis test of performance and production losses based on the levels of the factor “group”, (month)

Wyszczególnienie		Cykl produkcyjny					
		Średnia Rang					
Grupa (m-c)	Liczba próby	Mag	Spr. 1	Spr. 2	Spon. 1	Spon. 2	Prod.
1	17	68,64	46,32	46,32	62,58	62,26	69,76
2	17	61,00	59,67	68,70	56,00	55,82	59,94
3	21	58,76	80,88	80,52	-	-	61,47
4	31	86,25	84,22	83,90	62,03	61,62	87,12
5	38	88,73	88,86	85,44	71,94	72,77	85,97
6	31	84,06	83,91	83,79	65,79	65,44	84,70
Statystyka testu		10,82	14,74	11,32	2,52	2,95	9,34
Poziom istotności		0,055 NIE	0,011 TAK	0,045 TAK	0,637 NIE	0,565 NIE	0,096 NIE

**Tabela 6.** Testy porównań wielokrotnych. Metoda: 95,0 procentowy przedział HSD Tukey’a wg poziomu czynnika „grupa”, (m-c)**Table 6.** Multiple comparison tests. Method: 95.0 percent Tukey HSD range according to the level of the factor “group”, (month)

Testowanie hipotez roboczych	Parametry statystyczne					
	Czynnik: grupa	Liczebność	Średnia	Grupy jednorodne	Kontrast	Granice NIR (+/-)*
Magazyn	3	21	113736,0	X	1-2	53472,0
	2	17	114430,0	X	1-3	50862,0
	1	17	118727,0	X	1-4	47049,0
	6	31	133954,0	X	4-5	37730,1
	4	31	134589,0	X	4-6	39597,7
	5	38	140266,0	X	5-6	37730,1
Stłuczka prod. (spr. 1)	1	17	1544,47	X	1-2	958,09
	2	17	1834,76	XX	1-3	911,33
	6	31	2278,16	XX	1-4	843,01
	4	31	2284,19	XX	4-5	676,03
	3	21	2335,76	XX	4-6	709,49
	5	38	2421,18	X	5-6	676,03

Testowanie hipotez roboczych	Parametry statystyczne					
	Czynnik: grupa	Liczebność	Średnia	Grupy jednorodnie	Kontrast	Granice NIR (+/-)*
Stłuczka prod. (spr. 2)	1	17	571,41	X	1-2	379,04
	2	17	805,11	X	1-3	360,54
	6	31	843,41	X	1-4	333,51
	4	31	845,12	X	4-5	267,45
	3	21	861,09	X	4-6	280,69
	5	38	872,42	X	5-6	267,45
Produkcja (prod.)	2	17	109365,0	X	1-2	50980,1
	3	21	111401,0	X	1-3	48491,7
	1	17	114184,0	X	1-4	44856,5
	6	31	128693,0	X	4-5	35971,4
	4	31	129378,0	X	4-6	37752,4
	5	38	132434,0	X	5-6	35971,8
Stłuczka ponad-normatywna (spon. 1)	2	17	2935,5	X	1-2	1657,5
	1	17	2998,1	X	1-4	1476,1
	4	29	3129,9	X	4-5	1198,5
	5	29	3251,9	X	4-6	1269,1
	6	37	3657,7	X	5-6	1198,5
Stłuczka ponad-normatywna (spon. 2)	2	17	1086,0	X	1-2	617,37
	1	17	1109,1	X	1-4	549,81
	4	29	1157,7	X	4-5	446,40
	6	29	1202,5	X	4-6	472,59
	5	37	1379,0	X	5-6	446,40

#### ANALIZA WYNIKÓW I OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH

Wyniki obliczeń statystycznych istotności zmian w wydajności eksploatacyjnej linii rozlewniczej firmy *KRONES* przedstawiono tabelarycznie (tab. 3–6). Już statystyki symulacyjne zawarte przykładowo w tab. 3 wskazują na dwie zróżnicowanie liczebności produkcji w zakresie dobowego wykorzystania dni miesiąca (17-38). Wynika to z jedno lub dwuzmianowego systemu pracy. Jednocześnie w każdym analizowanym miesiącu produkcji występuje wysoka wartość współczynnika zmienności zarówno w zakresie wydajności produkcyjnej, jak i ponoszonych strat (około 40-50%). Świadczy to o dużej, dziennej zmienności analizowanych podmiotów badań.

Wyniki obliczeń w analizie wariancji (tab. 4 a,b,c) nie wykazały istotnych różnic grupowych (miesięcznych) w ilości butelek pobranych z magazynu, stłuczki produkcyjnej masowym, stłuczki ponad produkcyjnej, czy wydajności produkcyjnej (finalnej). Natomiast obliczenia istotności różnic pomiędzy miesiącami (grupami) testem Kruskala-Wallisa oraz testem HSD Tukey'a wskazały na istotne różnice w zakresie strat produkcyjnych butelek w ujęciu masowym i sztukowym. Wynika więc, że z powodu większej „czułości” test Kruskala-Wallisa oraz test HSD Tukey'a winny być wykorzystywane w praktyce eksploatacyjnej.

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że nawet najnowocześniejsze systemy komputerowego sterowania produkcją z wykorzystaniem techniki mikroprocesowej oraz jej elektroniczną kontrolą jakości nie są w stanie wyeliminować straty ponad normatywne, a tym bardziej normatywne. Łącznie mogą one stanowić ponad 6% całej produkcji.

Wykazano, że stłuczka ponad normatywna często stanowi dwukrotną wielkość stłuczki normatywnej. Jak wykazano w pracy [6] jest to między innymi wpływ różnicy temperatur butelek z magazynu, a temperaturą linii technologicznej i otoczenia okresu zimowego.

Niezależnie od zmniejszonej okresowo wielkości produkcji piwa w miesiącach zimowych, istnieje wysoki poziom zmienności w zakresie dobowej produkcji piwa. Współczynnik zmienności zawiera się często w zakresie 40-50%. Jest to efekt przeprowadzonych okresowo przeglądów technicznych, modernizacji i napraw. W wykazaniu istniejących istotności różnic w wydajności produkcji szczególnie przydatny okazał się test symetryczny HSD Tukey'a oraz niesymetryczny Kruskala-Wallisa.

Z uwagi na brak szczegółowych danych eksploatacyjnych linii rozlewniczych występujących w literaturze zagadnienia, badania winny być kontynuowane. Dotyczy to szczególnie miar efektywności stosowanych linii rozlewniczych, szczegółowej budowy z posadowieniem detektorów sterujących, kontrolnych ze wskazaniem na przyczyny zaistniałych strat. Uzyskane wyniki winny być również zinterpretowane w oparciu o fizyczną analizę procesu rozlewu uwzględniająca pojemność butelek (puszek).

#### LITERATURA

1. **Burski Z., Krasowski E. 2000.** Maszyny i urządzenia transportowe w przemyśle rolno-spożywczym. Wyd. AR w Lublinie, Lublin, 8087.
2. **Burski Z., Krasowski E., Radkiewicz R. 2001.** The analysis of costs of energy carries consumption and wiking capacity in the varions technical and technological conditions of brewery plants. *Zbirknik Naukowych Prac NAU*, Wid. NAUU, Kyiv XII, T. 1, 123-128.

3. **Burski Z., Bulgakov V., Reichenbach J. 2005.** The analysis of raw material land energy consumption and the costs of their utilization in brewery plants. *Zbirknik Naukowych Prac NAU*, Wid. NAUU, Kyiv XII, T. 2, s.82-87.
4. **Burski Z., Zając G., Pawłowski M. 2003.** Analiza sieci w scentralizowanym systemie logistycznym produkcji przedsiębiorstwa spożywczego. Wyd. Kom. Mot. i Energ. PAN, Oddz. w Lublinie, T. 5, Lublin, 30-35.
5. **Burski Z., Krasowska-Kołodziej H. 2011.** Badania eksploatacyjne linii rozlewniczej firmy KHS. *MOTROL*, T. 13, Wyd. PAN, Oddz. w Lublinie, Lublin, 51-61.
6. **Burski Z., Krasowska-Kołodziej H. 2011.** Analiza statystyczna istotności wpływu sezonu produkcyjnego na wydajność linii rozlewniczej. *MOTROL*, T. 13, Wyd. PAN, Oddz. w Lublinie, Lublin, 51-61.
7. **Domański C. 1990.** Testy statystyczne. PWE. Warszawa.
8. **Dubetowska T. 2000.** Opakowania w przemyśle piwowarskim i napojowym. Zarys kontroli jakości. *Przemysł farmaceutyczny i owocowo-warzywny*, nr 8, Warszawa, 10-13.
9. **Dyadychev V., Kolesnikov A. 2010.** Industrial enterprises study automatic control systems. *TEKA*, Kom. Mot. i Energ. Rol. PAN, Oddział w Lublinie, t. 10 A, Lublin-Lugańsk (UA), 126-132.
10. **Gonzales-Torre P.L., Adenso-Diaz B., Artriba H. 2004.** Environmental and reverse logistics. *Journal of Production Economisc.* 1, 88, 95-104.
11. **Kranseder Herman Maschinenfabrik, 1998 a.** Das Programm von Kones Und Kettner. D-93068. Neutrabling (RFN), 3-7.
12. **Krones A.G. 1998 b.** Kontroll und Sortiertechnik Neutrabling (RFN), 2-7.
13. **Krones A.G. 1998 c.** Reiningungstechnik. Neutrabling (RFN), 1-10.
14. **Kunze W. 1999.** Technologia piwa i słodu. *Piwo-chmiel*. Spółka z. o.o. Warszawa, 60-75.
15. **Fewis M.J., Young T.W. 2001.** Piwowarstwo. Wyd. PWN, Warszawa, 215-222.
16. **Radomski G., Turowska S. 2002.** Techniki minimalizacji zawartości tlenu w piwie. *Inżynieria Rolnicza*, 4, Warszawa, 297-302.
17. **Purzycki G. 2003.** Efektywne zarządzanie produkcją. Wskaźnik OEC. *Biuletyn Automatyki „Astor”*, 3(37), 7-9.
18. **Schaltegger S., Viere T., Žvezdov D. 2012.** Tapping environmental accounting potentials of beer brewing. *Journal of Cleaner Production*, 29-30, 1-10.
19. **Skrzypek E. 2000.** Przydatność zapewnienia jakości w zarządzaniu przedsiębiorstwem. *Eksploatacja i Niezawodność*, 7, Wyd. PAN, Oddział w Lublinie, Lublin, 44-53.
20. **Szkaradek J. 2002.** HACCP: System analizy zagrożeń i krytycznych punktów kontroli. *Zasady, wytyczne, przykłady*. Warszawa, 17-94.
21. **Waśko M. 2002.** Opracowanie i nadzorowanie dokumentów systemu HACCP. Zakłady „Perła”, Lublin, 1-9.
22. **Waśko M. 2002.** Audyty wewnętrzne. HACCP – Procedura. Zakłady „Perła”, Lubin, 1-6.
23. **Wesołowska-Janczarek M., Mikos H. 1995.** Zbiór zadań ze statystyki matematycznej. Wyd. AR w Lublinie, Lublin, 46-122.
24. **Wojdalski J. 2010.** Użytkowanie maszyn i aparatury w przetwórstwie rolno-spożywczym. Wybrane zagadnienia. Wyd. SGGW, Warszawa.
25. **Wojdalski J., Lubach S., Drożdż B. 1995.** Energetyczne aspekty produkcji napojów bezalkoholowych. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 2, 19-21.

RESEARCH ON THE OPERATIONAL EFFICIENCY  
OF THE BOTTLING LINE “KRONES” WITH  
MICROPROCESSOR-BASED CONTROL

**Summary.** The paper discusses the results of performance tests on the bottling line “Krones” with microprocessor-based control. It presents the technical characteristics, production size and evaluation of statistical significance of the staged production capacity. **Key words:** food, waste raw-materials, packaging line, operational efficiency, statistical significance of the process.



## Przestrzenno-czasowa weryfikacja energochłonności jazdy po autostradzie w zakresie istotności jej zachodzenia

Zbigniew Burski, Hanna Krasowska-Kotłodziej, Izabela Mijalska-Szewczak

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono sposób przestrzenno-czasowej weryfikacji rozkładu prędkości jazdy pojazdu po autostradzie. Uzyskane wyniki badań prawdopodobieństwa rozkładu energochłonności przestrzennej (strumienia) pojazdów porównano z krotnością pomiarów prędkości jazdy w odpowiednich odstępach czasu na danej trasie. Wykazano zgodność analizowanych relacji rozkładu w zakresie istotności statystycznej ich zachodzenia w obu dziedzinach. Dzięki temu uzyskano optymalny model wydatkowania energii kinetycznej dla analizowanej infrastruktury komunikacyjnej.

**Słowa kluczowe:** logistyka transportowa, energochłonność pojazdu, rozkład prędkości, dziedzina czasu i przestrzeni, autostrada.

### WPROWADZENIE

Globalizacja gospodarki światowej, w tym również gospodarki żywnościowej, jaka ma miejsce w obecnych czasach, jest ściśle powiązana z rozwojem potrzeby transportowej [5,11,12,13,14]. Szczególna rola przypada tu transportowi środków i produktów spożywczych, wymagających specyficznych form transportu i czasu jego trwania [1,2,10]. Prowadzona w tym zakresie działalność gospodarcza dotyczy nie tylko przewozu surowców pochodzenia rolniczego, produktów spożywczych, ale i wywozu odpadów poprodukcyjnych i poeksploatacyjnych [3,9].

W dotychczasowych, licznych opracowaniach naukowych transport w rolnictwie rozpatrywany był przeważnie w formie „lokalnej”, czy regionalnej [8]. Przemiany polityczno-gospodarcze kraju spowodowały powstanie coraz liczniejszych, prywatnych przedsiębiorstw transportowych (PPT), specjalizujących się również w transporcie żywności na trasach krajowych i międzynarodowych [14,15].

W dokumentach UE [9] podkreśla się wagę stosowania nowych, innowacyjnych technologii nie tylko w zakresie

budowy pojazdów [4], ale i sposobu zarządzania ruchem, w celu sprawnego, efektywnego, bezpiecznego ale i energooszczędnego transportu. Jest to podstawa do rozwoju konkurencyjnej, czyli zrównoważonej, globalnej mobilności [6]. Tym bardziej, że według przeprowadzonych badań [9], 54% kosztów transportowych przedsiębiorstwa stanowią stale wzrastające koszty paliwowe.

### CEL PRACY

Niniejsza praca ma na celu, poprzez wykorzystanie elektronicznego zapisu tachograficznego (jako dokumentu technicznej oceny przebiegu eksploatacji pojazdu) określić rzeczywisty wpływ infrastruktury na kształtowanie się energochłonności pojazdu w warunkach konkretnej drogowej infrastruktury komunikacyjnej. W niniejszym przypadku – autostrady, wykorzystując w matematyczno-statystycznej analizie odpowiednie procedury istotności zachodzenia istniejących zależności.

### METODYKA BADAŃ I OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH

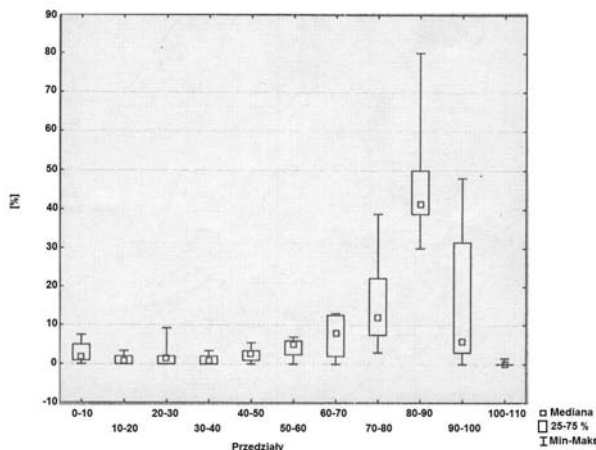
W przyjętej metodyce badań podjęto próbę weryfikacji energochłonności jazdy pojazdu w dziedzinie przestrzeni (analogowo) oraz czasu (cyfrowo). Przedmiotem analizy był rozkład prawdopodobieństwa amplitud prędkości jazdy. Charakterystykę materiału badawczego (analogowego) przedstawiono w tabeli 1. Liczebność analizowanych prób materiału badawczego- cyfrowego wynosiła około 9600 obserwacji. W związku z tym, w pracy podano jedynie ostateczne wyniki obliczeń zachodzących istotności statystycznych tego rozkładu.

Do opisu prędkości jazdy pojazdu wykorzystano miary pozycyjne (mediana, kwantyle). Inne dane statystyczne, charakteryzujące materiał badawczy w funkcji poszczególnych przedziałów prędkości, czy istniejących istotności ich zachodzenia pomiędzy sobą, przedstawiono tabelarycznie (tab. 2,3). Przyjęte miary pozycyjne, jak np. odchylenie standardowe opisujące rozrzut prędkości, wykorzystywane są w metodyce inżynierii ruchu drogowego do określania poziomu jego bezpieczeństwa [4,6].

### ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ I OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH

Uzyskane wyniki badań przedstawiono w sposób tabelaryczny. Charakterystykę przedstawionych wartości statystycznych poszczególnych odczytów analogowych (1-17) zawarto w tab. 2, a w przedziałach prędkości jazdy (1-11), w tab. 3.

Zastosowanie testu ANOVA rang Kruskala-Wallisa (tab. 4) wykazało istotne różnice pomiędzy grupami (podziałami prędkości), gdzie  $\chi^2 = 117,1$ ,  $p < 0,001$ . Natomiast nie można stwierdzić istotnych różnic dla % prawdopodobieństwa względem cechy  $y$  przedziału prędkości, rys. 1.



**Rys. 1.** Wykres ramkowy rozkładu mediany prędkości jazdy dla autostrady w dziedzinie przestrzeni (strumienia ruchu drogowego)

**Fig. 1.** Frame chart of speed median distribution on a motorway in the space domain (traffic flow)

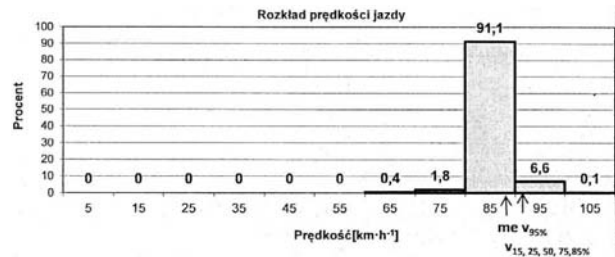
**Tabela 1.** Materiał badawczy (analogowy)

**Table 1.** Research material (analog)

Lp.	Przedziały prędkości	Procent prawdopodobieństwa amplitud																
		$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$y_8$	$y_9$	$y_{10}$	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	$y_{15}$	$y_{16}$	$y_{17}$
1	0-10	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	4,0	6,0	7,5	7,0	5,0	4,0	2,0	1,0	0,0	6,8	0,0
2	10-20	1,0	0,0	0,0	1,0	2,0	1,0	8,0	3,0	1,5	3,0	2,0	3,0	2,0	0,0	0,0	3,4	0,0
3	20-30	2,0	0,0	0,0	1,5	2,0	1,0	0,0	1,5	1,5	0,5	1,0	3,0	2,0	0,0	9,2	1,7	0,0
4	30-40	2,0	0,0	0,0	1,5	3,0	1,0	0,0	2,0	0,0	3,0	0,0	2,0	2,0	0,0	0,0	3,4	0,0
5	40-50	3,0	4,0	4,0	3,0	5,5	1,0	1,0	2,5	4,0	3,0	2,5	2,0	2,0	0,0	0,0	3,4	0,0
6	50-60	7,0	4,0	4,0	6,0	5,5	6,0	2,5	8,0	6,5	6,0	7,0	2,0	2,0	3,0	0,0	5,1	0,0
7	60-70	12,5	8,0	0,0	15,5	5,5	7,5	4,0	10,5	13,0	10,0	13,0	1,0	2,0	2,0	12,9	10,2	0,0
8	70-80	21,0	16,0	3,0	21,0	5,5	38,0	7,5	11,0	23,0	11,0	23,0	5,0	6,0	4,0	38,8	11,9	22,2
9	80-90	48,0	32,5	54,0	47,5	34,5	40,0	80,1	50,0	41,0	51,0	41,5	40,0	30,0	45,0	38,8	50,8	33,3
10	90-100	0,0	32,5	31,0	1,0	28,0	4,0	4,0	3,0	6,0	2,5	6,0	31,5	48,0	45,0	0,0	3,4	44,4
11	100-110	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

W tabeli 5 zawarto wynik rangowego testu porównań wielokrotnych (istotne różnice pogrubiono).

Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę rozkładu prędkości jazdy w dziedzinie czasowej, w ujęciu zapisu cyfrowego.



**Rys. 2.** Charakterystyka rozkładu prędkości jazdy na autostradzie w dziedzinie czasowej

**Fig. 2.** Characteristics of speed distribution on a motorway in the time domain

W tabeli 6 przedstawiono statystyki opisowe, charakteryzujące rozkład prędkości (w  $\text{km} \times \text{h}^{-1}$ ) na autostradzie w dziedzinie czasowej.

Ze względu na dużą liczbę obserwacji (tab. 6) zapisu cyfrowego, można przyjąć, że rozkład ten (rys. 2) stanowi ogólny model czasowego rozkładu prędkości dla autostrady. Uzyskane dane można porównać z wynikami podobnych badań z zakresu infrastruktury drogi ekspresowej, czy ruchu miejskiego [9]. Okazuje się, że najkorzystniejsze pod względem bezpieczeństwa są warunki panujące na autostradzie. Uzasadnia to wartość percentyla  $V_{85}$ , która wynosiła  $89 \text{ km} \times \text{h}^{-1}$  i nie przekroczyła dopuszczalnego limitu prędkości [6].

### WNIOSKI

Przeprowadzone badania nad przestrzenno-czasowej weryfikacji energochłonności pojazdu na autostradzie w postaci ogólnej wykazały, że:

- istnieje możliwość określenia optymalnego modelu wydatkowania energii kinetycznej prędkości jazdy wybranej infrastruktury drogowej,

**Tabela 2.** Parametry statystyczne rozkładu prawdopodobieństwa amplitudy**Table 2.** Statistical parameters of the amplitude probability distribution

Wyszczególnienie	Procent prawdopodobieństwa amplitud danych pomiarowych																
	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>5</sub>	y <sub>6</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>9</sub>	y <sub>10</sub>	y <sub>11</sub>	y <sub>12</sub>	y <sub>13</sub>	y <sub>14</sub>	y <sub>15</sub>	y <sub>16</sub>	y <sub>17</sub>
$\bar{x}$	8,9	9,0	9,0	8,7	8,5	9,1	9,4	8,7	9,5	8,8	9,1	8,5	8,9	9,1	9,1	9,1	9,1
Me	2,5	4,0	2,5	2,3	5,5	2,5	3,3	4,5	6,3	4,5	5,5	3,0	2,0	1,5	0,0	4,3	0,0
Do	1	0	0	1	5,5	1	0	6	1,5	3	1	2	2	0	0	3,4	0
$\sigma^2$	210,5	157,8	302,4	206,8	132,2	223,9	556,1	200,5	155,1	208,5	162,9	187	239,5	317,1	235,8	203,7	266,6
$\nu\sigma^2$	14,5	12,6	17,4	14,4	11,5	15,0	23,6	14,2	12,5	14,4	12,8	13,7	15,5	17,8	15,4	14,3	16,3
Vz	1,6	1,4	1,9	1,6	1,4	1,6	2,5	1,6	1,3	1,6	1,4	1,6	1,7	2,0	1,7	1,6	1,8
Skośność	0,54	0,72	0,52	0,54	0,26	0,54	0,40	0,19	0,64	0,40	0,83	0,48	0,45	0,51	0,59	0,40	0,56

**Tabela 3.** Parametry statystyczne rozkładu**Table 3.** Statistical parameters of the distribution

Lp.	Przedziały prędkości	Parametry statystyczne rozkładu					Skośność	
		$\bar{x}$	Me	Do	$\sigma^2$	$\nu\sigma^2$		Vz
1.	0-10	3,3	2,0	1,0	6,5	2,5	0,8	0,9
2.	10-20	1,4	1,0	0,0	1,5	1,2	0,9	1,1
3.	20-30	1,7	1,5	0,0	4,7	2,2	1,3	0,8
4.	30-40	1,2	1,3	0,0	1,6	1,3	1,0	1,0
5.	40-50	2,6	2,8	3,0	2,6	1,6	0,6	- 0,3
6.	50-60	4,5	5,3	6,0	5,4	2,3	0,5	- 0,6
7.	60-70	7,8	9,0	12,5	24,6	5,0	0,6	- 0,1
8.	70-80	15,4	11,5	21,0	123,3	11,1	0,7	- 0,5
9.	80-90	45,3	43,3	40,0	135,3	11,6	0,3	0,5
10.	90-100	15,4	5,0	0,0	329,3	18,1	1,2	0,8
11.	100-110	0,1	0,0	0,0	0,1	0,4	3,9	0,3

**Tabela 4.** Wyniki rangowego testu porównań wielokrotnych**Table 4.** Results of the range multiple comparison test

Przedziały prędkości	0-10 R:86,62	10-20 R:58,03	20-30 R:59,97	30-40 R:54,59	40-50 R:81,59	50-60 R:105,44	60-70 R:116,62	70-80 R:146,35	80-90 R:176,53	90-100 R:122,29	100-110 R:259,71
0-10		1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,07110	0,00007	1,00000	0,05984
10-20	1,00000		1,00000	1,00000	1,00000	0,58605	0,08803	0,00011	0,00000	0,02954	1,00000
20-30	1,00000	1,00000		1,00000	1,00000	0,78737	0,12534	0,00018	0,00000	0,04333	1,00000
30-40	1,00000	1,00000	1,00000		1,00000	0,33879	0,04589	0,00004	0,00000	0,01460	1,00000
40-50	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000		1,00000	1,00000	0,02672	0,00002	1,00000	0,15055
50-60	1,00000	0,59605	0,78737	0,04589	1,00000		1,00000	1,00000	0,00707	1,00000	0,00103
60-70	1,00000	0,08803	0,12534	0,00004	1,00000	1,00000		1,00000	0,06878	1,00000	0,00006
70-80	0,07110	0,00011	0,00018	1,00000	0,02672	1,00000	1,00000		0,06878	1,00000	0,00000
80-90	0,00007	1,00000	0,00000	1,00000	0,00002	0,00707	0,06878	1,00000		0,19169	0,00000
90-100	1,00000	0,02954	0,04333	0,01460	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,19169		0,00001
100-110	0,05984	1,00000	1,00000	1,00000	0,15055	0,00103	0,00006	0,00000	0,00000	0,00001	

**Tabela 5.** Statystyki opisowe charakteryzujące rozkład prędkości (w km × h<sup>-1</sup>) na autostradzie w dziedzinie czasowej**Table 5.** Descriptive statistics characterizing speed distribution (in km × h<sup>-1</sup>) on a motorway in the time domain

N	Średnia	Odch. std.	Min.	Maks.
9604	88,72	2,27	69	105
Odchylenie ćwiartkowe	Q25	Mediana	Q75	Współ. zmienn. [%]
0,00	89	89	89	0,00
Wsp. asymetrii	Percentyl 15	Percentyl 85	Percentyl 95	Typ przedz. zmienn.
0,00	89	89	91	[89,89]

- weryfikacja optymalnego modelu energochłonności pojazdu winna odbywać się w dziedzinie czasu i przestrzeni,
- podstawą opracowania winien stanowić zapis cyfrowy z uwagi na bardzo dużą możliwość dokładności odczytu i pojemność obserwacji.

Uzyskane wyniki obliczeń istotności statystycznych wykazały, że:

- brak jest istotnych różnic analizowanych parametrów statystycznych w obrębie danych pomiarowych, co wskazuje na przestrzeganie warunków bezpieczeństwa jazdy w wymiarze przestrzennym; współczynnik zmienności danych zawiera się pomiędzy 1,4,2,5,
- istnieją istotne różnice pomiędzy kolejnymi przedziałami prędkości jazdy (grupami), potwierdzano testem Kruskala-Wallisa oraz rangowanym testem porównań wielokrotnych; ujawniają się już pomiędzy przedziałem 40-50 km × h<sup>-1</sup> a 60-70 km × h<sup>-1</sup> ( $p = 0,045$ ).
- uzyskane parametry statystyczne w dziedzinie czasu jazdy po autostradzie są niewielkie w porównaniu z inną infrastrukturą komunikacyjną; dla autostrady odchylenie standardowe wynosi 2,72, przy zerowym współczynniku zmienności i zerowym współczynniku asymetrii (skośności) rozkładu; dla drogi ekspresowej i miejskiej infrastruktury odchylenie standardowe wynosi odpowiednio 15,20 i 21,89; w mieście też nastąpiło największe rozproszenie określonych miar pozycyjnych prędkości jazdy.

Problematyka energochłonności pojazdu w zakresie prędkości jazdy będzie podmiotem analizy i weryfikacji w dalszych badaniach tego zagadnienia.

#### LITERATURA

1. **Burski Z., Krasowska-Kołodziej H. 2012.** Modeling of the kinetic energy loss in a vehicle on the basis of cumulative frequency of speed profile parameters. *Econtechmod an International Quarterly Journal*, Vol. 01, No 2, Cracow-Lublin-Lviv, 3-7.
2. **Burski Z., Krasowski E. 2011.** Zastosowanie rozkładu prawdopodobieństwa amplitud prędkości jazdy w badaniach energochłonności pojazdu. *MOTROL*. Wyd. PAN O/Lublin, T. 13D, 14-21.
3. **Burski Z., Mijalska-Szewczak I. 2009.** Analiza parametrów trakcyjnych pojazdu w infrastrukturze autostrady metodą statystyczną WTK. *TEKA KMiER*. Wyd. PAN O/Lublin, T. 9, 11-19.
4. **Datka S., Suchorzewska W., Tracz M. 1999.** Inżynieria ruchu. Wyd. KiŁ, Warszawa 17, 17; 88; 110; 118.
5. **Drewes N., Jespersen H., Petersem T., Freight A. 2003.** Transport growth-a theoretical and methodological Framework, *European Journal of Operational Research*, 144, Elsevier, 295-305.
6. **Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M. 2009.** Inżynieria ruchu drogowego. *Teoria i praktyka*, WKT, Warszawa, 18; 79; 131.
7. **Lehmann E.L. 1968.** Testowanie hipotez statystycznych. PWN, Warszawa.
8. **Marczuk A. 1997.** Organizacja transportu mleka do zakładów mleczarskich przy wykorzystaniu teorii okien czasowych. *Inżynieria Rolnicza*, nr 4 (10), Warszawa, 279-287.
9. **Mijalska-Szewczak I. 2012.** Energochłonność transportu w rolnictwie w aspekcie proekologicznym. Autoreferat rozprawy doktorskiej. UP w Lublinie, WIP, Katedra Energetyki i Pojazdów, Lublin, 20-22.
10. **Neider J. 2008.** Transport międzynarodowy. PWE, 244, Warszawa, 61-62.
11. **Pantalienco L. 2012.** Investigation of parametric model of differentia equations systems stability. *Econtechmod an International Quarterly Journal*, Vol. 01, No 2, Cracow-Lublin-Lviv, 29-42.
12. **Stead D. 2001.** Transport Intercity in Europe – Indicators and Trends. *Transport Policy* 8, Elsevier, London, 29-46.
13. **Szczepaniak C. 1999.** Podstawy modelowania systemu. Człowiek – pojazd – otoczenie. Wyd. PWN, Warszawa, 17-18, 167-176.
14. **Szczepaniak C. 2006.** Transport w nowej epoce. Zagadnienia wybrane. Wyd. Pol. Łódzkiej. Łódź, 48-49.
15. **Zielińska E., Lejda K. 2010.** Analiza i modelowanie procesów logistycznych w zapleczu technicznym transportu samochodowego w aspekcie problemów logistycznych. Oficyna Wyd. Pol. Rzeszowskiej, Rzeszów.

#### THE SPACE-TIME VERIFICATION OF ENERGY INTENSITY OF DRIVING ON A HIGHWAY WITHIN THE SIGNIFICANCE OF ITS OCCURRENCE

**Summary.** The paper describes the space-time verification of the velocity distribution of a vehicle on a highway.

The obtained results of probability distribution of spatial energy intensity (of the stream) of vehicles was compared with the multiplied vehicle velocity time at appropriate intervals on the route.

The compliance was demonstrated of the analyzed distribution relationships within the statistical significance of their occurrence in both cases. The result is an optimal model of the kinetic energy expenditure for the analyzed infrastructure.

**Key words:** transport logistics, energy consumption of the vehicle, velocity, time and space domain, highway.

## Measurements of Roofs For Diagnostic Purposes

Krzysztof Deska<sup>1</sup>, Wiesław Pawłowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Geodesy, Faculty of Civil Engineering, Environmental and Geodetic Sciences, Koszalin University of Technology, Śniadeckich Str. 2, 75-453 Koszalin, Poland

<sup>2</sup>Department of Geodesy, Environmental Cartography and Descriptive Geometry, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering, Lodz University of Technology, Żeromskiego Str. 116, 90-924 Łódź, Poland

**Summary.** This paper depicts selected methods used in measuring roofs for diagnostic purposes, as well as conclusions from experimental research about their use to date.

**Key words:** measurements, suspended roof, diagnostic purposes.

### DIAGNOSTICS OF STRUCTURES AND MEASUREMENTS FOR THEIR PURPOSES

The diagnostics of a building performed by constructors is generally understood as a determination of its technical condition. It also covers a survey and prognosis of the way a construction will behave in differing conditions [1]. Often, besides basic surveys of strength, durability, and the technical condition of constructional elements of a building, what is necessary is a record of its geometrical structure (in various scopes). The diagnostics of a building includes the determination of its technical state, usually when it shows symptoms of unfavourable change in the geometry, or improper work [10], and also in pre-emergency situations in order to identify the cause of such a situation and undertake appropriate preventative action [8, 12, 13].

The measurements of a building for diagnostic and prevention purposes can be generally identified with all kinds of monitoring measurements, and measurements related to marking displacements and distortions as understood in technical standards. This excludes set out and inventory measurements used to update the geodetic and cartographic database. The common denominator of all these measurements is the goal for which they will be used – and which is gaining all data about the geometry of a building that is necessary to determine its technical condition [1].

### MEASUREMENTS OF SUSPENDED ROOFS

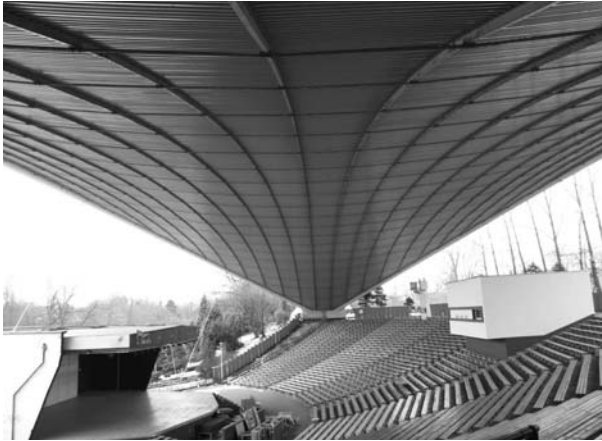
Standard measuring techniques (the polar coordinate method, spatial sections, laser scanning and digital photo-

grammetry) allow to determine changes in the placement of the constructional elements of a roof with the precision required in a comparative analysis, which includes the observed and predicted displacements of the nodes of a roof [1]. Constructors of suspended roofs determine the expected precision of the placement of a particular detail in an accepted local coordinate system within a range of 1 cm to 5 cm. Seemingly, this appears to be relatively simple to attain with the use of modern reflectorless total stations, laser scanners or the use of photogrammetric methods.

The aforementioned methods of measurement concern a periodic registration of the geometrical structure of a large-span roof, the interpretation of which, taking into account the design and structural conditions, as well as outside factors [6, 7], will allow an objective evaluation of the geometrical state and its changes in relation to occurring forces. This can constitute the basis for findings of a safely functioning roof, or a possible danger of a breakdown. The changes in geometrical features of a construction can be associated with the current state of forces occurring in the construction and their changes caused by various factors, which can be simultaneously recorded [1].

### MEASUREMENT METHODS USED AND CONCLUSIONS DRAWN FROM THE CONDUCTED RESEARCH

The coordinates of points in a building are established in a three-dimensional space based on the results of angular-linear (combined), and height measurements. This paper portrays selected, previously mentioned methods of measurement and conclusions from the research [1] conducted for the construction of the suspended roof of the open-air theatre in Koszalin [9] (Fig. 1).



**Fig. 1.** Suspended roof of the open-air theatre in Koszalin

#### SPATIAL INTERSECTION METHOD

When the spatial intersection method is used, measurements of vertical and horizontal angles, to previously signalled points on the construction are taken from a minimum of two stations. These points are either painted or targets and signs are attached, or temporarily marked with a laser beam.

The results of conducted empirical studies [1] clearly show that the spatial angular intersection method is ineffective when it comes to observing a greater number of cylindrical details of a construction from only one post. An observation of some dozen details would require choosing many measuring bases. Furthermore, it is obvious that a construction detail that cannot be determined clearly is not the proper target for the angular observation due to the fact that its image changes in the field of the telescope view. In this situation it is necessary to introduce reductions (each calculated as elements of the targets eccentricity), which, due to the significant effort required, is not justified in the case of diagnostic measurements.

In the case of signalling only selected controlled points of a construction, the angular intersection method can be applied in diagnostic measurements. However, the amount of time that such a measurement will take, the effort required and the amount of equipment required make this method less effective in comparison with the axial method. The effort required in this method and the amount of time the measurement takes also speaks against the spatial intersection method when it comes to tension structures. In the case of tension constructions (which are less susceptible to changes in outside factors such as temperature, insolation, and wind) this method's effectiveness rises due to a smaller significance of the limitations pertaining to time and conditions of observation, as well as a greater precision. Nonetheless, its application should only be seen when there is a need for recording the location of specific spots, and not the whole constructional grid of the roof.

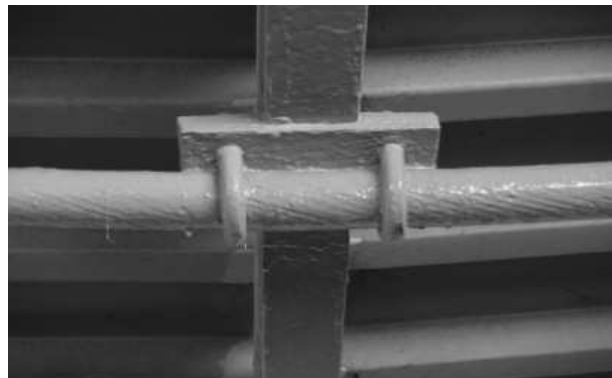
#### METHOD OF POLAR COORDINATES AND FREE STATIONS

The polar coordinates method can be seen as a very effective method, especially due to the possibilities which have been created by reflectorless rangefinders and infrared

rangefinders which measure the distance to points that are signalled with a reflective tape. It is also effective when used for execution related measurements, displacement measurements, as well as others in the field of engineering geodesy. Using a free stationing is currently associated only with a skillful use of the technical possibilities of modern equipment. The basic advantage is full freedom in the choice of posts that are adequate for the terrain and carrying out the assignment, as well as the lack of need for centre the instrument over a sign. It is a versatile technology that combines the intersection method with the polar coordinates method.

Based on the results of test measurements [1, 6] it can be stated that with the use of some reflectorless total stations it is possible to have a precision of 3 cm to 5 cm when determining the location of particular details in the construction of a roof.

Because of the rangefinder's and the construction detail's properties, control points can be assumed to be points on the surface of the detail (Fig. 2). There will be no need to make corrections to the result of the distance measurement in order to recalculate for the distance to the middle of the detail. The consequence of such an action will be a registration of a spot that is no more than 20 mm away from the defined point on the surface of the constructional detail. Defining the occurring eccentrics or geometrical interpretation of a beam falling onto the surface of the detail can be deemed pointless. Not applying the appropriate reductions to the results of the distance and direction measurement due to the properties of the cylindrical constructional detail, as well as the properties of the equipment and the method, can result in the registration of a point that is located no farther than 27 mm from the centre of the cylindrical detail.



**Fig. 2.** Cylindrical detail – construction node

The above conclusions find their confirmation in the results of the research conducted on the test building in the scope of measurements to cylindrical details in the constructional nodes of the roof [1]. In the case of other details, it is necessary to verify these measurements, for example with the use of a constructed instrument [1, 2, 13] and with an adequate modification of the testing procedure. Such an approach can be applied only with interventional monitoring and only when using a set of instruments which has been verified based on experiments which were previously conducted in an appropriate setting: an instrument – a signal, meaning a reflectorless total station – a detail. In this

situation, mainly the congruence of the line of sight and the axis (centre) of the laser beam should be evaluated, as well as the size of the beam through a determination of the influence of these elements on the result the measurement of the distance to the detail.

In observation of plane constructional details, test results [1] show that the possibilities of the polar coordinates method with the use of reflectorless (laser) rangefinders are quite vast, especially when it comes to the precision of distance measurement (even below 1 cm).

It should be noted that the differences in coordinates and mentioned errors in coordinates also reflect the influence of errors related to the setup of the signals and instruments over the reference points and the sign marking the station of the instrument (centring errors). The target lengths to observed spots of the roof, as well as to reference points, can vary from a few meters to 100 m.

Keeping this in mind in our own research, reference points (as signals and not posts) were located on fixed elements (buildings) in the immediate vicinity of the structure (unrelated to the construction of the roof). Points marked with signs, fulfilling the function of measurement stations are treated as accessory in the construction of a grid that allows the measurement and calculation of the coordinates of the reference points. The instrument stations can be treated as free stations during periodic observations and centre of total stations above them can be done while controlling for possible gross error occurrence. Similarly, calculating the height of the target axis based on a known height of the post and the height of the instrument must be treated only as an element of control.

Limitations resulting from the properties of the equipment (including the influence of differences between the target axis and the axis of the rangefinder), as well as the properties of the target (the detail) and their effect on the veracity of the measurement when using different types of reflectorless total stations, will be the subject of a detailed research. There is a lack of data on this type of research, including the means and procedures of judgment of a total stations use for a particular measurement assignment, determined also by the properties of a target (detail).

When using constructed targets [1, 3] clearly signaling the points which are observed and which allow the measurement of a distance with an infrared rangefinder to a reflective tape (Fig. 3), it is possible to achieve a precision below 1cm when defining the location of a particular signal.



**Fig. 3.** Constructed target attached to the construction of suspended roof as controlled point (left side) and on the abutment as control (right side)

In some situations the ideal solution is using a total station equipped with a laser rangefinder (if the signal is observed at an inconvenient angle) and a zenith eyepiece. An ideal solution in some situations is the use of a total station equipped with a laser rangefinder (if the signal is observed at an inconvenient angle) and a zenith eyepiece. The use of motorized total stations with an automatic target recognition system, due to a limited precision of “finding” the center of a target with a reflective tape, can only be used to speed up the measurement, for example by using it to generally target the signal.

Research results [1] justify stating that with a previously verified instrument, one can conduct measurements with the axial method twice only in one position of the telescope (due to its equipment with a zenithal eyepiece) treating the measurements as if made from two independent free posts (change of a post for example through a change in the height of the stand, which greatly shortens observation time while simultaneously giving a necessary control element in the form of a second appointment of coordinates of the post, followed by observed points).

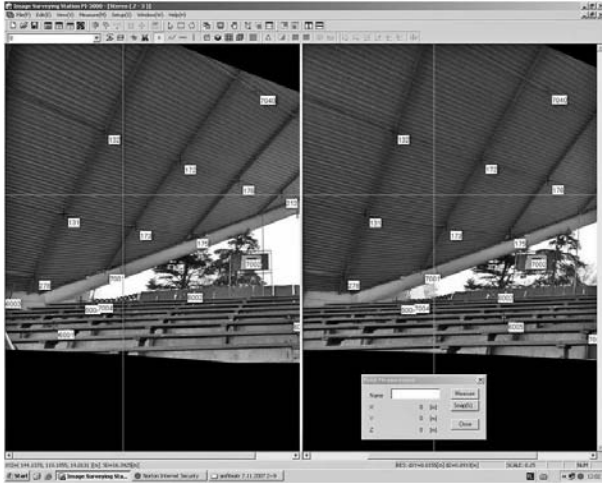
The polar coordinates method with the use of 5” – 7” total stations and free stations allows to attain a precision of up to 1 cm for position determination for the control (signal) points of a construction, when maintaining appropriate observational conditions (stable temperature, cloudiness, insolation and windiness). The results of the conducted research [1, 6] confirm that steel constructions of suspended roofs, especially open ones, are dynamic buildings, clearly susceptible to temperature changes and air movement. Due to the above, it is not practically possible to obtain a precision higher than to the nearest centimeter.

The polar coordinates method can be considered the most effective in the case of registering from over a dozen to a few tens of particular points in each measurement period. It is not, however, effective in inventory measurements, mainly due to its constructional properties and dynamics.

#### PHOTOGRAMMETRIC METHOD

Contemporary tendencies of close range photogrammetry in the scope of engineering and industrial applications focus on using digital photogrammetric stations and digital images, including non metrical ones, obtained with amateur digital cameras. Photogrammetry methods constitute an important supplement of other methods and in many cases prove to be rather irreplaceable. Often, the possibilities of their use in monitoring geometric features of a building are pointed out, along with a precise engineering inventory in the use of pictures captured with cameras with a matrix above 8 million pixels.

The experiment conducted during the research [1, 5] (Fig. 4) justifies the conclusion that the photogrammetric method using amateur medium resolution digital cameras in registering the geometrical structure of roofs for diagnostic purposes is useful especially when the registration regards the state zero and comprises all of the roof construction.



**Fig. 4.** Measurements of coordinates using Topcon Image Surveying Station PI-3000

This conclusion refers to tension structures for which the expected accuracy of determining the location of the node of the construction grid is between 3 cm and 5 cm.

Using the photogrammetric method requires, generally, determining the coordinates of reference points in an external frame of reference, and what goes with that, determining, before or during the registration, more points of known coordinates, where targets constructed by the author can be attached [1, 3].

#### LASER SCANNING AND TERRESTRIAL LASER SCANNERS

Laser scanning is, in geodesy, one of the biggest technological achievements of recent years, which is perceived not only as a new approach to spatial inventory, but also more and more often to monitoring the object's shape. The scan itself – the effect of scanner's work – is only intermediate, that is an effect of a measurement used for creating a spatial model and/or allowing a measurement in a cloud of spots. The effect of scanning is a point model covering the area of an examined object.

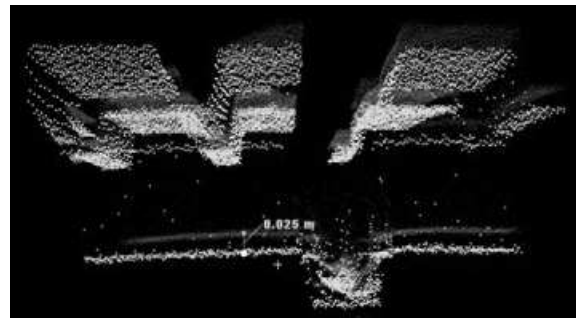
It has to be clearly emphasized that using the laser scanning technique allows to model and measure of qualities of geometrical elements of a construction by assumption without the need to signalize their controlled points, which is difficult or even impossible in certain situations.

Conclusions from the experiment concerning the use of laser scanning technique with regards to the examined roof [1, 4, 6] apply first and foremost to the scanning resolution. For the precise modelling the connections between the elements of the examined construction, in case of steel arches and their connections with ropes, a resolution in the range of 5 mm is sufficient. However, appropriate modeling nodes of the grid – details, which constitute connections of ropes and I-sections (the largest quantity), requires scanning with the resolution of at least 2 mm (Fig. 5) made from a number of stations, and then joint compilation after merging a few clouds of points. The blind spots of the field are therefore limited, and spots on a greater area of given element or detail are registered.

Due to the dynamics of change of the geometry of the construction of the roof (especially in its middle part), which is the result of changes in temperature, a registration of the geometrical structure for diagnostic purposes should be conducted at a stable temperature, zero insolation, and a lack of strong wind. Due to these factors, measurement time should be the shortest possible, and the scanner that is used should be the fastest possible. For a full description of the geometry of the construction of a roof, a few scanners can be used simultaneously, and scanning can be done from four stations (the ideal solution would be a simultaneous use of four scanners) placed symmetrically under the construction of the roof. Each fragment of the construction should then be scanned from at least two stations, with a resolution of at least 2 mm x 2 mm (if possible, at the same time by two scanners, scanning the same fragment of the construction of the roof from two different stations).



**Fig. 5.** Modelled node – connection of rope and I-section (left side), detailed part of node in cloud of points with resolution of 2 mm (right side)



**Fig. 6.** Two clouds of points registered after a couple of hours (movement about 0,025 m of elements of the roof in the middle part of it caused by a temperature change)

An important limitation in the use of a laser scanner in the case of open roofs is its minimal temperature working range, which begins at 0 °C. In practice, this excludes the possibility of a registration during winter, when the roof is burdened with snow and ice. Another limitation is a lower scanning speed when scanning in a so called upper window, meaning in a range above 32.5 ° from the instrument's horizon and a limitation on the choice of the scope of the measurement in the form of fragments of a rhomboid plane stretched across the sphere. In an instance where posts are located below the scanned object, a lack of freedom in the choice of the scope of scanning, as well as a limited scanning speed both play an important role.

Taking the above statements into consideration it can be assumed that the use of a terrestrial laser scanner for a registration of the geometrical structure of selected fragments



of the construction of a suspended roof is greatly limited and can, in practice, only refer to a few points, elements or details. In the case of typical roof structures, and roofs with a smaller dynamic and less susceptibility to the movements caused by wind and temperature changes (Fig. 6), laser scanning is undoubtedly the most effective method in spite of the fact that it registers a great amount of excessive observations which include points outside the support construction on the coat of a particular roof [1].

## CONCLUSIONS

There is still a need for an evaluation of the usefulness and effectiveness of applying various measurement methods [11], at the same time checking the possibilities of application of various geodesic techniques when it comes to a registration of the geometrical structure of various building constructions, including roofs. The result would be a designation of appropriate methods and tools of measurement, as well as determining the conditions of their use in order to obtain information that is diagnostically necessary. This aims at the development of a methodology in registering a geometrical structure of exemplary buildings for diagnostic needs [1].

## REFERENCES

1. **Deska K. 2010:** Metodyka rejestracji struktury geometrycznej przekryć budowlanych na potrzeby diagnostyczne. Rozprawa doktorska. WGiGP UWM w Olsztynie, Olsztyn.
2. **Deska K., Pawłowski W. 2006:** Koncepcja metodyki testowania tachimetrów z laserowym dalmierzem impulsowym w kontekście pomiarów struktury geometrycznej przekryć wiszących, ZN Politechniki Łódzkiej, Budownictwo nr 54, Wyd. PŁ, Łódź, 175-186.
3. **Deska K., Pawłowski W. 2007:** Badania doświadczalne z zakresu sposobu sygnalizacji punktów przekryć wiszących na potrzeby pomiarów, ZN Politechniki Łódzkiej, Budownictwo nr 56, Wyd. PŁ, Łódź, 71-90.
4. **Deska K., Pawłowski W. 2008:** Badania doświadczalne w zakresie wykorzystania skanera laserowego w pomiarach inwentaryzacyjnych przekrycia budowlanego, ZN Politechniki Łódzkiej, Budownictwo nr 58, Wyd. PŁ, Łódź, 51-58.
5. **Deska K., Pawłowski W. 2008:** Rejestracja struktury geometrycznej przekrycia budowlanego metodą fotogrametryczną. ZN Politechniki Łódzkiej, Budownictwo nr 58, Wyd. PŁ, Łódź, 59-64.
6. **Deska K., Pawłowski W. 2009:** Registration of geometrical structure of a large-span suspended roof for diagnostic purposes. Reports on Geodesy. Proceedings of the 9th Scientific-Technical Conference „Current problems of engineering surveying”, Warsaw-Białobrzegi, Poland, 26-27 March 2009, Politechnika Warszawska, Warszawa, 309-316.
7. **Deska K., Pawłowski W. 2010:** Zakres i uwarunkowania rejestracji struktury geometrycznej przekrycia wiszącego na potrzeby diagnostyczne, ZN Politechniki Łódzkiej, Budownictwo nr 61, Wyd. PŁ, Łódź, 63-70.
8. **Filipkowski J., Jacoszek J., Deska K. 2006:** Sposób odśnieżania zadaszenia Amfiteatru w Koszalinie. cz. II, opracowanie zamawiane na zlecenie MOK w Koszalinie, Koszalin.
9. **Filipkowski J. 1983:** Wybrane realizacje z przekryć wiszących i pneumatycznych oraz związane z nimi problemy konstrukcyjne. II Konferencja Naukowa – Konstrukcje Ciężnowe i Wiotkie Powłoki – Rydzynia, 7-17.
10. **Lazzarini T. 1952:** Geodezyjne pomiary odkształceń, PPWK, Warszawa.
11. **Mroczkowski K., Wasilewski A. 2008:** Metody pomiarów geodezyjnych oraz ich możliwości zastosowania w budownictwie, „Materiały Konferencji pt. „Wykorzystanie metod geodezyjnych w ocenie stanu geometrycznego budowli” Ustroń-Jaszowiec, 11-12 października 2007, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
12. **Pawłowski W. 2001:** Metodyka identyfikacji struktury przestrzennej elementów obiektu budowlanego w aspekcie potrzeb diagnostycznych, ZN Politechniki Łódzkiej, nr 871, Wyd. PŁ, Łódź.
13. **Pawłowski W., Deska K. 2006:** Badanie tachimetrów z laserowym dalmierzem impulsowym w kontekście pomiarów struktury geometrycznej przekryć wiszących dla potrzeb diagnostycznych, XXI Konferencja Katedr i Zakładów Geodezyjnych na Wydziałach Niegeodezyjnych, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 143-151.

## POMIARY PRZEKRYĆ NA POTRZEBY DIAGNOSTYCZNE

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia wybrane metody stosowane w pomiarach przekryć na potrzeby diagnostyczne oraz wnioski z dotychczasowych badań doświadczalnych odnośnie ich wykorzystania.

**Słowa kluczowe:** pomiary, przekrycie wiszące, diagnostyka.



## Wpływ wilgotności na proces rozdrabniania nasion wyki ozimej

Ślawomir Gawłowski, Janusz Laskowski, Stanisław Skonecki, Adam Zdybel

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy,  
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin, e-mail: slawomir.gawlowski@up.lublin.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono analizę wpływu wilgotności na proces rozdrabniania nasion wyki ozimej. Badania wykonano na laboratoryjnym rozdrabniaczu bijakowym, stosując zmienną prędkość bijaków w zakresie 5000-7000 obr·min<sup>-1</sup>. Poddana badaniom wyka doprowadzona została do sześciu poziomów wilgotności od 8 do 18%. Ocena wariancji wykazała istotny wpływ wilgotności na wskaźniki opisujące proces rozdrabniania poszczególnych poziomów. Zależności pomiędzy badanymi cechami a wilgotnością nasion opisane zostały równaniami regresji.

**Słowa kluczowe:** wyka, rozdrabnianie, wilgotność, prędkość bijakowa.

### WYKAZ OZNACZEŃ

$E_{roz}$  – energia na rozdrabnianie próbki nasion [J],  
 $E_r$  – jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie [ $J \cdot g^{-1}$ ],  
 $m_r$  – masa rozdrabnianej próbki [g],  
 $E_r$  – wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie [ $J \cdot m^{-2}$ ],  
 $S_n$  – nowowytworzona powierzchnia powstała podczas rozdrabniania [ $m^2$ ],  
 $d_m$  – średni wymiar cząstki [mm],  
 $h_i$  – średnia wartość przedziału klasowego [mm],  
 $P_i$  – ilość cząstek zatrzymanych na danym sicie [%],  
 $n$  – ilość zastosowanych sit,  
 $\rho$  – gęstość materiału [ $kg \cdot m^{-3}$ ],  
 $w_z$  – wilgotność nasion [%].

### WPROWADZENIE

Nasiona wyki, jak donoszą badania Archeologiczne w Europie, pojawiły się około 7000 lat temu. W XVIII wieku „czasach głodu” była jednym ze składników pokarmowych najbiedniejszych klas ekonomicznych. Podczas II wojny światowej w południowej Francji można było ją nabyć je-

dynie na „czarnym rynku”. Obecnie wyka uprawiana jest przede wszystkim na nasiona lub zielonkę w siewie oddzielnym lub w mieszance z innymi roślinami przeznaczonymi na paszę (żyto lub pszenica), poprawia także stanowisko dla roślin zbożowych w cyklu zmianowania. Nasiona wyki są bardzo cenną paszą i chętnie zjadana przez zwierzęta monogastryczne i poligastryczne ze względu na delikatność i wysoką zawartość białka a w nim tioaminokwasów, a szczególnie metioniny [Ceglarek i in. 2007, Potkański i in. 1999].

Spożycie roślin strączkowych w krajach rozwijających się stale rośnie, w związku z tym uzasadnione wydaje się bardziej szczegółowe zidentyfikowanie ich składu i właściwości funkcjonalnych. Mogą mieć one bowiem korzystne oddziaływanie na organizm człowieka. Ponadto wzrasta zainteresowanie naturalną, mało przetworzoną żywnością. Dlatego, też produkty otrzymane z roślin strączkowych mogą być oferowane jako naturalna żywność, atrakcyjna pod względem sensorycznym, jak i funkcjonalnym [Gumienna i in. 2007].

Jednym z podstawowych procesów technologicznych przemysłu spożywczego jest rozdrabnianie (dezintegracja), które polega na zmniejszeniu liniowych rozmiarów materiałów stałych na części z zastosowaniem sił mechanicznych lub oddziaływań niemechanicznych [Łysiak 1998].

Jeżeli rozdrabnianiu poddawany jest materiał o dużych wymiarach cząstek, rozdrabnianie należy przeprowadzać w kilku etapach, aż do uzyskania wymaganego wymiaru cząstek. Właściwe rozdrobnienie surowców wpływa korzystnie na przebieg procesów granulowania, zwiększając jego wydajność i zmniejszając energochłonność [Golec, Kwiatkowski 1982]. Rozmiary cząstek jakie powstają podczas rozdrabniania wpływają na przebieg dalszych procesów, wydajność, energochłonność, jakość uzyskiwanych produktów oraz efektywność samej produkcji [Chachułowa, Skomłala 1997]. Trzeba mieć jednak na uwadze, to że w procesie rozdrabniania zużywa się znaczne ilości energii na dezintegracje cząstek,

przy czym nie jest to zależność liniowa i najczęściej opisuje się ją równaniem wykładniczym [Laskowski i in. 2005]. Jakość otrzymanego produktu zależna jest w głównej mierze od podatności materiału na rozdrobnienie, będącej najczęściej powiązaniem stopnia rozdrobnienia z energochłonnością procesu [Bieliński 1990]. Energochłonność tego procesu zależy od parametrów konstrukcyjnych rozdrabniacza, sposobu prowadzenia procesu oraz cech fizycznych nasion, a szczególnie od zawartości wody. Z dostępnych wyników badań wynika, że wraz ze wzrostem wilgotności zwiększają się nakłady jednostkowe energii rozdrabniania, szczególnie przy wykorzystaniu rozdrabniaczy bijakowych [Dziki 2007].

Z tego powodu problematykę rozdrobnienia wyki ozimej o zróżnicowanej twardości przedstawiono w niniejszej pracy.

## METODYKA BADAŃ

Badania procesu rozdrabniania zostały zrealizowane na laboratoryjnym rozdrabniaczu bijakowym POLYMIX-Micro-Hammermill MFC. Urządzenie współpracowało bezpośrednio z komputerowym układem pomiarowym mocy czynnej prądu jednofazowego. Obszerna charakterystyka stanowiska pomiarowego przedstawiona została w opracowaniu Laskowskiego i Łysiaka [1997].

Materiał badawczy stanowiła wyka ozima z firmy „Dan-ko” hodowla Roślin Sp.z o.o.. Nasiona doprowadzono zostały do wilgotności 8; 10; 12; 14; 16; i 18 % ( $\pm 0,2\%$ ) zgodnie z Polską Normą (PN-91/A-74010) i następnie zostały rozdrobnione przy zastosowaniu sita o wymiarze oczek 2 mm i pięciu poziomach prędkości obrotowej wirnika tj. 5000; 5500; 6000, 6500 i 7000 obr·min<sup>-1</sup>. Pomiaru wykonano w pięciu powtórzeniach dla każdej prędkości i wilgotności nasion.

Dla rozdrobnionych próbek nasion określono skład granulometryczny młewa zgodnie z Polską Normą (PN-89/R-64798) co pozwoliło określić średni wymiar cząstki według wzoru [Brenland i in. 1997]:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_i P_i}{100} \quad (1)$$

Jednostkowe nakłady energii rozdrabniania  $E_r$  wyznaczono ze wzoru:

$$E_r = \frac{E_{roz}}{m_r} \quad (2)$$

a wskaźnik podatności na rozdrabnianie  $E_f$  został wyznaczony jako iloraz energii pobranej podczas rozdrabniania i nowej powierzchni powstałej na skutek rozdrobnienia [Posner 1991]:

$$E_f = \frac{E_{roz}}{S_n} \quad (3)$$

Nowo wytworzona powierzchnia  $S_n$  która powstała podczas rozdrabniania wyznaczona została z wzoru:

$$S_n = \frac{6m_r}{\rho d_m} \quad (4)$$

gdzie:  $\rho = 1300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  jest gęstością materiału.

## WYNIKI BADAŃ

Uzyskane wyniki eksperymentalne poddane zostały analizie statystycznej wykorzystując do obliczeń program STATISTICA. Wykorzystano wieloczynnikową analizę wariancji ANOVA z interakcjami dla wszystkich cech. Otrzymane wyniki wykazały że główny czynnik tj. wilgotność wpływa istotnie na badane parametry procesu rozdrabniania nasion wyki ozimej. Dla analizowanych parametrów dokonano szczegółowych porównań w oparciu o test istotności Tukey'a na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Dokonano także oszacowań wartości składu granulometrycznego z uwzględnieniem średniej wielkości cząstki oraz określono zależności w postaci równań regresji. W przyjętym zakresie badań określono wartości średnie, błędy i odchylenia standardowe. Dla badanych prędkości bijaka (5000, 5500, 6000, 6500 i 7000 obr·min<sup>-1</sup>) obliczony został także wskaźnik podatności na rozdrabnianie. W tabelach 1 ÷ 3 przedstawiono wyniki analizy wariancji natomiast w tabeli 4 równania regresji.

Wartości jednostkowe energii rozdrabniania zawierały się w przedziale od 21,20 J·g<sup>-1</sup> przy najmniejszej prędkości obrotowej bijaków do 141,78 J·g<sup>-1</sup> dla największej prędkości. Przeprowadzona analiza wyników pozwoliła stwierdzić że wraz ze wzrostem wilgotności oraz wzrostem prędkości bijaków, zwiększa się jednostkowe zużycie energii na rozdrabnianie.

Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie dla poszczególnych poziomów wilgotności nasion, przy zastosowaniu różnych prędkości rozdrabniania zostały przedstawione na rys. 1. Natomiast zależności jakie uzyskano z analizy wariancji zestawiono w tabeli 1.

Przeprowadzone jednowymiarowe testy istotności wariancji dla wskaźnika podatności nasion na rozdrabnianie pozwoliły stwierdzić że występują istotne różnice badanego parametru przy różnej wilgotności nasiona i prędkości bijaków (tabela 2).

Największe wartości wskaźnika podatności otrzymano przy 18% wilgotności nasion, a jedynie dla prędkości 7000 i 6500 obr·min<sup>-1</sup>, gdzie wartość wahała się w granicach od 6,99 kJ·m<sup>-2</sup> przy najmniejszej prędkości obrotowej do 8,08 kJ·m<sup>-2</sup> dla najwyższej prędkości badanej. Na rys. 2 przedstawione zostały zależności pomiędzy wskaźnikiem podatności a wilgotnością dla pięciu wartości prędkości obrotowych. Wyniki analizy regresji przedstawione zostały w tabeli 4.

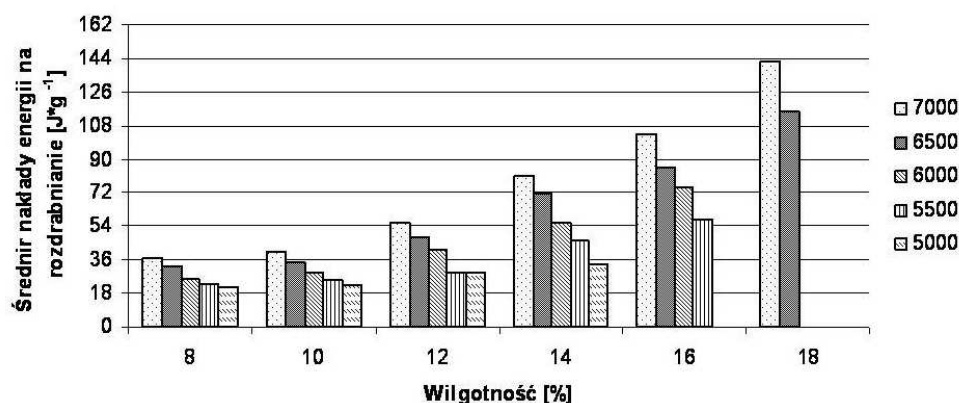
Analiza statystyczna wykazała istotne różnice uzyskanych wartości średniego wymiaru cząstki  $d_m$  tabela 3. Przeprowadzone badania wykazały, że wartość średniego wymiaru cząstek rośnie wraz ze wzrostem wilgotności ziarna od 8 do 12 %. Natomiast dalszy wzrost wilgotności od 14 do 18 % powodował spadek średniego wymiaru cząstki niezależnie od stosowanej prędkości bijakowej. Wartości średniego wymiaru cząstek zostały przedstawione na rys. 3.

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy uzyskanych wyników można przedstawić następujące wnioski:

**Tabela 1.** Analiza wariancji dla jednostkowych nakładów energii na rozdrabnianie  $E_r$   
**Table 1.** Variance analysis for specific grinding energy  $E_r$

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków	SS	df	MS	F · 10 <sup>2</sup>	p
	[obr·min <sup>-1</sup> ]					
Wyraz wolny – Intercept	7000	0,69	1	0,69	65,24	0
Wilgotność – Moisture content		0,16	5	0,03	3,14	0
Błąd standardowy		0,002	24	0,000		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	6500	0,51	1	0,51	6478,1	0
Wilgotność – Moisture content		0,1	5	0,2	261,8	0
Błąd standardowy		0,001	24	0,001		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	6000	0,2	1	0,2	1954,8	0
Wilgotność – Moisture content		0,02	4	0,007	70	0
Błąd standardowy		0,002	20	0,01		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	5500	0,13	1	0,13	5611,2	0
Wilgotność – Moisture content		0,01	4	0,004	185,2	0
Błąd standardowy		0,000	20	0,000		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	5000	0,05	1	0,05	3436,9	0
Wilgotność – Moisture content		0,002	3	0,001	45,4	0
Błąd standardowy		0,000	16	0,000		
Standard error						



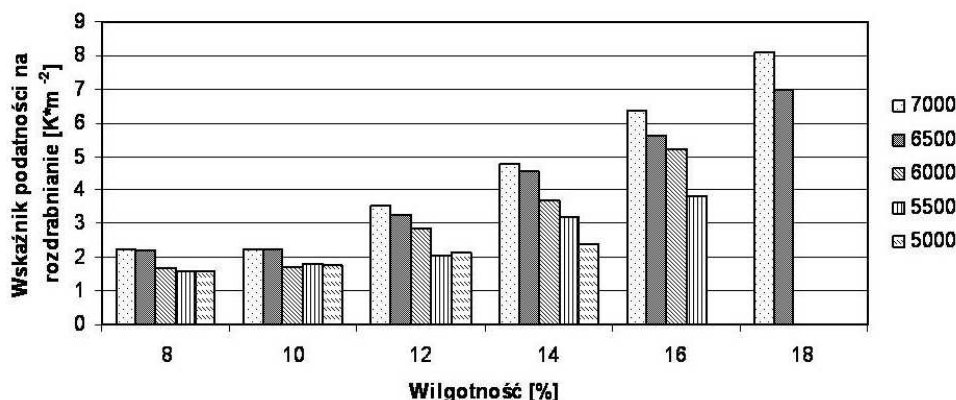
**Rys. 1.** Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie  $E_r$  dla poszczególnych wilgotności nasiona.

**Fig. 1.** Specific grinding energy  $E_r$  for each moisture content

- Nasiona wyki są surowcem, który można rozdrabniać w zakresie wilgotności 8-18% stosując sito o wymiarze oczek 2 mm.
- Wraz ze wzrostem wilgotności rozdrobnionych nasion wyki ozimej stwierdzono spadek średniego wymiaru cząstki śruty, przy wilgotności nasion od 14 do 18%.
- Zwiększanie prędkości obrotowej bijaków powodowało uzyskiwanie śruty o drobniejszej granulacji.
- Wraz ze wzrostem wilgotności wyki ozimej od 8 do 18% jednostkowa energia rozdrabniania zwiększyła się o około 200%.
- Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie zwiększał się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej bijaków. Zależności takie stwierdzono przy każdym z rozpatrywanych poziomów zawartości wody w nasionach wyki ozimej
- Przeprowadzone badania wykazały, że wilgotność nasion wyki ozimej w znacznie większym stopniu wpływa na proces udarowego rozdrabniania niż zmiana prędkości obrotowej bijaków.

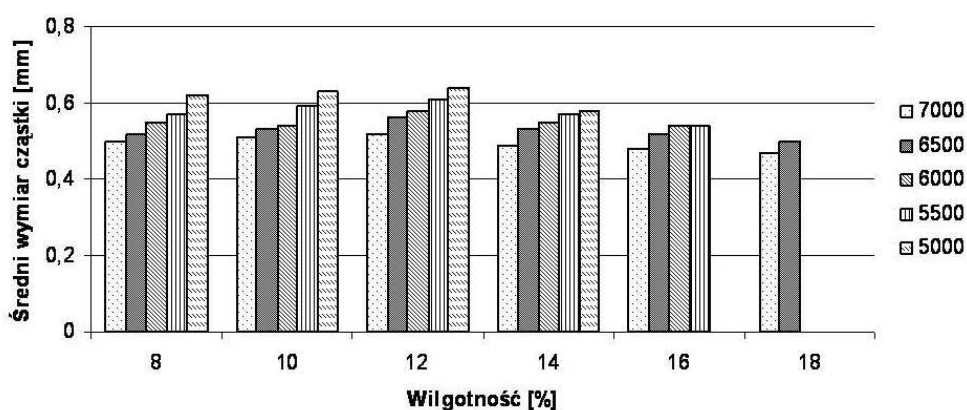
**Tabela 2.** Analiza wariancji dla wskaźnika podatności nasion na rozdrabnianie  $E_f$ **Table 2.** Ariance analysis for energy utilisation index  $E_f$ 

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków [obr·min <sup>-1</sup> ]	SS · 10 <sup>2</sup>	df	MS · 10 <sup>2</sup>	F · 10 <sup>2</sup>	p
	Wyraz wolny – Intercept	7000	6,24	1	6,24	20,65
Wilgotność – Moisture kontent	1,37		5	0,27	0,91	0
Błąd standardowy	0,07		24	0,003		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	6500	5,2	1	5,231	25,008	0
Wilgotność – Moisture kontent		0,9	5	0,189	0,904	0
Błąd standardowy		5	24	0,002		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	6000	2,313	1	2,313	9,02	0
Wilgotność – Moisture kontent		0,347	4	0,086	0,339	0
Błąd standardowy		0,051	20	0,002		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	5500	1,598	1	1,598	16,427	0
Wilgotność – Moisture kontent		0,177	4	0,044	0,455	0
Błąd standardowy		0,019	20	0,001		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	5000	0,74	1	0,74	13,21	0
Wilgotność – Moisture kontent		0,02	3	0,008	0,15	0,000
Błąd standardowy		0,009	16	0,001		
Standard error						

**Rys. 2.** Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie  $E_f$  dla poszczególnych wilgotności nasiona**Fig. 2.** Energy utilisation index  $E_f$  for each moisture content**Tabela 3.** Analiza wariancji dla średniego wymiaru cząstki  $d_m$ **Table 3.** Ariance analysis for mean particle size  $d_m$ 

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków [obr·min <sup>-1</sup> ]	SS · 10 <sup>-4</sup>	df	MS · 10 <sup>-4</sup>	F · 10 <sup>2</sup>	p · 10 <sup>2</sup>
	Wyraz wolny - Intercept	7000	0,08	1	0,08	300
Wilgotność - Moisture kontent	0		5	0	0,04	0,882
Błąd standardowy	0		24	0		
Standard error						
Wyraz wolny - Intercept	6500	0,09	1	0,09	343,47	0
Wilgotność - Moisture kontent		0	5	0	0,03	1,12
Błąd standardowy		0	24	0		
Standard error						
Wyraz wolny - Intercept	6000	0,08	1	0,08	309,13	0
Wilgotność - Moisture kontent		0	4	0	0,02	6,71
Błąd standardowy		0	20	0		
Standard error						

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków	SS · 10 <sup>-4</sup>	df	MS · 10 <sup>-4</sup>	F · 10 <sup>2</sup>	p · 10 <sup>2</sup>
	[obr·min <sup>-1</sup> ]					
Wyraz wolny - Intercept	5500	0,08	1	0,08	329,47	0
Wilgotność - Moisture content		0	4	0	0,07	0,06
Błąd standardowy		0	20	0		
Standard error						
Wyraz wolny - Intercept	5000	0,07	1	0,07	290,4	0
Wilgotność - Moisture content		0	3	0	0,01	18,17
Błąd standardowy		0	16	0		
Standard error						



Rys. 3. Średni wymiar cząstki  $d_m$  dla poszczególnych wilgotności ziarna

Fig. 3. Mean particle size  $d_m$  for each moisture content

Tabela 4. Zestawienie równań regresji i wartości współczynnika determinacji określających zależności pomiędzy parametrami procesu rozdrabniania wyki a wilgotnością

Table 4. Equations and determination coefficients expressing the relationships between some grinding features of vetch and moisture content

Badana cecha	Prędkość bijaków	Równanie – Equation	R <sup>2</sup>
Determined characteristic	[obr·min <sup>-1</sup> ]		
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )	7000	$E_r = 0,979 \text{ wz } 2 - 14,98 \text{ wz} + 93,98$	0,97
Specific grinding energy $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )		$E_f = 0,023 \text{ wz } 2 + 0,285$	0,92
Energy utilisation index $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )			
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )	6500	$E_r = 0,323 \text{ wz } 2 + 6,797$	0,95
Specific grinding energy $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )		$E_f = 0,019 \text{ wz } 2 + 0,625$	0,92
Energy utilisation index $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )			
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )	6000	$E_r = 0,244 \text{ wz } 2 + 7,769$	0,89
Specific grinding energy $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )		$E_f = 0,017 \text{ wz } 2 + 0,453$	0,84
Energy utilisation index $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )			
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )	5500	$E_r = 0,634 \text{ wz } 2 - 10,77 \text{ wz} + 69,63$	0,96
Specific grinding energy $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )		$E_f = 0,012 \text{ wz } 2 + 0,701$	0,82
Energy utilisation index $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )			
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )	5000	$E_r = 0,103 \text{ wz } 2 + 13,58$	0,82
Specific grinding energy $E_r$ (J·g <sup>-1</sup> )			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )		$E_f = 0,006 \text{ wz } 2 + 1,058$	0,68
Energy utilisation index $E_f$ (J·m <sup>-1</sup> )			

## LITERATURA

1. **Bieliński M.: 1990.** Rozdrabnianie tworzyw wtórnych w warunkach ciecicia quasi i technologicznego. OWSIMP, Częstochowa.
2. **Branland G., Feli I., Leblanc A., koening J., Bodet C., Mariot D., Mahaut B., 1997.** La dureté des blés sélectionnés en France evolution et consequences. Industries des Céréales, Nr 101, 5-10
3. **Ceglarek F., Rudziński R., Piąza A., Buraczyńska D.: 2007.** Wartość pokarmowa wyki siewnej uprawianej w siewie czystym i współrzędnym w warunkach siedliskowych środkowowschodniej Polski. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 516, 19-26.
4. **Chachułowa J., Skomłala J.: 1997.** Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo. SGGW Warszawa.
5. **Dziki D.: 2007.** Ocena energochłonności rozdrabniania ziarna pszenicy poddanego uprzednio zgniataniu. Inżynieria Rolnicza Kraków, 8(96), 51-58.
6. **Golec S., Kwiatkowski M.: 1982.** Ocena możliwości doskonalenia procesów technologicznych w przemysłowym przetwórstwie zbóż przeznaczonych na paszę pod kątem zmniejszenia ich energochłonności w warunkach krajowych. Sprawozdanie etapowe. Motycz.
7. **Gumienna M., Czarnecka M., Czarnecki Z.: 2007.** Zmiany zawartości wybranych składników żywności w produktach otrzymanych z nasion roślin strączkowych pod wpływem obróbki biotechnologicznej. Żywność. Nauka Technologia. Jakość. 6 (55), 159-169.
8. **Laskowski J., Łysiak G. 1997.** Stanowisko do badań procesu rozdrabniania surowców biologicznych. Po-  
stępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego Nr. 1/2. s. 55-58.
9. **Laskowski J., Łysiak G., Skonecki S.: 2005.** Mechanical properties of granular agro-materials and food powders for industrial practice. Part II. Material properties for grinding and agglomeration. Institute of Agrophysics PAS, Lublin, 29-30.
10. **Łysiak G.: 1996.** Wpływ właściwości fizycznych surowców roślinnych na przebieg procesu rozdrabniania. Praca doktorska.
11. **Posner E. S., 1991.** Wheat and flour ash as a measurement of millability. Cereal food Word, 36(8), 626-629
12. **Potkański A., Rutkowski A., Frankiewicz A., Kuśnierek W., Mikulski S.: 1999.** Wykorzystanie nasion wyki jako źródła białka w żywieniu świń i drobiu. Rocz. Nauk. Zoot., 3, 185-197.

INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT  
ON GRINDING PROCESS OF FODDER  
WINTER VETCH

**Summary.** The aim of the study was to analyze the influence of moisture content on grinding process of fodder winter vetch. The research was made using a laboratory hammer-mill at the velocity in the range of 5000-7000 rev·min<sup>-1</sup>. Samples of corn kernels were conditioned to seven moisture levels from 8 to 18 %. The analysis of variance showed a significant effect of moisture on the indicators that describe the process of fragmentation of the individual level. The influence of kernel moisture on the analyzed parameters was described in the form of regression equations.

**Key words:** winter vetch, grinding, moisture, hammer velocity.



## Analiza metod teksturowania powierzchni krzemu krystalicznego stosowanego w fotowoltaice

Monika Gruszecka, Jerzy Grudziński, Andrzej Stępniewski

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

**Streszczenie.** W pracy przeprowadzono analizę metod teksturowania powierzchni płytek krzemowych stosowanych w ogniwach fotowoltaicznych. Omówiono metody trawienia płytek krzemu monokrystalicznego w roztworach alkalicznych, metody trawienia krzemu polikrystalicznego w środowisku kwasowym, obróbkę laserową i obróbki mieszane wykorzystujące laser i trawienie chemiczne. Na podstawie opublikowanych wyników badań absorpcji promieniowania świetlnego oceniono poszczególne technologie pod kątem ich praktycznej przydatności do budowy wysokosprawnych paneli słonecznych. **Słowa kluczowe:** ogniwa słoneczne, laserowe teksturowanie krzemu, fotowoltaika.

### WSTĘP

Ogniwa słoneczne wykorzystują efekt fotowoltaiczny do konwersji energii świetlnej na elektryczną. W XX wieku były rzadko wykorzystywane ze względu na dużą cenę i małą sprawność. Obecnie, dzięki nowym technologiom wytwarzania i teksturowania płytek krzemowych zmniejszono koszty produkcji. Nowe metody teksturowania umożliwiły zwiększenie liczby „wyłapywanych” fotonów jak również wykorzystywanie energii fotonów odbijanych na chropowatościach powierzchni płytek. Panele słoneczne są wykorzystywane w energetyce przemysłowej wytwarzającej ponad 100 tys. MW. Ponad 90% ogniw fotowoltaicznych produkowanych jest z krzemu. Stosowany jest krzem krystaliczny lub amorficzny, jak również krzem monokrystaliczny pokryty krzemem amorficznym. Ogniwa z krzemu monokrystalicznego są droższe a ich sprawność nie przekracza 25%, natomiast ogniwa z krzemu polikrystalicznego są tańsze, lecz ich sprawność wynosi ok. 20% [4, 12].

### CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest porównanie wyników badań ogniw zbudowanych z płytek krzemowych teksturowanych odmiennymi

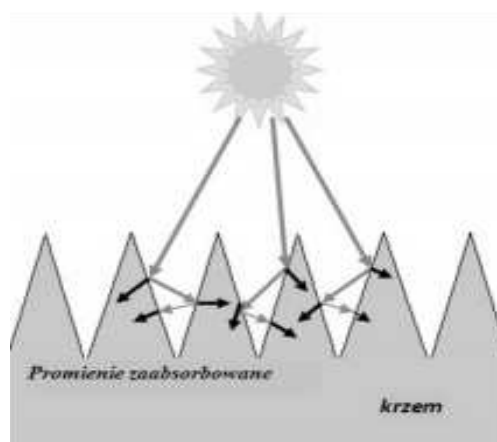
metodami i wskazanie metody najkorzystniejszej pod względem uzyskiwanej sprawności i kosztów stosowanej technologii.

### METODY ZMNIEJSZENIA WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA ODBICIA ŚWIATŁA OD POWIERZCHNI OGNIWA

Spośród wszystkich fotonów padających na powierzchnię półprzewodnika część z nich ulega odbiciu, część zostaje zaabsorbowana, a część przechodzi na wylot przez cienkie płytki krzemu nie biorąc udziału w konwersji energii (rys. 1).

W ogólnym przypadku, zależność pomiędzy współczynnikiem absorpcji (pochłaniania)  $A$ , współczynnikiem refleksyjności (odbicia)  $R$  i współczynnikiem transmisyjności (przepuszczania)  $T$  jest następująca:

$$A + R + T = 1 \quad (1)$$



**Rys. 1.** Schemat wielokrotnienia absorpcji fotonów przez teksturowaną powierzchnię ogniwa

**Fig. 1.** Scheme of multiply photon absorption by the textured cell surface

W przetwarzaniu energii udział biorą tylko fotony absorbowane, które „wybijają” elektrony z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. „Wybicie” elektronu następuje, gdy energia zaabsorbowanego fotonu  $E_{ph}$  będzie większa od energii odpowiadającej szerokości przerwy energetycznej półprzewodnika  $E_g$ :

$$E_{ph} = h \cdot \nu > E_g, \quad (2)$$

gdzie:

$c$  – prędkość światła [m/s],

$h$  – stała Plancka [J·s],

$\nu$  – częstość drgań promieniowania elektromagnetycznego dla danej długości fali świetlnej  $\lambda$  [Hz],

przy czym:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}. \quad (3)$$

Jednym z najważniejszych parametrów mających wpływ na sprawność konwersji fotowoltaicznej jest współczynnik odbicia światła od powierzchni ogniwa słonecznego. Dla celów badawczych zostało sformułowane pojęcie efektywnego współczynnika odbicia  $R_{eff}$ :

$$R_{eff} = \frac{\int_{400}^{1000} R(\lambda) \cdot N_{ph}(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{1000} N_{ph} d\lambda}, \quad (4)$$

gdzie:

$R(\lambda)$  – współczynnik odbicia światła – stosunek natężenia fali odbitej do padającej,

$N_{ph}(\lambda)$  – strumień fotonów widma słonecznego AM1.5 w funkcji długości fali światła ( $\lambda$ ).

Zakres całkowania jest umowny, zwykle przyjmowany w przedziale  $\lambda = 400$ -1000 nm, dla którego ogniwo posiada najlepsze właściwości absorpcyjne, a  $R(\lambda)$  przyjmuje stałą wartość.

W celu obniżenia strat związanych z odbiciem światła od powierzchni ogniwa, stosowane są warstwy antyrefleksyjne lub płytki teksturowane. Teksturowanie powierzchni umożliwia wielokrotne absorbowanie pojedynczego fotonu.

## METODY TEKSTUROWANIA POWIERZCHNI KRZEMU KRYSTALICZNEGO

Mechaniczne metody teksturowania powierzchni płytek z polikrystalicznego krzemu, np. mechaniczną piłą diamentową, czy też trawienie w plaźmie, obniżają efektywny współczynnik odbicia, lecz są mało wydajne. W wyniku anizotropowego trawienia w roztworach alkalicznych, np. KOH, NaOH (Tabela 1) płytek z krzemu monokrystalicznego o orientacji krystalograficznej wynoszącej 100, powstaje tekstura w postaci ostrosłupów o różnych kształtach i wymiarach podstaw. Analogiczne trawienie płytek z krzemu po-

**Tabela 1.** Porównanie współczynników odbicia dla różnych metod teksturowania powierzchni krzemu krystalicznego  
**Table 1.** Comparison of the reflection coefficients for the different methods of the surface texturing of crystalline silicon

Nr	Materiał	Metoda/roztwór/ ośrodek	Współczynnik odbicia w %	Źródło
1	Krzem czarny	MAE / Pd / PdCl <sub>2</sub> trawienie w: HF:H <sub>2</sub> O:H <sub>2</sub> O lub HF:HNO <sub>3</sub> :H <sub>2</sub> O	10,4	Lipiński 2011 [17]
2	Krzem monokrystaliczny	trawienie anizotropowe/ NaOH	12-14	Vazsonyi i in. 1999 [23]
3	Krzem monokrystaliczny	trawienie w KOH-IPA	3	Dimitrov i in. 2013 [2]
4	Krzem polikrystaliczny	RIE – reaktywne trawienie jonowe / CHF <sub>3</sub> / SF <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	dla wzniesień – 5,6 dla rowków – 7,9	Winderbaum i in. 2004 [22]
5	Krzem polikrystaliczny	trawienie NaOH lub KOH z maskowaniem fotolitograficznym	20	Shirasawa i in. 1994 [20]
6	Krzem polikrystaliczny	trawienie NaOH lub KOH bez maskowania	24	Lipiński i in. 2001 [15]
7	Krzem polikrystaliczny	mechaniczna piła diamentową	5	Szlufcik i in. 1994 [2] Fath i in. 1994 [10]
8	Krzem polikrystaliczny	trawienie w roztworach kwasowych na bazie HF	9	Ludemann i in. 2000 [3]
9	Krzem polikrystaliczny	trawienie w plaźmie	3	Damiani i in. 2000 [3]
10	Krzem polikrystaliczny	trawienie w plaźmie z dodatkiem trawienia w roztworach KOH	21	Damiani i in. 2000 [3]
11	Krzem polikrystaliczny	trawienie w roztworach HNO <sub>3</sub> -HF z maskowaniem fotolitograficznym	3	Zhao i in. 1998 [26]
12	Krzem multikrystaliczny	trawienie w środowisku zasadowym / KOH, NaOH	9	Macdonald i in. 2004 [18]
13	Krzem multikrystaliczny	trawienie w środowisku kwasowym/ HF, HNO <sub>3</sub>	8	Macdonald i in. 2004 [18]
14	Krzem multikrystaliczny	trawienie w środowisku kwasowym: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaNO <sub>2</sub> , HF, HNO <sub>3</sub>	9,8	Park i Kim 2003 [19]
15	Krzem multikrystaliczny	teksturyzacja laserowa	3	Zuev i in. 2012 [27]

likrystalicznego nie daje tak dobrych rezultatów ze względu na różną orientację ziaren krystalitów.

Obecnie intensywnie badane są chemiczne metody teksturowania krzemu multikrystalicznego w roztworach kwaśnych. Trawienie w roztworze  $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$  w stosunku objętościowym 10:1:1 usuwa warstwę zdefektowaną i teksturuje powierzchnię. Wadą metody jest powstawanie warstwy nanoporowatej, którą należy usunąć w roztworze  $\text{KOH}$ . Ponadto roztwór trawiący szybko się zanieczyszcza. Stosuje się także teksturowanie w roztworze  $\text{NOHSO}_4:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ . Trawienie przebiega wolniej, co umożliwia lepszą kontrolę przebiegu procesu. Dodatkowo neutralizowane są tlenki azotu w wyniku redukcji z  $\text{NO}^+$  do  $\text{N}_2\text{O}$  [13].

Anizotropowa teksturyzacja w roztworze  $\text{NaOH}:\text{NaOCl}$  stosowana jest do płytek krzemowych typu „as cut” z mikropęknięciami wprowadzonymi podczas cięcia bloków krzemowych. W przypadku taśm polikrystalicznych nie mających defektów, metoda daje złe wyniki [16, 17].

Nowa metoda teksturowania chemicznego przy wykorzystaniu katalitycznego metalu MAE (Metal-Assisted Chemical Etching) umożliwia otrzymanie czarnego krzemu z bardzo małym współczynnikiem odbicia światła. Na powierzchni krzemu odkładane są metaliczne klastery ( $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Pd}$ ), które pełnią rolę katalizatorów trawienia chemicznego w roztworach zawierających kwas fluorowodorowy i utleniacz, np.  $\text{HNO}_3$  lub wodę utlenioną. Lipiński [2010] zastosował pallad jako katalizator, który nadkładał na powierzchnię płytek krzemowych przez ich zanurzenie w wodnym roztworze chlorku palladu  $\text{PdCl}_2$  przez 60 s. Gęstość klastery wynosiła  $N_{pd} \approx 6 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-2}$ , wysokość 14 nm, a średnica 38 nm. W wyniku trawienia płytek pokrytych palladem w roztworach  $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  lub  $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$  powstaje krzem porowaty. Roztwory  $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  nie trawią powierzchni krzemu, gdy nie jest ona pokryta cząstkami palladu, a roztwory  $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$  trawią go szybciej. Kolejne trawienie w roztworze  $\text{KOH}$  lub  $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$  powoduje teksturowanie powierzchni o współczynniku odbicia zależnym od roztworu trawiącego i czasu trawienia. Powstaje tekstura powierzchni w postaci jamek o wielkości 0,1-1  $\mu\text{m}$ .

Autorzy [13, 16, 17] wyznaczyli efektywne współczynniki odbicia  $R_{\text{eff}}$  płytek z krzemem porowatym dla czterech wariantów roztworów trawiących kwaśnych i zasadowych w czasie 30 lub 60 s. Okazało się, że wartości  $R_{\text{eff}}$  dla wszystkich badanych próbek są mniejsze, niż dla próbek trawionych w roztworze kwasowym ( $R_{\text{eff}} = 22,6\%$ ) lub dla powierzchni bez tekstury ( $R_{\text{eff}} = 29,2\%$ ).

Dimitrov i inni [2] poddali teksturowaniu powierzchnię krzemu monokrystalicznego w roztworze  $\text{KOH-IPA}$  w temperaturze  $80^\circ\text{C}$  przez 45 minut. W wyniku teksturowania, na powierzchni powstały ostrosłupy o rozmiarach rzędu mikrometrów. Po teksturowaniu powierzchnia krzemu została oczyszczona w roztworze  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  i poddana działaniu rozcieńczonego  $\text{HF}$ . Następnie wytworzono nanopiramidy bezpośrednio na uprzednio otrzymanej teksturze. Nanotekstura została wytworzona w dwuetapowym trawieniu kwaśnym roztworem wodnym  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  i  $\text{AgNO}_3$  przez 6 minut, a następnie w roztworze  $\text{HF}$  i  $\text{H}_2\text{O}$  przez 2 minuty, oba w temperaturze pokojowej. Dla ogniw sło-

necznych wykonanych z krzemu, na powierzchni którego została wykonana hierarchiczna tekstura dla długości fali 300-900 nm, współczynnik odbicia wynosi 3% i maleje dla mniejszych długości fal. Tworzenie na powierzchni krzemu hierarchicznej tekstury o rozmiarach mikrometrów i nanometrów zapewnia polepszenie właściwości antyrefleksyjnych, poprawia niezawodność i sprawność ogniw.

Efektywne teksturowanie powierzchni krzemu polikrystalicznego metodami chemicznymi uniemożliwia różną orientacją krystalograficzną ziaren. Po teksturyzacji mechanicznej powierzchni piłą diamentową otrzymano współczynnik odbicia o wartości 3%. Alternatywną metodą teksturowania powierzchni krzemu poli- i multikrystalicznego jest mikroobróbka laserowa. Zalety tej metody to: selektywność, bezkontaktowość, precyzyjność i wydajność. Dobór parametrów pracy lasera wpływa na kształt otrzymanych tekstur oraz na stan warstwy wierzchniej. W zależności od ciśnienia użytego gazu osłonowego i gęstości mocy lasera zmieniają się kształt i wymiary otrzymanych tekstur [25]. Wraz ze spadkiem prędkości posuwu wiązki lasera zwiększa się głębokość powstałych rowków, a szerokość nie ulega istotnej zmianie [9, 5]. Stosując większą moc lasera i większą liczbę impulsów, można otrzymać struktury w postaci perełek, przy mniejszych wartościach struktury w kształcie fal [11]. Współczynnik odbicia jest jednym z kilku najważniejszych parametrów fotoogniw. W wyniku pracy lasera następuje zwiększenie chropowatości powierzchni i zmniejszenie współczynnika odbicia. Obecność uszkodzonej warstwy wierzchniej i zanieczyszczeń zgromadzonych w zagłębieniach pogarsza sprawność i parametry elektryczne.

Porównanie wyników badań nie jest łatwym zadaniem, ponieważ Autorzy stosują różne metody przygotowania i wycinania próbek z wlewka, różne lasery i parametry ich pracy oraz różne odczynniki trawiące. Nie są też ujednolicone nadające się do porównań parametry fotoogniw.

Do oceny efektywności konwersji energii słonecznej na elektryczną w literaturze specjalistycznej wykorzystywane są różne kryteria. Wyznaczane są współczynnik odbicia, współczynniki absorpcji, efektywne współczynniki odbicia, ich wartości mierzone są na różnych etapach wytwarzania płytek krzemowych, tj. bezpośrednio po teksturowaniu laserowym lub po usunięciu warstwy wierzchniej.

## LASEROWE TEKSTUROWANIE KRZEMU KRystalicznego

Geometria otrzymanych tekstur zależy od czasu oddziaływania i gęstości mocy wiązki  $q$ , wyrażonej zależnością:

$$q = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2}, \quad (5)$$

przy czym:

$$d = \Theta_0 \cdot f_0, \quad (6)$$

$$\Theta_0 = 1,2 \cdot \frac{\lambda}{r}, \quad (7)$$

$P$  – moc lasera, [W],  
 $d$  – średnica plamki lasera, [mm],  
 $f_o$  – ogniskowa lasera, [mm],  
 $\Theta_o$  – stopień rozogniskowania,  
 $\lambda$  – długość fali promieniowania, dla lasera Nd:YAG,  $\lambda = 1,064 \mu\text{m}$ ,  
 $r$  – promień wiązki, [mm].

Czas ekspozycji, naświetlania  $t$  wg Antoszewskiego [2010]:

$$t = \frac{d}{V}, \quad (8)$$

gdzie:  $V$  – prędkość przesuwu wiązki [m/s].

Dobrzański i inni [4, 5] wykonywali rowki w powierzchni płytek z krzemu polikrystalicznego przy zastosowaniu maksymalnej mocy lasera w trybie pulsacyjnym. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji topografii powierzchni płytek krzemu polikrystalicznego po teksturoowaniu laserowym stwierdzili, że na całej powierzchni znajduje się warstwa uszkodzonego materiału powstała w wyniku kondensacji fazy ciekło-gazowej występującej w trakcie obróbki laserowej, kształt rowków powstałych w wyniku teksturowania powierzchni jest nieregularny z wypływkami na brzegach, wytworzone zagłębienia są wtórnie zalane stopionym i nie w pełni odparowanym materiałem, obszary między wypływkami sąsiadnych rowków są pokryte zakrzepłym materiałem. Występują zniekształcone, wykrywalne krople krzemu tzw. napływy o wymiarach rzędu kilku mikrometrów.

Badano wpływ średnicy przesłony lasera na wymiary rowków. Stwierdzono, że ze względów technologicznych, odstęp między sąsiednimi rowkami powinny zawierać się w granicach 0,05 – 0,09 mm. Stosowanie mniejszych odstępów prowadzi do zalania rowków wytworzonych wcześniej, natomiast odstęp większe pozostawiają za duże powierzchnie nieobrobione [6].

Porównywano wartości efektywnych współczynników odbicia światła przez płytki z krzemu polikrystalicznego nieteksturowane, teksturowane laserowo i trawione w 20% roztworze KOH w temperaturze 80°C, następnie w 47%  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}$ , w 2% HCl i w 10% HF po teksturoowaniu laserowym. Tekstury miały kształt równoległych rowków lub siatki. Z przeprowadzonych eksperymentów wynika, że najgorsze parametry elektryczne mają ogniwa słoneczne wykonane z krzemu polikrystalicznego po laserowym teksturoowaniu. Zastosowanie trawienia chemicznego po teksturoowaniu, znacznie polepsza parametry ogniwa. Najlepsze właściwości fotowoltaiczne mają ogniwa wykonane z płytek

krzemu polikrystalicznego z teksturą równoległą (11,93%) i siatkową (12,67%) wykonaną laserowo i chemicznie trawione [7, 8].

Teksturowanie krzemu multikrystalicznego można wykonać laserem UV. Kwang-Ryul Kim i in. [14] trawili płytki pokryte warstwą  $\text{SiN}_x$  o grubości 300 nm z V-rowkami o strukturze plastra miodu. Zastosowano trawienie 25% roztworem NaOH w temperaturze 40°C przez 4 minuty, następnie roztworem kwasu  $\text{NaOH}_3:\text{CH}_3\text{COOH}:\text{HF}$  w stosunku objętościowym 30:10:4 w temperaturze 20°C przez 4,5 minuty. Współczynnik odbicia od powierzchni teksturowanej bez trawienia wynosił 8,6% a trawionych 13,2%. Warstwa  $\text{SiN}_x$  spowolniała trawienie celem zachowania ostrych krawędzi tekstury. Wraz ze zwiększeniem czasu trawienia próbki z warstwą  $\text{SiN}_x$  współczynnik odbicia zwiększył się do 13,3% a dla próbek bez warstwy  $\text{SiN}_x$  do 15,6%.

### WPLYW GEOMETRII TEKSTURY NA ABSORBCJĘ ŚWIETLNA

Porównano wyniki pomiarów kąta wierzchołkowego, kształtu i gęstości tekstur oraz wskaźników absorpcji z wynikami otrzymanymi z symulacji komputerowej [24]. Stwierdzono, że największy wpływ na współczynnik absorpcji ma gęstość tekstury, następnie wartość kąta wierzchołkowego rowków i ich kształt (Tabela 2). Od wartości kąta wierzchołkowego zależy krotność odbić promieni świetlnych długości fali  $\lambda = 640 \div 1080 \text{ nm}$ .

Tekstury o gęstszym ułożeniu rowków mają większe zdolności absorpcji promieni świetlnych. Najmniejszą absorpcję promieni świetlnych miały tekstury o kształcie stożka, a największą – ostrosłupa o podstawie trójkąta.

### WNIOSKI

Wyniki analizowanych badań potwierdziły przydatność teksturowania powierzchni krzemu jako metody poprawy sprawności konwersji fotowoltaicznej ogniwa słonecznych. Wśród opisywanych w literaturze technologii teksturowania mechanicznego, chemicznego i laserowego jako szczególnie perspektywiczną należy uznać ostatnią, pod warunkiem opracowania takiej technologii obróbki laserowej, która nie będzie nadmiernie uszkadzała warstwy wierzchniej krzemu. W wyniku precyzyjnego teksturowania laserowego powierzchni krzemu polikrystalicznego można otrzymać

**Tabela 2.** Zależność kąta wierzchołkowego od współczynnika absorpcji [24]

**Table 2.** Dependence of apex angle and reflectivity coefficient [24]

Nr	Krotność odbić	Współczynnik absorpcji	Figura	Kąt wierzchołkowy
1	jdnokrotne	jak dla wypolerowanego krzemu	stożek	>110°
2			ostrosłup o podstawie sześciokąta	>115°
3			ostrosłupa o podstawie prostokąta	>130°
4			ostrosłupa o podstawie trójkąta	>145°
5	wielokrotne	>0,9	ostrosłupa o podstawie sześciokąta	<70°
6			ostrosłupa o podstawie prostokąta	<85°
7			ostrosłupa o podstawie trójkąta	<85°

tekstury o ściśle określonym kształcie zbliżonym do optymalnego z punktu widzenia maksymalizacji pochłaniania promieniowania świetlnego. Najlepsze efekty uzyskano dokonując trawienia powierzchni uprzednio teksturowanych laserowo. Właściwości absorpcyjne zależą od zanieczyszczeń znajdujących się na jego powierzchni i wprowadzonych do struktury wewnętrznej w trakcie teksturowania oraz od gęstości, kąta wierzchołkowego i kształtu tekstur. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury można stwierdzić, że większą wartość współczynnika odbicia mają ogniwa słoneczne zbudowane z płytek pokrytych rowkami o większej wartości ilorazu głębokości i szerokości. Najkorzystniejszym kształtem tekstury jest ostrosłup o podstawie trójkąta.

## LITERATURA

1. **Antoszewski B., 2010:** Warstwy powierzchniowe z teksturą kształtowaną wybranymi technologiami wiązkowymi oraz właściwości tribologiczne, Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce.
2. **Dimitrov D.Z., Chen-Hsun Du., 2013:** Crystalline silicon solar cells with micro/nano texture, *Applied Surface Science*, Vol. 266, 1-4.
3. **Damiani B. M., Lüdemann R., Ruby D.S., Zaidi S.H., Rohatgi A., 2000:** Development of RIE-textured Silicon Solar Cells, *Proc. of the 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, 15-22 September, Anchorage, 371-374.
4. **Dobrzański L.A., Drygała A., 2011:** Wpływ obróbki laserowej na topografię powierzchni krzemu polikrystalicznego, *Elektronik – konstrukcje, technologie, zastosowanie*, Vol. 52, 53-54
5. **Dobrzański L.A., Drygała A., Konieczny J., Lelątko J., 2007:** Structure of laser treated multicrystalline silicon wafers, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 21, 69-72.
6. **Dobrzański L.A., Drygała A., 2010:** Laserowe teksturowanie powierzchni krzemu polikrystalicznego, *Elektronik – konstrukcje, technologie, zastosowanie*, Vol. 5, 57-59
7. **Dobrzański L.A., Drygała A., Panek P., Lipiński M., Zięba P., 2009:** Development of the laser method of multicrystalline silicon surface texturization, *Archives of Materials Science and Engineering*, Vol. 38, 5-11
8. **Dobrzański L.A., Drygała A., 2008:** Laser texturization in technology of multicrystalline silicon solar cells, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 29, 7-14.
9. **Dobrzański L.A., Drygała A., 2007:** Laser processing of multicrystalline silicon for texturization of solar cells. *Journal of Mat. Processing Technology*, Vol. 191, 228-231.
10. **Fath P., Willeke G., 1994:** Mechanical Wafer Engineering for High Efficiency Polycrystalline Silicon Solar Cells, *Proc. of the 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Vol. 1, 11-15 April, Amsterdam, 1037-1040.
11. **Halbwax M., Sarnet T., Delaporte Ph., Sentis M., Etienne H., Torregrosa F., Vervisch V., Perichaud I., Martinuzzi S., 2008:** Micro and nano-structuration of silicon by femtosecond laser. Application to silicon photovoltaic cells fabrication. *Thin Solid Films*, Vol. 516, 6791-6795.
12. **Jastrzębska G., 2013:** Ogniwa słoneczne. Budowa, technologia, zastosowanie, WKŁ, Warszawa.
13. **Kulesza G., Zięba P. 2011:** Chemiczna modyfikacja powierzchni krzemu krystalicznego do zastosowań w fotowoltaice. *Elektronik – konstrukcje, technologie, zastosowanie*, Vol. 52, 70-73.
14. **Kwang-Ryul K., Tae-Hoon K., Hyun-Ae P., Sun-Yong K., Sung-Hak Ch., Junsin Y., Byoung-Deog Ch., 2013:** UV laser direct texturing for high efficiency multicrystalline silicon solar cell. *Applied Surface Science* Vol. 264, 404-409.
15. **Lipiński M., Panek P., Beltowska E., Yerokhov V., 2001:** Investigation of Macroporous Layer by Chemical Etching for Silicon Solar Cell Manufacturing. *Proc. of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conf.*, 22-26 October, Munich, 1786-1788.
16. **Lipiński M., Cichoszewski J., 2010:** Tekstutowanie krzemu metodą trawienia chemicznego ze wspomaganie katalizatora metalicznego w zastosowaniu dla ogniwa słonecznych, *Elektronik – konstrukcje, technologie, zastosowanie*, Vol. 5, 53-56.
17. **Lipiński M.: 2011:** Tekstutowanie krzemu metodą trawienia chemicznego z użyciem katalizacyjnego palladu. *Elektronik – konstrukcje, technologie, zastosowanie*, Vol. 4, 59-62.
18. **Macdonald D.H., Cuevas A., Kerr M.J., Samundsett C., Ruby D., Winderbaum S., Leo A., 2004:** Texturing industrial multicrystalline silicon solar cells, *Solar Energy*, Vol. 76, 277-283.
19. **Park S.W., Kim J., 2003:** Application of acid texturing to multi-crystalline silicon wafers. *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 43, 423-426.
20. **Shirasawa K., Takahashi H., Inomata Y., Fukui K., Okada K., Takayama M., Watanabe H., 1994:** Large Area High Efficiency Multicrystalline Silicon Solar Cells. *Proc. of the 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, vol. 1, 11-15 April, Amsterdam, 757-760.
21. **Szlufcik J., Fath P., Nijs J., Mertens R., Willeke G., Bucher E., 1994:** Screen Printed Multicrystalline Silicon Solar Cells with a Mechanically Prepared V-Grooved Front Texturization. *Proc. of the 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Vol. 1, 11-15 April, Amsterdam, 769-772.
22. **Winderbaum S, Reinhold O, Yun F., 1997:** Reactive ion etching (RIE) as a method for texturing polycrystalline silicon solar cells. *Solar Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 46, 239-248.
23. **Vazsonyi E, Clercq KD, Einhaus R, Kerschaver EV, Said K, Poortmans J, Szlufcik J, Nijs J., 1999:** Improved anisotropic etching process for industrial texturing of silicon solar cells. *Solar Energy Mater Sol Cells*, Vol. 57, 179-188.

24. **Xiao-She H., Yi-Jie Z., Hao-Wei W., 2010:** The effect of texture unit shape on silicon surface on the absorption properties. *Solar Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 94, 258-262.
25. **Younkin R., Carey J., Levinson J., Crouch C., Mazur E., 2003:** Infrared Absorption by Conical Silicon Microstructures Made Using Femtosecond Laser Pulses in a Variety of Background Gases. *Journal of Applied Physics*, Vol. 93, 2626-2629.
26. **Zhao J., Wang A., Green M., 1998:** 19.8% Efficient Multicrystalline Silicon Solar Cells with Honeycomb Textured Front Surface. *Proc. of the 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, 6-10 July, Vienna, 1681-1684.
27. **Zuev D.A., Novodvorsky O.A., Lotin A.A., Shorokhova A.V., Khramova O.D., Untila G.G., Poroykov A.Y.,**

**Kost T.N., Chebotareva A.B., 2012:** Application of laser texturing method for mc-Si solar cells fabrication. *Mat. Konf.: ALT 12 Advanced Laser Technologies*, 2-6.09.2012

#### ANALYSIS METHODS OF SURFACE TEXTURING SILICON CRYSTAL USED IN PHOTOVOLTAICS

**Summary.** This paper analyzes the methods of texturing the surface of silicon wafers used in solar cells. The methods of etching monocrystalline silicon plate in alkaline solutions, methods for etching polycrystalline silicon in an acid medium, and the laser treatment using laser machining mixed and chemical etching. On the basis of published studies, the absorption of light radiation rated the different technologies in terms of their practical usefulness for the construction of high-performance solar panels.

**Key words:** solar cells, laser texturing silicon, photovoltaics.

## Model energooszczędnej instalacji domowej w warunkach budownictwa wiejskiego

M. Horyński, S. Styła, A. Boguta, M. Buczaj, A. Sumorek

Katedra Inżynierii Komputerowej i Elektrycznej, Politechnika Lubelska,  
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin

**Streszczenie.** W niniejszej publikacji przeanalizowano integrację instalacji elektrycznych występujących w siedlisku. Jako system zarządzający energią został zastosowany polski system automatyki budynkowej Domito oraz Domito Garden, jego odmiana przeznaczona do sterowania urządzeniami znajdującymi się w ogrodach. Jest to polska alternatywa dla drogich systemów zagranicznych. Oferuje on podobne możliwości zarządzania instalacjami budynkowymi i ogrodem, a dzięki możliwości zdalnego dostępu do instalacji pozwala na komfortowe sterowanie urządzeniami.

**Słowa kluczowe:** budynek inteligentny, siedlisko, rolnictwo, instalacja, system automatyki

### WSTĘP

Dzięki postępowi technologicznemu, który dokonał się w ostatnich latach, duże zmiany nastąpiły również w dziedzinie instalacji elektrycznych. Wraz z doskonaleniem technik budowlanych oraz nowoczesnych rozwiązań architektonicznych, również instalacja elektryczna ulega przeobrażeniom. Oprócz głównego przeznaczenia, jakim było zasilanie gospodarstw domowych, pojawiła się nowa ich rola, dbanie o oszczędność energii, zwiększenie bezpieczeństwa i komfortu użytkowników i poprawa jej jakości [8, 9, 10, 11, 12, 19, 20].

W celu sprostania nowym wymaganiom stworzono systemy automatyki budynkowej, które łączą zadania tradycyjnej instalacji oraz wprowadzają wiele nowych funkcjonalności umożliwiających sterowanie poszczególnymi systemami w budynku.

Obecnie zwraca się szczególną uwagę na optymalizację zużycia energii, energooszczędność jest największym wyzwaniem dla współczesnego przemysłu budowlanego. W związku z tym wymagania postawione instalacjom automatyki budynkowej dotyczące oszczędności energii są bardzo duże, gdyż świadome zużywanie energii zapew-

nia zabezpieczenie na przyszłość oraz prowadzi do tego, że budynek staje się bardziej ekonomiczny. W obiektach budowlanych, w których zastosowane zostały systemy wspomagające energooszczędność możliwe jest optymalne zużywanie energii elektrycznej.

Poprawa poziomu życia ludności wiejskiej oraz wzrost świadomości o potrzebie oszczędzania energii i ochronie środowiska sprzyja rozwojowi energooszczędnych instalacji również w obszarach wiejskich. Dotyczy to zarówno budynków mieszkalnych jak i zabudowań gospodarczych [14, 15, 16].

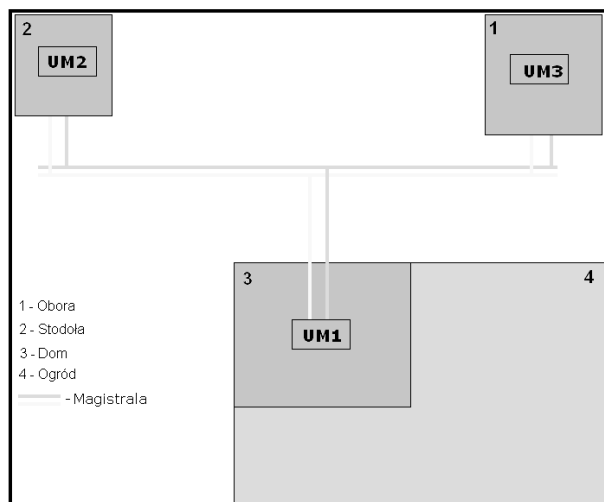
Często spotykanym typem zabudowy na wsi są siedliska (Rys. 1, 2).



Rys. 1. Przykład siedliska – a

Fig. 1. Example of habitat – a

W skład zabudowy siedliskowej może wchodzić budynek mieszkalny oraz budynki gospodarcze (stodoła, obora, itp.). Muszą być usytuowane zgodnie z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego bądź, (jeśli planu nie ma) zgodnie z warunkami zabudowy. Żaden akt prawny nie definiuje pojęcia siedliska. Przyjmuje się natomiast za Sądem Najwyższym, iż siedliskiem jest działka pod budynkami wchodzącymi w skład gospodarstwa rolnego. Także ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych stwierdza, że gruntami



**Rys. 2.** Przykład siedliska – b: 1 – obora, 2 – stodoła, 3 – dom, — – magistrala, UM 1÷3 – urządzenie magistralne

**Fig. 2.** Example of habitat – b: 1 – cowshed, 2- barn, 3 – house, — – bus, UM 1÷3 – bus device

rolnymi są grunty pod wchodzącymi w skład gospodarstw rolnych budynkami mieszkalnymi oraz innymi budynkami i urządzeniami służącymi wyłącznie produkcji rolniczej oraz przetwórstwu rolno-spożywczemu.

Inteligentne sterowanie instalacjami budynków będących częścią siedliska wymaga znajomości zagadnień z dziedziny sterowania, informatyki oraz poznania specyfiki funkcjonowania budynków rolniczych. We współczesnych gospodarstwach rolnych istnieje szereg urządzeń, które nie mają możliwości wymiany informacji z innymi komponentami instalacji. Konieczne jest posiadanie systemu integrującego urządzenia pochodzące z różnych instalacji i od różnych producentów. Wprowadzenie automatyki może również wpłynąć na obniżenie zużycia energii w gospodarstwie rolnym, co jest związane z optymalizacją pracy urządzeń w nim występujących. W artykule przedstawiono koncepcję zastosowania do tego celu polskiego systemu automatyki budynkowej Domito oraz jego odmiany Domito Garden przeznaczonej do sterowania urządzeniami elektrycznymi w ogrodach.

#### CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA OSZCZĘDNOŚĆ ENERGII W WIEJSKICH GOSPODARSTWACH DOMOWYCH I PRODUKCJI ROLNICZEJ

Budowa oraz eksploatacja instalacji i urządzeń elektrycznych w gospodarstwach wiejskich w dalszym ciągu odbiega od standardów energooszczędnego budownictwa. Dotyczy to zarówno stanu budynków gospodarskich jak i zaawansowania ich instalacji.

Liczne wypadki wynikają często z niskiego poziomu wiedzy użytkowników na temat bezpiecznej eksploatacji urządzeń elektrycznych [4, 5, 6].

Fakty te przemawiają za modernizacją istniejących instalacji elektrycznych. Dotyczy to szczególnie obszarów wiejskich, który należą w Polsce do regionów często przez lata zaniedbywanych. Pewien moralny obowiązek dbania

o środowisko naturalne i poprawę energooszczędności gospodarstw wynika z faktu dopłat uzyskiwanych przez ludność wiejską, która jako jedna z nielicznych grup społecznych skorzystała od razu z integracji z Unią Europejską. W związku, z tym część tych środków powinna ona przeznaczyć na modernizację gospodarstw. Charakterystyka gospodarstw rolnych oraz zakładów przemysłu rolno-spożywczego, jako użytkowników energii elektrycznej jest przedmiotem dociekań naukowych wielu autorów [1, 7, 8, 13, 15, 17, 18, 19, 20].

Producenci urządzeń automatyki budynkowej mają w swojej ofercie rozwiązania kompatybilne z tradycyjnymi instalacjami elektrycznymi oraz systemami inteligentnymi, które mogą być adresowane do ludności wiejskiej [10]. Promowane są działania zmierzające do realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Zalicza się do nich energooszczędne zarządzanie energią w gospodarstwie rolnym.

Na zapotrzebowanie na energię w gospodarstwie rolnym składa się:

- Zapotrzebowanie na cele bytowo-gospodarcze (zalicza się do nich ogrzewanie pomieszczeń i przygotowanie ciepłej wody użytkowej, energię elektryczną do oświetlenia i zasilania urządzeń AGD).
- Zużycie bezpośrednio na cele rolnicze (nawadnianie, suszenie, uprawę roślin szklarniowych, hodowlę zwierząt, paliwo do maszyn).

Na oszczędność energii w gospodarstwach wiejskich ma wpływ świadomość samych użytkowników, którzy widzą potrzebę stosowania energooszczędnych rozwiązań oraz swoim działaniem sprzyjają uzyskiwaniu energooszczędności. Istotne jest również prowadzenie następujących działań:

- Stosowanie wydajnych silników i napędów, które produkowane są często z trybem ekonomicznym.
- Fabryczny montaż układów elektronicznych pozwalających na wydajniejsze sterowanie silnikiem, szczególnie przy niepełnym obciążeniu.
- Stosowanie w gospodarstwach energooszczędnych urządzeń przetwórstwa rolnego.
- Montaż alternatywnych źródeł energii elektrycznej, np. turbin wiatrowych, paneli fotowoltaicznych lub pomp ciepła.

#### STANOWISKO BADAWCZE

W celu badania zastosowania instalacji inteligentnych w gospodarstwach rolnych wykonano stanowisko badawcze, w którym urządzenia są zintegrowane za pomocą systemu Domito. Model został wykonany ze szkła akrylowego (tzw. „pleksi”) w formie graniastosłupa na planie prostokąta.

Głównym elementem stanowiska jest plan domu z rozmieszczonymi na nim elementami wykonawczymi (przyciski, żarówki, kontrolki LED). Poniżej planu znajdują się moduły systemu oraz przyciski służące do obsługi elementów wykonawczych.

Plan domu został przygotowany w bezpłatnej wersji programu AutoCad, następnie wyeksportowany do formatu graficznego „svg” i przygotowany do wydruku w bezpłatnym programie do obróbki graficznej „Gimp” w wersji 2.6.11.



System inteligentnej instalacji Domito powstał w związku z potrzebą obsługi hali produkcyjnej firmy MCD Electronics. Jako, że rozwiązania dostępne na rynku nie spełniały oczekiwań, firma ta postanowiła stworzyć własny system. W ten sposób narodziło się Domito, które dla indywidualnych klientów dostępne jest od 2006 roku.

Aktualnie system Domito to rodzina inteligentnych rozwiązań, na którą składa „Domito dla domu”, „Domito INDUSTRIAL” (dla hal fabrycznych) oraz „Domito Garden” (dla ogrodu).

Za pomocą omawianego systemu można sterować następującymi elementami domu:

- Oświetlenie.
- Instalacją HVAC (Heat, Ventilation, Air Conditioning, czyli Ogrzewanie, Wentylacja, Klimatyzacja).
- Sterowanie urządzeniami RTV, AGD.
- Sterowanie roletami/żaluzjami.
- Współpraca z systemami alarmowymi/przeciwpożarowymi/kontroli dostępu.

Koszt okablowania dla systemu Domito jest o ok. 20–30 % wyższy od tradycyjnych instalacji, a całkowity koszt uzależniony jest od wielkości budynku oraz zakresu zastosowania. Niewątpliwą zaletą, Domito, który jest systemem otwartym, jest możliwość stosowania osprzętu różnych producentów oraz fakt, że system ten może być rozbudowywany stopniowo. Jest to zaletą, szczególnie dla odbiorców wiejskich, którzy nie zawsze dysponują wystarczającymi środkami na modernizację gospodarstwa.

System Domito tak jak inne systemy inteligentne funkcjonuje w oparciu o trzy typy urządzeń:

1. Sensory – odpowiadają za zbieranie informacji z otoczenia, są to różnego rodzaju czujniki (temperatury, wilgotności, dymu, etc.), ale także włączniki.
2. Aktuatory – urządzenia wyjściowe wykonujące określone polecenia. Nazwa tych urządzeń wywodzi się od faktu, że aktualizują stan sterowanych wyjść.
3. Urządzenia przetwarzające – główny element systemu, są to urządzenia, których zadaniem jest przetworzenie zebranych za pomocą sensorów informacji i za pomocą tychże informacji sterowanie pracą aktuatorów.

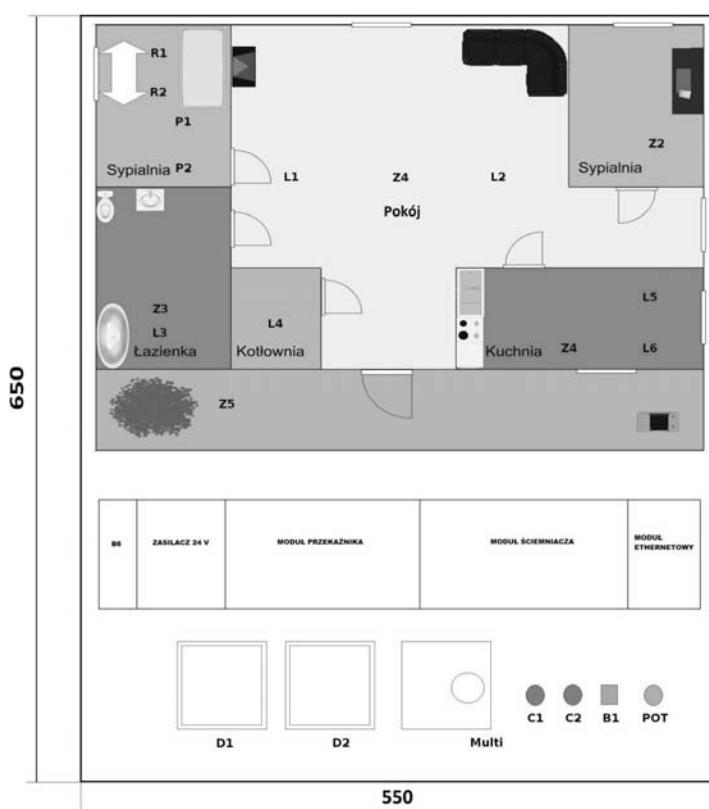
Elementy systemu Domito wykorzystane podczas budowy stanowiska są kompleksowym rozwiązaniem na bazie, których można stworzyć w pełni funkcjonalną inteligentną instalację.

Na poniższym rysunku zostało przedstawione w sposób poglądowy stanowisko badawcze wraz z wymiarami.

Do obsługi inteligentnej instalacji służy aplikacja Domito Manager napisana w języku Java.

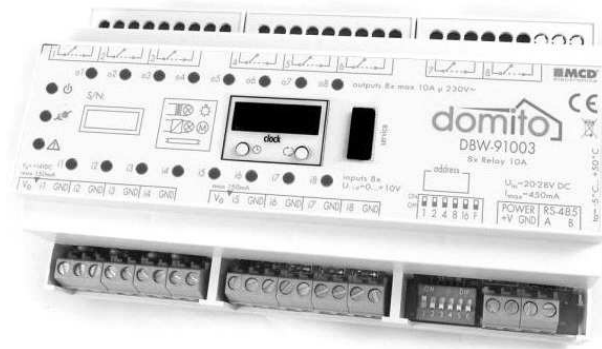
Program charakteryzuje się prostym, przyjaznym interfejsem a jego obsługa jest intuicyjna, przez co nawet użytkownik uruchamiający program po raz pierwszy szybko się w nim „odnajdzie”. Tego typu rozwiązania dotychczas stosowane były w budynkach użyteczności publicznej i budownictwie mieszkaniowym [2, 3].

Program prócz swojej podstawowej funkcji, czyli konfigurowania elementów systemu oferuje także system raportów dotyczący zainstalowanych elementów. Z poziomu programu można obserwować aktualny stan urządzeń (urządzenie włączone/wyłączone, stan wysoki/niski przy-cisku, liczba uruchomień, etc.). Ponadto za pomocą progra-



Rys. 3. Model energooszczędnej instalacji w wiejskim domu

Fig. 3. Model of energy-efficient installations in a country house



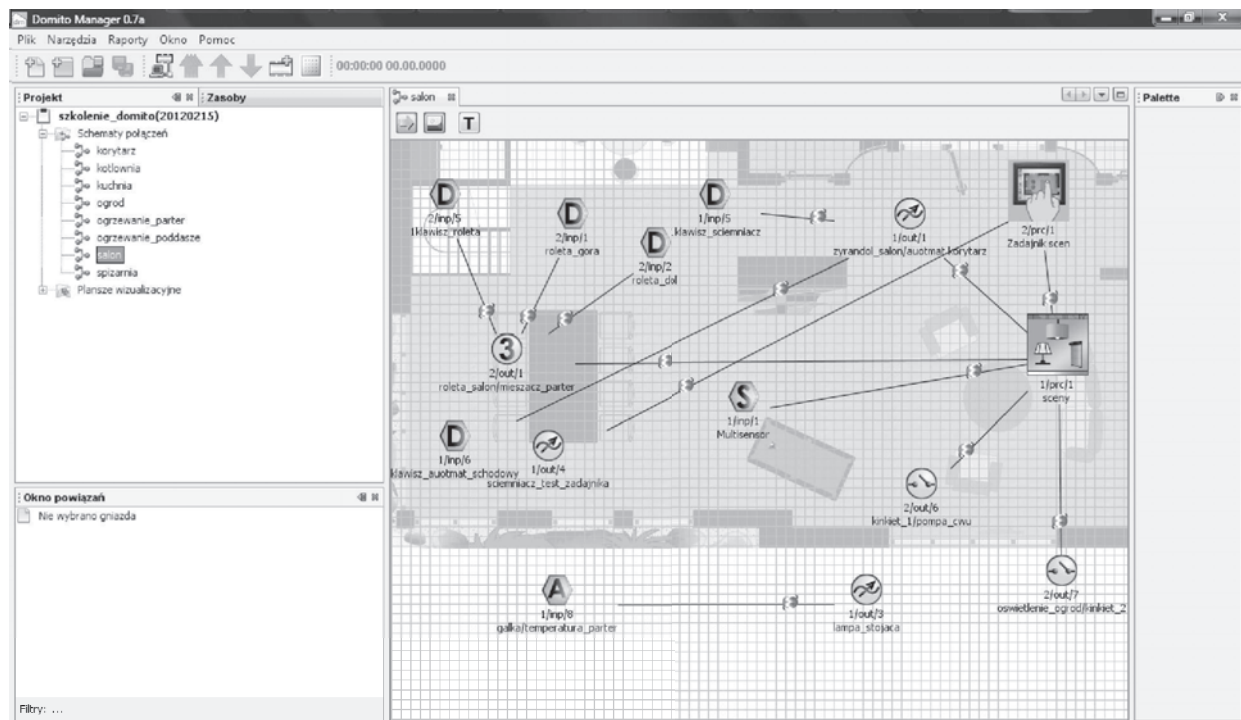
Rys. 4. Moduł przekaźnika DBW – 91003[10]

Fig. 4. Relay module DBW – 91003 [10]

mu można wygenerować „Domito Live” będącą aplikacją przeznaczoną dla paneli dotykowych/ tabletów i służącą do sterowania systemem Domito w domu.

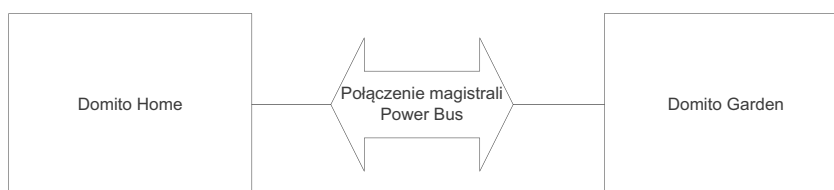
Program zawiera bogatą pomoc zawierającą omówienie wszelkich aspektów instalacji Domito (informacje o systemie Domito, informacje dotyczące elementów systemu, obsługa programu Domito Manager).

Na poniższym rysunku pokazane jest okno główne programu wraz z przykładową instalacją skonfigurowaną w programie Domito Manager.



Rys. 5. Główne okno programu Domito Manager [10]

Fig. 5. The main window of Domito Manager [10]



Rys. 6. Schemat blokowy połączenia systemów

Fig. 6. The block diagram of a link between Domito Home and Domito Garden

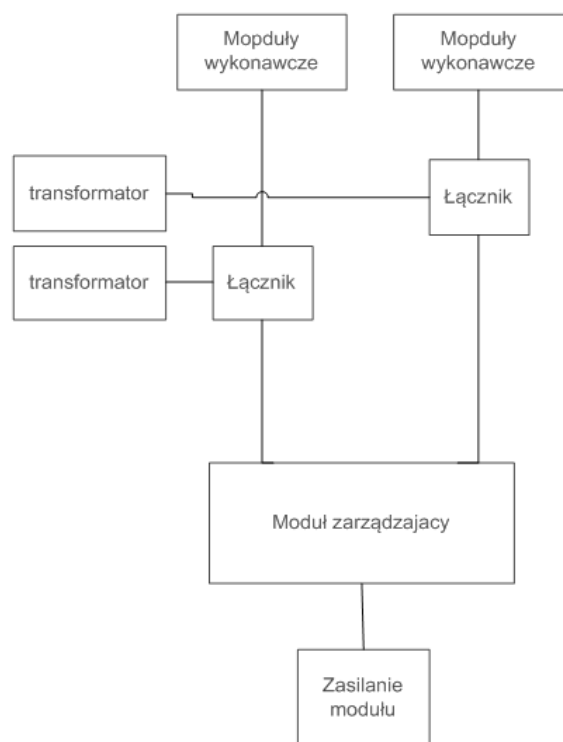
Natomiast instalacja inteligentnego ogrodu jest zintegrowana z systemem budynkowym zgodnie ze schematem blokowym przedstawionym na Rys. 5.

Schemat blokowy instalacji inteligentnej w siedlisku został natomiast przedstawiony na Rys. 7.

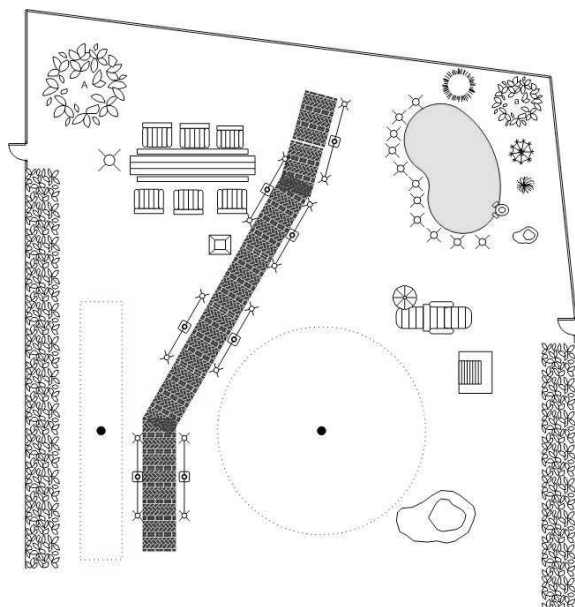
Na rysunku 8 została przedstawiona wizualizacja ogrodu w siedlisku z rozmieszczeniem oświetlenia i urządzeń przewidzianych do zarządzania przez system inteligentnego ogrodu. Na rysunku nie zostały naniesione przewody instalacji, ponieważ znacząco zmniejszyłoby to jego czytelność. W przedstawionym ogrodzie zostały umieszczone dwa zraszacze z elektrozaworami sterowane za pomocą modułów DG-MSL-120. Wzdłuż ścieżki znajduje się oświetlenie zasilane z sieci 230 V sterowane modułami DG-MSL-140. Przy stole ogrodowym znajdują się dwa źródła światła 230 V sterowane również tym modulem.

## PODSUMOWANIE

Przedstawione w niniejszym artykule rozwiązanie integracji instalacji zarządzających energią w siedlisku jest próbą wprowadzenia energooszczędnego rozwiązania w warunkach wiejskich jednocześnie do budynków mieszkalnych



Rys. 7. Schemat blokowy instalacji w siedlisku  
Fig. 7. The block diagram of the system in habitat



Rys. 8. Schemat blokowy instalacji inteligentnej w ogrodzie  
Fig. 8. The block diagram of the intelligent system in a garden

i gospodarczych. Jest to rozwiązanie, które może być „szyte na miarę”, tzn. być rozwijane w miarę rosnących potrzeb użytkowników oraz ich zasobności. Wybrany system inteligentny Domito Home i Domito Garden jest obecnie najlepszą polską alternatywą dla drogiej systemów zagranicznych. Oferuje podobne możliwości zarządzania instalacjami w budynkach siedliska i ogrodem, a dzięki możliwości zdalnego dostępu jest liderem w systemach ogrodowych. Dzięki łatwemu montażowi komponentów systemu oraz zastosowaniu niskiego napięcia zasilania magistrali Power Bus nawet oso-

by bez uprawnień elektrycznych mogą w bezpieczny sposób wykonać prostą instalację opartą o moduły wykonawcze zasilające oświetlenie lub urządzenia o napięciu roboczym 12 V. Dalsza rozbudowa instalacji może polegać na podłączeniu do istniejącej magistrali Power Bus przewodu DG-03.1 i kolejno rozbudowę o następne moduły wykonawcze aż do osiągnięcia limitu 100 modułów w dwóch liniach.

W zależności od ilości modułów reakcja na polecenia wydawane może się zmieniać. Im więcej modułów tym czas oczekiwania na zadziałanie się wydłuża. Przy czym nie ma znaczenia, w jakich proporcjach są rozmieszczone moduły (na jednej linii 10 na drugiej 90) wraz z zwiększaniem rozmiaru sieci czas się wydłuża.

#### LITERATURA

1. **Boyarchuk V., Sidorchuk A., Tatimir A. 2006:** Appointment of the basic task of power for rural users providing project management. *Motrol*, 8A, 59-63.
2. **Buczaj M. 2009:** Integracja systemów alarmowych i systemów zarządzających pracą urządzeń w budynku mieszkalnym. *Zabezpieczenia* nr 4, 64-68.
3. **Buczaj M., Sumorek A. 2010:** Wirtualny system nadzoru sterujący pracą systemu sygnalizacji włamania i napadu. *Motrol*, 12, 46-53.
4. **Horyński M. 2010:** Reasonable energy management in an intelligent building. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN*, t. 10C, 87-94.
5. **Horyński M., Majcher J. 2010:** Wykorzystanie systemu otwartego do kontroli mikroklimatu w pomieszczeniach gospodarczych. *Inżynieria Rolnicza*, 7(125), 67-73.
6. **Horyński M. 2011:** Indoor climate control in EIB system: Sterowanie klimatem pomieszczeń w systemie EIB, *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN*, t. 11, 114-122.
7. **Jabłoński, W. 2007:** Wymagania stawiane instalacjom elektrycznym w gospodarstwach rolnych i ogrodniczych – nowelizacja przepisów. *Elektro Info*, nr 3, 84-89.
8. **Krakoviak, S. 2002:** Ocena stanu instalacji elektrycznych na wsi i środki przeciwdziałania ich degradacji. *Wiadomości Elektrotechniczne*, R. LXX, nr 10-11, 434-435.
9. **Markiewicz H. 2008:** Instalacje elektryczne. WNT, Warszawa.
10. MCD Electronics 2011, Materiały producenta na temat systemu Domito, Żywiec.
11. **Mikulik J. 2008:** Europejska Magistrala Instalacyjna. Rozproszony system sterowania bezpieczeństwem i komfortem. Bibliotek COSIW SEP, Warszawa.
12. **Mikulik J. 2008:** Wybrane zagadnienia zapewnienia bezpieczeństwa i komfortu w budynkach. Redakcja Uczelnianych Wydawnictw Naukowo – Dydaktycznych AGH, Kraków.
13. **Niezabitowska E. (red.) 2010:** Budynek inteligentny. Potrzeby użytkownika a standard budynku inteligentnego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
14. **Niezabitowska E. (red.) 2010:** Budynek inteligentny. Podstawowe systemy bezpieczeństwa w budynkach inteligentnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

15. **Petykiewicz P. 2001:** EIB. Nowoczesna instalacja elektryczna w inteligentnym budynku. Biblioteka COSIW SEP.
16. **Pudlik M. 2005:** Principles of wind energy use as a source of energy in agriculture. Motrol, 7, 148-154.
17. **Trojanowska M., Szul T. 2006:** Modelling of energy demand for heating buildings, heating tap water and cooking in rural households. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 6A, 184-190.
18. **Trojanowska M., Szul T. 2008:** Determination of heat demand in rural communes. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 8a, 180-187.
19. **Trojanowska M., Nęcka K. 2010:** Identification of indexes describing the reliability of electric power supply to rural customers. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 10, 475-483.
20. **Wojdalski J., Drózd B. 2006:** Podstawy analizy energochłonności produkcji zakładów przemysłu rolno-spożywczego. Motrol, 8A, 294-304.

#### MODEL OF AN ENERGY EFFICIENT BUILDING SYSTEM IN AGRICULTURAL BUILDINGS

**Summary.** As a result of dynamic development of electronic technology, it is possible to introduce digital technique into the electric systems in agricultural buildings. The paper presents an analysis of the intelligent system Domito design for energy benefits resulting from the use of such installations in agricultural habitat. The aim of this study is to demonstrate the potential use of the intelligent building system in agriculture.

**Key words:** intelligent building, habitat, agriculture, installation, electrical system.

## Wyposażenie rolnictwa Polski i Białorusi w środki mechanizacji do produkcji roślinnej

Waldemar Izdebski<sup>1</sup>, Vladimir Pietrovich Miklush<sup>2</sup>, Nikolaj Nikolajevich Romaniuk<sup>2</sup>, Anatoli Semenovich Sajganov<sup>3</sup>, Jacek Skudlarski<sup>4</sup>, Stanisław Zajęc<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Zakład Zarządzania Produkcją, Politechnika Warszawska, ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa

<sup>2</sup>Belarusian University of Agriculture and Technology pr. Niezavisimosti 99, 220023 Minsk, Białoruś

<sup>3</sup>Institute of System Research in the Agroindustrial Complex of National Academy of Sciences of Belarus, ul. Kazintsy 103, 220108 Minsk, Białoruś

<sup>4</sup>Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

<sup>5</sup>Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Rynek 1, 38-400 Krosno

**Strzeszczenie.** Dokonano porównania stanu mechanizacji rolnictwa Polski i Białorusi. Rolnictwo Białorusi w odniesieniu do rolnictwa Polsce cechuje duży udział wielkoobszarowych gospodarstw rolnych. Pod względem mechanizacji na wyposażeniu rolnictwa Białorusi znajduje się zdecydowanie mniej niż w Polsce ciągników i maszyn rolniczych.

**Słowa kluczowe:** Polska, Białoruś, mechanizacja rolnictwa.

Rolnego 2010 [6], roczniki i opracowania statystyczne Polski i Białorusi oraz publikacje dotyczące stanu mechanizacji rolnictwa Polski i Białorusi.

Przeprowadzone analizy dotyczyły wyposażenia rolnictwa Polski i Ukrainy w ciągniki i wybrane środki mechanizacji w ujęciu ilościowym oraz w przeliczeniu na 100 ha UR.

### WSTĘP

Mechanizacja gospodarstw rolnych jest istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność produkcji rolniczej [16, 24]. W wyniku zmian ustrojowo – gospodarczych w latach 90-tych nastąpiły także zmiany w rolnictwie, zarówno w Polsce jak i w Republice Białorusi. Z około 2500 państwowych i kolektywnych gospodarstw istniejących na początku lat dziewięćdziesiątych w Białorusi w ciągu ostatnich 15 lat zreorganizowano lub przekształcono w różnego rodzaju spółki i przedsiębiorstwa rolne. W Polsce natomiast dominują prywatne gospodarstwa o niewielkim areale. Różnice w strukturze agrarnej pomiędzy Polską a Białorusią stanowią przesłankę do stwierdzeń, że kraje te różni stan mechanizacji rolnictwa.

Celem niniejszej pracy jest próba oceny stanu i tendencji zmian wyposażenia rolnictwa Polski i Białorusi w środki mechanizacji rolnictwa.

### MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY I ZAŁOŻENIA METODYCZNE

Źródłem danych wykorzystywanych w niniejszej pracy były opracowania zawierające wyniki Powszechnego Spisu

### CHARAKTERYSTYKA ROLNICTWA BIAŁORUSI NA TLE ROLNICTWA POLSKI

Liczba ludności w Republice Białorusi na stan 2011 roku wynosiła 9 481, 2 tys. osób, podczas gdy w Polsce wynosiła ona 38 200 tys. osób [2,21]. Ludność wiejska w Białorusi wynosi 2 358,9 tys. osób, co stanowi 24,9% mieszkańców tego kraju. Udział ludności wiejskiej w Polsce stanowił 39,1% i wynosił 14 939 tys. osób [21].

Zmiana powierzchni użytków rolnych w Białorusi od roku 2001 ma tendencję malejącą. W roku 2001 wynosiła ona 9257,7 tys. ha, natomiast w roku 2010 wynosiła 8926,9 tys. ha. W strukturze posiadania 7673,4 tys. ha użytków rolnych należy do produkcyjnych organizacji rolniczych, 924,3 tys. ha do gospodarstw przydomowych (Хозяјства населения), zaś 115,3 tys. ha do prywatnych gospodarstw farmerskich [1].

Powierzchnia gruntów ornych w Białorusi w roku 2010 wynosiła 5516,5 tys. ha z czego 4698,2 ha należało do produkcyjnych organizacji rolniczych, 682,1 tys. ha znajdowało się w użytkowaniu osób prywatnych (личных подсобных хозяйства граждан) i 85,4 tys. ha należało do prywatnych gospodarstw farmerskich [1].

W Polsce natomiast powierzchnia użytków rolnych w roku 2010 wynosiła 15,5 mln. ha i w większości należała do indywidualnych gospodarstw rolnych [6].

Podstawę rolnictwa Białorusi stanowią produkcyjne organizacje rolnicze (Сельскохозяйственные организации) funkcjonujące na zasadach gospodarki rynkowej, no z aktywnym wsparciem ze strony państwa [9]. W roku 2010 liczba produkcyjnych organizacji rolniczych wynosiła 1305 do których należało 7673,4 tys. ha gruntów rolnych [1]. Ich udział w produkcji w produkcji rolniczej w roku 2010 wyniósł 64,5% [9].

Pod względem użytkowanej powierzchni w grupie produkcyjnych organizacji rolniczych dominują organizacje produkcyjne o powierzchni od 4000 do 5500 ha, których na stan 2009 roku było 376. W tymże roku organizacji produkcyjnych o powierzchni do 3000 ha było 253, zaś o powierzchni przekraczającej 7000 ha było 191 (w tym około 20 o powierzchni 15-25 tys. ha) [8].

Liczba prywatnych gospodarstw przydomowych (личных подсобных хозяйств граждан), nie podlegających wsparciu ze strony państwa wynosiła w 2010 roku 1100 tys., a ich udział w produkcji rolniczej osiągnął poziom 34,5%, głównie w produkcji ziemniaków i warzyw. Powierzchnia tego typu gospodarstw nie przekracza 1 ha [10].

W okresie 2001–2008 w Republice Białorusi powstało 5796 gospodarstw farmerskich z których 60% (3,8 tys.) przerwało swoją działalność [10]. Liczba gospodarstw farmerskich w Białorusi w roku 2010 wynosiła 2412 i jak wykazują analizy statystyczne od roku 2007 ma tendencję rosnącą. Czynną działalność produkcyjną realizowało 1858 gospodarstw farmerskich. Gospodarstw farmerskich w których główna produkcja była związana z produkcją rolną w roku 2010 było 1746. Jak wykazują statystyki w roku 2010 w gospodarstwach farmerskich pracowało 7 756 osób. Udział wielkości produkcji w gospodarstwach farmerskich do produkcji ogółem we wszystkich typach gospodarstw wynosił 1%. Głównym kierunkiem produkcji w gospodarstwach farmerskich jest produkcja roślinna. Stanowi ona 85,4% wielkości produkcji rolniczej w tych gospodarstwach [1]. Średnia powierzchnia gospodarstw farmerskich w Białorusi zmniejszyła się z poziomu 80,6 ha w roku 2005 do poziomu 61,4 ha w roku 2010 [12,13, 15, 18, 23]. W strukturze gospodarstw farmerskich w Białorusi w roku najliczniejszą grupę stanowiły gospodarstwa o powierzchni od 20 do 50 ha (29%) oraz od 50 do 100 ha (18%). Udział gospodarstw o powierzchni powyżej 100 w grupie gospodarstw farmerskich stanowił 10% [18]. Największe gospodarstwa farmerskie znajdują się w obłasti Mogilewskiej (średnia powierzchnia 97,4 ha) oraz Witebskiej (średnia powierzchnia 88 ha). Blisko 40% gospodarstw farmerskich znajduje się w rejonach Mińska i Brześcia [12]

Polskie rolnictwo w odniesieniu do rolnictwa Białorusi jest bardzo rozdrobnione. Jak wykazał PSR 2010 w liczbie 2278 tys. gospodarstw dominowały gospodarstwa o powierzchni do 5 ha, których udział w ogólnej liczbie gospodarstw wynosił blisko 70%. Udział gospodarstw o powierzchni ponad 50 w ogólnej liczbie gospodarstw wynosił jedynie 1,2%. Stąd średnia powierzchnia gospodarstw rolnych w Polsce wynosiła w roku 2010 jedynie 7,92 ha [1].

W strukturze upraw w Republice Białorusi dominują podobnie jak w Polsce zboża i rośliny strączkowe. W roku 2010 były one uprawiane na powierzchni 2580 tys. ha. Dru-

gą pod względem powierzchni jest uprawa ziemniaków, które w 2010 roku były uprawiane na powierzchni 371 tys. ha. Powierzchnia uprawy ziemniaków jak wykazują dane statystyczne systematycznie maleje. W roku 2002 w Republice Białorusi ziemniaki uprawiano na powierzchni 550 tys. ha [1]. Pomimo tego Białorus zajmuje 10. pozycję na świecie w ilości zbiorów ziemniaków (7,1 mln. ton) [9]. Rośliny pastewne łącznie z kukurydzą w roku 2010 uprawiano na powierzchni 2066 tys. ha [1].

W Polsce w roku 2010 zboża ogółem tj. zboża podstawowe z mieszankami zbożowymi oraz gryka, proso, inne zbożowe łącznie z kukurydzą na ziarno zajmowały powierzchnię 7643 tys. ha, co stanowiło 72,4% ogólnej powierzchni zasiewów, Rośliny pastewne łącznie z kukurydzą na zielonkę uprawiane były na powierzchni 900 tys. ha, co stanowiło 8,5% ogólnej powierzchni zasiewów. W porównaniu z Białorusią ziemniaki w Polsce w roku 2010 uprawiano na zbliżonej powierzchni (387 tys. ha) [6]. W Białorusi znajduje się około 16% światowych i 20% europejskich zasobów uprawy lnu [9]. Zbiory włókna lnianego w roku 2012 wynosiły 51,5 tys. ton [11].

Porównując białoruskie rolnictwo w zakresie uzyskiwanych plonów roślin można stwierdzić, że są one poza plonem ziemniaków znacznie niższe niż w Unii Europejskiej jak też niższe niż w Polsce. W odniesieniu do Polski Białorus uzyskuje porównywalne plony ziemniaków [1, 7].

Plony wybranych roślin w Polsce i Białorusi na tle wybranych krajów zestawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Plony wybranych roślin w Polsce i w Białorusi na tle Niemiec i Francji w roku 2010 [dt·ha<sup>-1</sup>]

**Table 1.** Yields of selected plants in Poland and Belarus against Germany and France in 2010 [dt·ha<sup>-1</sup>]

	Polska	Białoruś	Niemcy	Francja	Unia Europejska
Pszenica	41,1	28,9	73,1	68,8	52,6
Jęczmień	34,9	28,9	63,0	63,9	42,4
Buraki cukrowe	483,0	395,0	675,7	937,0	658
Ziemniaki	211,0	214,0	400	432	285

Źródło: Belstat 2011, GUS 2012

Source: Belstat 2011, GUS 2012

## ANALIZA STANU MECHANIZACJI W POLSCE I BIAŁORUSI

Analizę stanu mechanizacji w Białorusi na tle mechanizacji rolnictwa w Polsce ze względu na brak dostępnych danych statystycznych dotyczących wyposażenia białoruskich gospodarstw prywatnych oraz farmerskich w środki techniczne oparto na dostępnych danych statystycznych dotyczących wyposażenia technicznego Produkcyjnych organizacji rolniczych (Сельскохозяйственные организации), które stanowią podstawę produkcji rolnej w rolnictwie Białorusi. Jak wykazują analizy Instytutu Badań Systemowych przy Białoruskiej Akademii Nauk (Institute of System Research in the Agroindustrial Complex of National Academy of Sciences of Belarus) na stanie prywatnych gospodarstw

farmerskich w roku 2012 znajdowało się 3399 ciągników, 1172 samochodów ciężarowych, 425 kombajnów zbożowych, 276 kombajnów do zbioru ziemniaków i 21 siewczarni polowych.

Jak wynika z przeprowadzonych analiz rolnictwo Białorusi dysponuje znacznie mniejszym liczebnie parkiem maszynowym niż rolnictwo w Polsce co wynika w dużej mierze ze znacznie mniejszej powierzchni użytków rolniczych oraz liczby gospodarstw.

Kolejną różnicą dotyczącą mechanizacji rolnictwa obu krajów jest dynamika zmian w wyposażeniu technicznym gospodarstw. Jak w przypadku ciągników rolniczych i kombajnów zbożowych w Polsce odnotowano wzrost ich liczby, to w Republice Białoruś nastąpił spadek, szczególnie widoczny na przykładzie ciągników rolniczych. Do stanu tego w znacznej mierze przyczynia się kasacja techniki rolniczej w Republice Białoruś. Różnica pomiędzy stanem początkowym a stanem na koniec roku w danym roku kalendarzowym w liczbie ciągników w wyniku kasacji osiąga poziom powyżej 8%. W roku 2010 dla ciągników rolniczych wskaźnik ten wynosił 8,9% [1]. Jednakże w przypadku siewczarni polowych w latach 2005-2008 wskaźnik kasacji tych maszyn przekraczał poziom 25% [1].

Znaczny udział w strukturze agrarnej Białorusi gospodarstw wielkoobszarowych wpływa, że w przeliczeniu liczby ciągników i maszyn na 100 ha powierzchni poszczególnych upraw wskaźnik ten jest znacznie niższy w Białorusi niż w Polsce (tab.3).

Różnice pomiędzy stanem mechanizacji rolnictwa Polski i Białorusi dotyczą także nasycenia mocą ciągników. W okresie 2001-2009 w Białorusi odnotowano spadek

wskaźnika nasycenia mocą z poziomu 5,06 KM·ha<sup>-1</sup> UR (3,72 kW·ha<sup>-1</sup> UR) w roku 2001 do poziomu 3,94 KM·ha<sup>-1</sup> UR (289 kW·ha<sup>-1</sup>UR) w roku 2009. Największy spadek nasycenia mocą (z poziomu 5,06 do 4,01 KM·ha<sup>-1</sup> UR) odnotowano w okresie 2001-2006 [22].

W Polsce jak wykazał PSR 2002 wskaźnik nasycenia mocą ciągników wynosił średnio dla kraju 3,15 kW·ha<sup>-1</sup> UR. Najwyższą wartość (63,68 kW·ha<sup>-1</sup> UR) osiągał w gospodarstwach o powierzchni do 1 ha. W gospodarstwach o powierzchni 1-15 ha, które dominują w naszym kraju wskaźnik nasycenia mocą mieścił się w przedziale 3,16 do 17,26 kW·ha<sup>-1</sup> UR [5]. Brak nowszych danych statystycznych nie pozwala określić na jakim obecnie poziomie kształtuje się wartość nasycenia mocą polskich gospodarstw. Dostępne są wyniki badań Kapeli i in. (2010) z których wynika, że w gospodarstwach o powierzchni do 15 ha wskaźnik ten wynosił 8,69 kW·ha<sup>-1</sup> UR, zaś w gospodarstwach o powierzchni powyżej 30 ha – 4,14 kW·ha<sup>-1</sup> UR.

Jak wynika z badań Szeląg-Sikory (2012) w warunkach małoobszarowych gospodarstw rolnych wskaźnik nasycenia mocą wynosi średnio 9,05 kW·ha<sup>-1</sup> UR zaś w przypadku gospodarstw wielkoobszarowych wynosi on 1,99 kW·ha<sup>-1</sup> UR.

Jak twierdzi gro badaczy polskie rolnictwo jest dostatecznie wyposażone w środki mechanizacji. Problemem jest wiek parku maszynowego, który dla ciągników osiąga przeciętnie wartość 16-20 lat [3, 4, 17, 25, 26]. Jak wynika z badań Czarnockiego i in. (2008) na przełomie 1998-2006 średni wiek badanych ciągników wzrósł o 7 lat. Wiek użytkowanych kombajnów zbożowych jak wynika z badań Czarnockiego i in. 2011 osiąga poziom 12 – 22 lat, przy średniej 19 lat. Jak wykazują badania większy udział ciągników

**Tabela 2.** Wyposażenie rolnictwa Polski i Białorusi w ciągniki i wybrane maszyny rolnicze [sztuk].

**Table 2.** Agricultural equipment in Poland and Belarus – tractors and selected agricultural machines

	Polska		Białoruś <sup>1</sup>				
	2002	2010	2001	2006	2007	2010	2011
Ciągniki rolnicze ogółem	1 339 000	1 471 000	72 900	53 600	52 600	48 100	47 300
Kombajny zbożowe	123 000	152 000	17 100	12 800	13 300	12 200	11 400
Siewczarnie polowe	13 000	12 000	7 200	3 200	2500	3200	2600
Kombajny buraczane	32 000	28 000	758	987	1033	877	798
Kombajny ziemniaczane	81 000	80 000	3 800	1 600	1 500	1 100	1 200
Kombajny do zbioru lnu	-	-	1 800	1 300	1 300	1 000	900

<sup>1</sup> dane statystyczne dotyczą wyposażenia w Rolniczych Organizacjach Produkcyjnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS 2011, Belstat 2011

Source: authors' calculations based on data from the GUS 2011, Belstat 2011

**Tabela 3.** Ciągniki i wybrane maszyny na 100 ha poszczególnych upraw

**Table 3.** Tractors and machinery compared to 100 hectares of crop-specific

	Polska		Białoruś <sup>1</sup>		
	2002	2010	2000	2005	2010
Ciągniki rolnicze	79	95	1,5	1,2	1,0
Kombajny zbożowe	140	180	0,7	0,6	0,5
Kombajny ziemniaczane	101	206	4,1	3,5	2,3
Kombajny buraczane	107	135	1,5	1,0	0,8

<sup>1</sup> dane statystyczne dotyczą wyposażenia w Rolniczych Organizacjach Produkcyjnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie Belstat 2011, GUS 2011

Source: authors' calculations based on data from the GUS 2011, Belstat 2011

„młodszych” w strukturze ciągników ogółem notowany jest w północno-zachodniej części Polski [19].

Czarnocki i in. (2011) zauważyli, że proces starzenia się parku maszynowego w Polsce wykazuje tendencję malejącą do czego przyczynia się wsparcie finansowe gospodarstw rolnych z funduszy Unii Europejskiej.

Istotnym problemem mechanizacji rolnictwa Białorusi jest niedostateczna liczba niektórych środków mechanizacji. Dotyczy ona nie tylko prywatnych gospodarstw farmerskich z których blisko 36% nie posiada ciągników, a około 64% gospodarstw farmerskich nie posiada samochodów ciężarowych [13], ale także produkcyjnych organizacji rolniczych [22].

Jak wynika z danych udostępnionych przez Naukowo Praktyczne Centrum Mechanizacji Rolnictwa Białoruskiej Akademii Nauk (РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства») w przypadku ciągników rolniczych ilość tych pojazdów będąca na wyposażeniu białoruskich gospodarstw i organizacji produkcyjnych pokrywa zapotrzebowanie ilościowe na te pojazdy 95%. Jednakże w przypadku ciągników wyższych mocy stopień pokrycia zapotrzebowania jest niższy od 70%. Inaczej mówiąc rolnictwo Białorusi wymaga uzupełnienia stanu wyposażenia dodatkowo o ok. 16 tys. ciągników klas uciągu 2-4 oraz ok. 3 tys. ciągników klas 5 i wyżej. Niedobór ciągników o dużej mocy spowalnia proces wdrażania nowoczesnych i wysokowydajnych technologii opartych na maszynach o dużej szerokości roboczej, które zabezpieczyłyby wykonanie prac polowych w terminach agrotechnicznych.

Niedobór techniki dostrzegalny jest także w przypadku kombajnów zbożowych, których liczebność pokrywa potrzeby ilościowe w 85%. Jak w przypadku kombajnów zbożowych o niskiej przepustowości notowany jest ich nadmiar, to w przypadku wysokowydajnych kombajnów ich niedobór osiąga poziom ok. 3 300 sztuk. Podobne zjawisko dotyczy także siewkarni polowych. Zapotrzebowanie na siewkarnie o mocy powyżej 300 KM wynosi ok. 1100 sztuk. Niedobory dostrzegalne są także w przypadku pługów, agregatów uprawowych, siewników czy też pojazdów transportowych.

Jak wykazują obserwacje jest wiele przyczyn tego stanu. Jedną z nich jest brak określonej strategii wyposażenia gospodarstw w sprzęt rolniczy w wyniku czego gospodarstwa dokonywały zakupu ciągników i maszyn bez naukowego uzasadnienia i braku ekonomicznych uzasadnień. Kolejną przyczyną są ograniczone zasoby finansowe niektórych białoruskich gospodarstw.

Sposobem na uzupełnianie stanu oraz unowocześnianie parku maszynowego jest wsparcie finansowe gospodarstw ze strony budżetu państw. W Polsce rolnicy mogli korzystać z programów Unii Europejskiej takich jak PROW 2004-2006 oraz PROW 2007-2013.

Dla białoruskiego rolnictwa rząd tego kraju uruchomił Program Doposażenia Gospodarstw Techniką Rolniczą (Программа создания и оснащения сельскохозяйственных организаций республики) na lata 2005-2010, który jest kontynuowany w kolejnej edycji na lata 2011-2015. W ramach tego programu Produkcyjne Organizacje Rolnicze

**Tabela 4.** Stan wyposażenia i zapotrzebowanie na wybrane środki mechanizacji w rolnictwie Białorusi (stan na 01.01.2011).

**Table 4.** Status of the equipment and the demand for selected agricultural machinery in agricultural of Belarus (situation at 01/01/2011).

	Liczba środków będąca na wyposażeniu rolniczych organizacji produkcyjnych [sztuk]	Liczba środków niezbędna do pełnego wyposażenia rolniczych organizacji produkcyjnych [sztuk]	Zapotrzebowanie / nadwyżka środków mechanizacji [sztuk]	Stopień pokrycia zapotrzebowania [%]
Ciągniki rolnicze klasy 1-4	31 022	31 022	16 022	207
Ciągniki rolnicze klasy 2-4	12 211	28 000	-15 789	44
Ciągniki rolnicze 5 i wyżej	6 001	9 000	-2 999	67
Kombajny zbożowe o przepustowości do 10 kg/s	4 238	3 000	1 238	141
Kombajny zbożowe o przepustowości 10-12 kg/s	3 778	5 000	-1 222	76
Kombajny zbożowe o przepustowości pow. 12 kg/s	3 533	5 600	-2 067	63
Siewkarnie polowe o mocy do 300 KM	3 458	1 800	1 658	192
Siewkarnie polowe o mocy pow. 300 KM	1 097	2 200	-1 103	50

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»

Source: authors' calculations based on data from the Republican Unitary Enterprise "Scientific-practical center of the National academy of sciences of Belarus for agricultural mechanization"



(Сельскохозяйственные организации) zostały doposażone m.in. w 15 249 ciągników rolniczych, 8 340 kombajnów zbożowych, 2 287 siewczarni polowych i 7 489 samochodów ciężarowych [20].

#### PODSUMOWANIE

Rolnictwo Polski w stosunku do rolnictwa w Republice Białoruś cechuje znaczne rozdrobnienie gospodarstw. Podstawą rolnictwa Białorusi są produkcyjne organizacje rolnicze, których powierzchnia przeciętnie wynosi 3,5-5 tys. ha. W Polsce wielkość przeciętnego gospodarstwa wynosi 7,92 ha, natomiast udział gospodarstw o powierzchni pow. 50 ha wynosi 1,2%.

Wyposażenie techniczne rolnictwa Białorusi cechuje zdecydowanie niższa niż w Polsce liczba ciągników i maszyn rolniczych, która ma tendencję spadkową. Rolnictwo Białorusi odnotowuje niedobór ciągników wyższej mocy oraz kombajnów zbożowych i siewczarni polowych o wysokiej przepustowości. Niedobory te uzupełniane są w ramach wsparcia finansowego ze strony budżetu Białorusi.

#### LITERATURA

- Belstat 2011:** Selskoje hozjastvo Respubliki Belarus. Minsk
- Belstat 2013:** Belarus i strany SNG 2012 god. Minsk
- Czarnocki Sz., Turska E., Wielogórska G. 2008. Zasoby maszynowe gospodarstw, wiek i zainteresowanie zakupem nowych maszyn w gospodarstwach Polski środkowo-wschodniej. *Inżynieria Rolnicza*. 4(102): 217-223
- Czarnocki Sz., Wielogórska G., Turska E., 2011:** Wpływ niektórych czynników na wiek ciągników i maszyn rolniczych w wybranych gospodarstwach środkowo-wschodniej Polski. *Inżynieria Rolnicza* 9 (134): 15-21
- GUS 2003:** Raport z wyników Powszechnego Spisu Rolnego 2002. Warszawa
- GUS 2011:** Raport z wyników Powszechny Spis Rolny 2010. Warszawa
- GUS 2012:** Rocznik statystyczny rolnictwa. Warszawa
- Gusakov V.G., (red) 2010:** Metodicheskie rekomendacii po povyszeniju effektivnosti agrohimicheskogo obsluzivaniija selskohozjastvennyh organizacii. Minsk: Instytut Sistemnyh Issledovanij v APK NAN Belarusi.
- Internet1: Struktura selskogo hozjastva v Belarusi. <http://www.novabelarus.com/articles/ekonomika-belarusi.html> (stan z 06.03.2013)
- Internet2: Selskoje hozjastvo v Belarusi. <http://aw.belal.by/russian/prof/prof.htm#Production> (stan z 06.03.2013)
- Internet3: Valovoj sbor osnovnyh selskohozjastvennyh kultur. <http://belstat.gov.by/homep/ru/indicators/regions/12.php> (stan z 06.03.2013)
- Internet4: Effektivnost dejatelnosti fermierskich hozjastv v Respublikie Belarus. <http://csl.bas-net.by/xfile/agroeco/2009/9/8s32c.pdf> (stan z 06.03.2013)
- Internet5: Fermery na skamiejkie zapsnyh. <http://agriculture.by/?p=2210> (stan z 07.03.2013)
- Kapela K., Jablonka R., Piszczatowska K., 2010:** Analiza wyposażenia w ciągniki rolnicze wybranych gospodarstw specjalizujących się w produkcji mleka. *Inżynieria Rolnicza* 1 (119): 251-255
- Kazakievich A., 2009:** Sostajanije i effektivnost funkcionirovaniija fermierskich hozjastv. *Agrarnaja Ekonomika* 9: 30-36
- Kowalski S., 2005:** Poziom kosztów i efektywność mechanizacji w wybranych gospodarstwach Polski i Niemiec. *Inżynieria Rolnicza* 6: 369-375
- Kruczkowski M., 2001:** Ocena parku ciągnikowego eksploatowanego w krajowym rolnictwie. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna MOTROL 2001, Lublin, 168-175
- Korbut L.V. 2011:** Mechanizm povyszenija effektivnosti funkcionirovaniija krestianskich (fermerskich) hozjastv. Avtoreferat dysertacji na soiskanie uchenoj stepieni kandidata ekonomicheskich nauk. Instytut Sistemnyh Issledovanij v APK NAN Belarusi. Minsk
- Koniuszy A., 2005:** Proces eksploatacji ciągników rolniczych w gospodarstwach rolnych. *Motrol* 7: 105-113
- Marinich L.A. (red), Samosjuk V.G., Lenskij A. V., 2011:** O programie sozdaniija i osnashchenija selskohozjastvennyh organizacii Respubliki perspektivnymi mashinami i oborudovanijem. *Sovremennyje problemy osvojenija novej techniki, tehnologij, organizacii tehničeskovo servisa v APK: doklady respublikanskoj nauchno-praktičeskoj konferencii na 20-oj Miedzunarodnoj specjalirizovanoj vystavkie „Belagro -2010” g. Minsk, 10 ijunia 2010 g. / Ministerstvo selskogo hozjastva i prodovolstvia Respubliki Belarus, Respublikanskoje obiedinienije „Belagroservis”, uchrezdenije obrazovanija „Belaruskij gosudarstviennyj agaranyj tehničeskij universitet” – Minsk 2011: 7-15*
- Raport: Polska wieś 2012.** Raport o stanie wsi pod red. J. Wilkina i I. Nurzyńskiej. Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR Warszawa
- Samosjuk V.G. 2011,** internet: Sostajanije i perspektivy razvitia mechanizacii selskohozjastvennogo proizvodstva v Respublikie Belarus. Dostęp: [http://belagromech.basnet.by/img/articles/2011.07.05\\_Samosuk-sost\\_i\\_perspekt/article\\_2011\\_07\\_05.pdf](http://belagromech.basnet.by/img/articles/2011.07.05_Samosuk-sost_i_perspekt/article_2011_07_05.pdf) (stan z 07.03.2013).
- Semashko V.T (red), 2005:** Ekonomicheskaja effektivnost proizvodstva i jejo opradelenije v krestianskich i fermierskich hozjastvah Minsk: Bel. NIIEI
- Szeląg-Sikora A., 2012:** Regional differences in equipment of machinery park on farms. *TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – 2012, Vol. 12, No. 1:* 281-287
- Zajac S., Izdebski W., Skudlarski J. 2011.** Analiza polskiego rynku ciągników rolniczych i kombajnów zbożowych w latach 2004-2010. Wyd. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. *Roczniki Naukowe*, tom 13, zeszyt 1: 463-467,
- Zajac S., Izdebski W., Kusz D. 2010.** Podaż i popyt ciągników rolniczych w Polsce. Wyd. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. *Roczniki Naukowe*, tom 12, zeszyt 4: 393-397

EQUIPMENT OF POLAND AND BELARUS IN  
MECHANIZATION FOR CROP PRODUCTION

**Summary.** An analysis was made of the current status of agricultural mechanization Polish and Belarusian. Agriculture in

Belarus in relation to polish agriculture has a larger share of large-scale farms. In terms of the equipment mechanization of agriculture, Belarus is far less equipped in tractors and agricultural machinery than Poland.

**Key words:** Poland, Belarus, agriculture mechanization.

## Zagadnienie odlewania elementów ze stopu na bazie Fe-Al pracujących w podwyższonych temperaturach

Krzysztof Jaśkowiec, Waldemar Uhl

Instytut Odlewnictwa w Krakowie, Zakład Stopów Żelaza,  
ul Zakopiańska 73, 30-418 Kraków  
krzysztof.jaskowiec@iod.krakow.pl, waldemar.uhl@iod.krakow.pl

**Streszczenie.** Stopy na bazie Fe-Al wykazują cechy predysponujące je do zastosowań w podwyższonych temperaturach. Elementy pieców, rury oraz zawory, które podczas swojej pracy narażone są na działanie agresywnego środowiska, bywają wykonywane z tego tworzywa. Pojawiają się także próby wykorzystania stopu na bazie Fe-Al-Cr na elementy grzejne. Jednak zastosowanie tego materiału wiąże się z wieloma trudnościami. Część z nich została opisana w poniższej publikacji, przedstawiono kilka uwag oraz opis wytopu staliwa na bazie Fe-Al przeprowadzonego w Instytucie Odlewnictwa.

**Słowa kluczowe:** staliwo wysokoaluminowe, Fe-Al, uzysk aluminium, zawory silnika, agresywne środowisko, zastosowanie

### WPROWADZENIE

Stopy na osnowie faz międzymetalicznych FeAl i Fe<sub>3</sub>Al należą do grupy materiałów, które biorąc pod uwagę czynniki ekonomiczne mogą znaleźć szerokie zastosowanie w rozwiązaniach komercyjnych. Tworzywo to posiada bardzo dobrą odporność na utlenianie, siarkowanie, nawęglanie czy działanie soli w wysokich temperaturach, a ponadto dodatek kilku – kilkunastu procent Al obniża gęstość stopu. Wysoką granicę plastyczności tego tworzywa, do temperatury 550° C jest kolejną cechą, która może wzbudzić zainteresowanie. Badanie stopów na osnowie faz międzymetalicznych rozpoczęto na początku ubiegłego wieku, jednak w przypadku omawianych stopów na bazie Fe-Al dotychczas nie rozwiązano kilku istotnych zagadnień. Podstawowym problemem jest skłonność do pęknięcia w temperaturze otoczenia. Badania prowadzone w różnych ośrodkach naukowych wykazały, że plastyczność można zwiększyć poprzez dodatek boru, węgla i innych dodatków. Jednak parametr ten wciąż ogranicza zastosowanie tego materiału w wielu dziedzinach przemysłu. Udarność dla elementów odlewanych w stanie surowym mieści się w przedziale od 2J do 5J, natomiast przeróbka cieplno-

-plastyczna pozwala osiągnąć wynik 20J (dla stopów 2 lub 3 składnikowych) [1, 2, 3, 4, 5].

Stopy na bazie Fe-Al stosowane jako materiał odlewniczy stwarzają pewne kłopoty. Dotyczy to szczególnie lejułości oraz pęknięć odlewów na gorąco. Jednak problemy te można zmniejszyć lub zlikwidować poprzez odpowiednie prowadzenie procesu metalurgicznego. Ponadto, formy powinny być suszone lub wykonane z odpowiedniego materiału, gdyż wilgoć w formie, jak i w powietrzu wpływa niekorzystnie na właściwości odlewanych materiałów. W literaturze można odnaleźć rozwiązania pozwalające na bezpieczne topienie i uzyskanie dobrej efektywności procesu. Jednym z tych rozwiązań jest ułożenie materiału wsadowego w odpowiedni sposób, wykorzystując właściwości pola magnetycznego tworzonego przez cewkę pieca indukcyjnego. W przypadku produkcji przemysłowej istnieją dwa podstawowe problemy dotyczące topienia stopów Fe-Al [6, 7, 8]:

1. Złe rozmieszczenie wsadu powoduje, że uzyskanie odpowiedniej ilości ciekłego metalu może być utrudnione.
2. W warunkach przemysłowych dodawanie dużej ilości aluminium do stopionego metalu może być niemożliwe, gdyż nie można dopuścić do przegrzania kąpeli ze względu na powstanie negatywnych efektów, takich jak:
  - nadmierne utlenianie,
  - powstanie żużla,
  - straty energii.

Pierwszy problem można rozwiązać poprzez szkolenie personelu. W przypadku drugiego zagadnienia można zastosować metodę Exo-Melt™ [6].

Topienie opisywanego stopu w próżni sprawia, że większość problemów, takich jak: porowatość, wydłużenie, niska wytrzymałość mechaniczna w wysokiej temperaturze ulega poprawie. Literatura sugeruje, zwłaszcza przy dużej zawartości aluminium, stosowanie atmosfery argonu lub próżni. Jednak użycie pieca próżniowego lub atmosfery ochronnej powoduje podniesienie kosztów. W przypadku stopu o zawartości Al w przedziale 9–16% wag. naniesie-

nie warstwy ochronnej – osłaniającej lustro metalu – daje dobre rezultaty. Następuje wówczas znaczne zmniejszenie porowatości oraz mikropęknięć. Warstwa ochronna to zazwyczaj mieszanina chlorków i fluorków. Przykładem związku możliwego do zastosowania na warstwę ochronną jest kriolit. Należy jednak zwrócić szczególną uwagę na możliwość reagowania warstwy ochronnej z materiałem tygla, zagrożenia wynikającego ze stosowania związków niebezpiecznych dla zdrowia ludzkiego oraz pogorszenia warunków ekologicznych[9, 10, 11].

Prostą metodą ograniczenia porowatości oraz innych wad jest stosowanie:

1. suchego wsadu,
2. stosowanie dużych kawałków aluminium w celu ograniczenia powierzchni kontaktu [6].

W przedstawionym przykładzie otrzymywania odlewów wykonanych ze stopu z wysoką zawartością aluminium, prowadzonym w Zakładzie Stopów Żelaza Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, zastosowano żużel ochronny oraz zminimalizowano czas od stopienia do zalania formy poprzez bezpośrednie zalanie formy zaraz po stopieniu się wsadu i jego przegrzaniu.

#### REALIZACJA WYTOPÓW STALIWA NA BAZIE FE-AL

W czasie prac realizowanych w Instytucie Odlewnictwa brano pod uwagę konieczność zastosowania metod pozwalających na uzyskanie końcowego efektu, jakim był zestaw w pełni funkcjonalnych łopatek pracujących w wysokich temperaturach.

**Tabela 1.** Skład chemiczny stopu na odlewy łopatek  
**Table 1.** The chemistry composition of the vanes

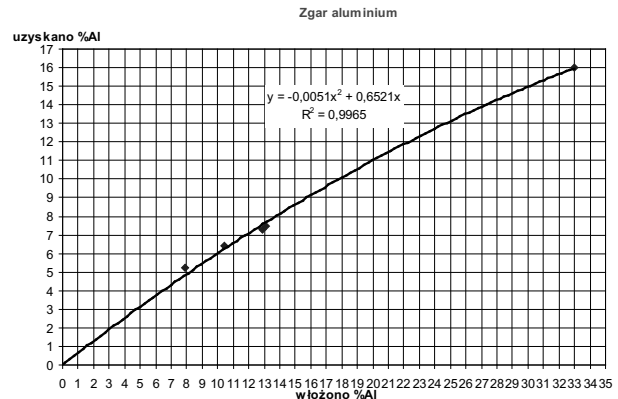
C	Cr	Mo	Zr	Al	Fe
%, wag.					
0,3	5,06	1,87	0,18	8,40	reszta

Wstępne wytopy zostały przeprowadzone dla określenia zgaru aluminium i cyrkonu w interesującym nas stopie oraz w celu pobrania próbek do badań właściwości fizykochemicznych stopu o założonym składzie chemicznym. Określenie parametrów fizykochemicznych było niezbędne do wykonania symulacji komputerowej procesów zalewania i krzepnięcia.

**Tabela 2.** Zakładany skład chemiczny wytopów próbnych  
**Table 2.** The hypothesis chemistry composition of the sample cast iron

C	Cr	Mo	Zr	Al	Fe
%, wag.					
0,3	5,10	1,90	0,2	X	reszta

Dodatek aluminium (X) do prób był zróżnicowany i wynosił odpowiednio: 8, 10, 12 i 33 %wag. Wytopy rozpoczęto od stopienia materiału wsadowego będącego bazą stopu, zmianie ulegała zawartość aluminium, które było dodawane zgodnie z informacjami zawartymi powyżej.



**Rys. 1.** Wykres zgaru wprowadzonego aluminium

**Fig. 1.** Graph yield aluminium

Wykres ten umożliwił właściwy dobór ilości dodatku aluminium do wytopu, celem uzyskania określonej zawartości tego pierwiastka dla ustalonego w tym przypadku procesu topienia. Zrealizowano także pomiar zawartości tlenu i gazu dla wybranych wytopów. Wyniki pomiaru tych gazów przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Zawartość gazów w stopie

**Table 3.** The content of the gases in castings

Wytopy w których zrealizowano pomiar gazu	Zawartość pierwiastka w % wag.,	
	tlen	azot
00/4	0,050	0,0020
01/4	0,033	0,0030

Badanie wytrzymałości na rozciąganie w temperaturze otoczenia, przeprowadzone w certyfikowanym laboratorium badawczym Instytutu Odlewnictwa i wynosiła: 184 MPa.

#### TECHNOLOGIA FORMY

Określono rodzaj materiałów na formy, do których ma być odlewany przedmiotowy stop dla otrzymania odlewów o możliwie najlepszej jakości.

Zastosowano cztery rodzaje mas formierskich:

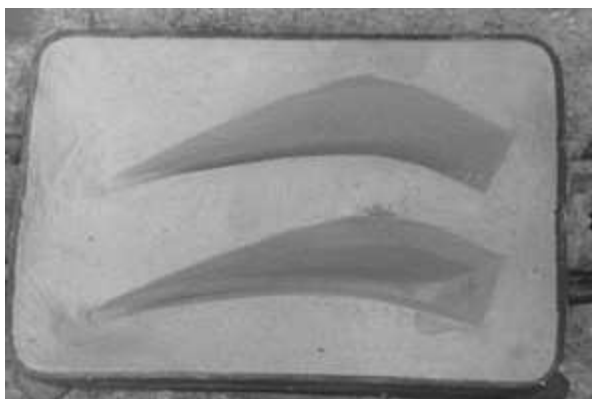
- bentonitowa,
- furanowo-formaldehadowa,
- na szkle wodnym,
- żywiczna.

Przeprowadzone próby topienia i zalewania do form wykonanych z powyżej wymienionych mas umożliwiły właściwy dobór technologii formy.

Zdecydowano, że formy podstawowe wykonane będą z masy z wykorzystaniem żywicy Eco 2000. Na wybór masy formierskiej duży wpływ miała przeprowadzona symulacja komputerowa, która wykazała konieczność zastosowania formy z tzw. fałszywką (rys. 2).

#### WYKONANIE ODLEWU

Do zimnego pieca wprowadzono podstawowe materiały wsadowe, wstępnie wygrzane, izolujący żużel nanoszony na



**Rys. 2.** Falszywka odlewnicza  
**Fig. 2.** Casting mould

ciekły metal składał się z mieszaniny wyprażonych: piasku kwarcowego i wapna. Kąpiel podgrzano do temperatury 1620°C, ściągnięto żużel i dodano aluminium. Dodanie Al do kąpeli spowodowało obniżenie temperatury. Po ustabilizowaniu temperatury na poziomie 1580°C dodano Fe-Zr.

Metal spuszczano bezpośrednio do przygotowanych wcześniej form umieszczonych na wózku widłowym.

Przed spustem metalu do formy zalano kokilę miedzianą celem otrzymania próbki do badania składu chemicznego oraz formę umożliwiającą określenie przebiegu krzywych stygnięcia. Pomiar prowadzono przy pomocy wielokanałowego rejestratora MrAC -15 z czujnikiem termoparowym typu B.

Z jednego wytopu zalewano jedną formę, z której uzyskiwano dwa odlewy łopatek. Wykonano pięć wytopów przedmiotowego stopu, z których uzyskano sześć odlewów łopatek przeznaczonych do eksploatacji, dwa do badań laboratoryjnych oraz dwa odlewy uznano za wadliwe.

Zalana forma odlewnicza po wystygnięciu była wybijana, a następnie odcinane były układy wlewowe i nadlewy. Na rysunku 3 przedstawiono odlew wraz z układem wlewowym i nadlewem.

Odlewy były poddawane badaniom jakościowym, tj. wizualnej ocenie zewnętrznej powierzchni oraz w przypadku pozytywnej oceny, badaniom rentgenowskim. Prawidłowo wykonane odlewy podano badaniom rentgenowskim, po wcześniejszym ich szlifowaniu.



**Rys. 3.** Odlew wraz z układem wlewowym i nadlewem po oczyszczeniu z masy  
**Fig. 3.** Casting with rise and feeding system after cleaning

**Fig. 3.** Casting with rise and feeding system after cleaning

Odlewy łopatek przekazano do badań eksploatacyjnych.

## MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA STOPÓW NA BAZIE STOPU FE-AL

Intensywne badania doprowadziły do pojawienia się coraz to nowych patentów oraz prób zastosowania stopów na podstawie faz FeAl i Fe<sub>3</sub>Al w przemyśle samochodowym. Elementy wykonane z badanego stopu pracują zazwyczaj w podwyższonych temperaturach. Dlatego patenty często dotyczą komór spalania, gdzie omawiany stop może być na przykład stosowany jako siedzisko zaworu lub elementy wtryskiwacza paliwa. Prowadzone są także próby wykonania tarcz oraz klocków hamulcowych. Zawory ssące i wydechowe, katalizatory oraz kolektory wydechowe są również szczególnie często wskazywane jako elementy docelowe dla tego tworzywa [12, 13, 14, 15, 16].



**Rys. 4.** Element wtryskiwacza paliwa wykonane na bazie stopu Fe-Al [12]

**Rys 4.** Fuel injector component made with Fe-Al alloy [12]

Stopy na podstawie faz Ti<sub>3</sub>Al, TiAl, NiAl, FeAl, Fe<sub>3</sub>Al są wykorzystywane do produkcji elementów silnika odrzutowego, części konstrukcyjnych, zębatek (rysunek 5) itp. Jednak pod względem ekonomicznym szczególnie wyróżniają się tu stopy na podstawie fazy FeAl, Fe<sub>3</sub>Al [17].



**Rys. 5.** Części helikoptera wykonane na bazie stopu Fe-Al [17]  
**Fig. 5.** Helicopter components made with Fe-Al alloy [17]

Badania rozpoczęte w latach 30 XX wieku prowadzone z różną intensywnością doprowadziły do rozwoju technologii wytwarzania elementów na bazie Fe-Al. Odlewanie, przeróbka cieplno-plastyczna oraz metalurgia proszków są wykorzystywane do produkcji półwyrobów. Aktualnie szczególnie dynamicznie rozwija się technologia metalurgii proszków. Często wykonuje się również warstwy ochronne, wykorzystując bardzo dobrą odporność na działanie agre-

sywnego środowiska, które mogą być realizowane poprzez walcowanie blach [18, 19, 20, 21, 22].

#### WNIOSKI

1. Analiza składu chemicznego wytopów prowadzonych w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie, potwierdza słuszność zastosowanej technologii wytapiania (skład chemiczny zgodny z założonym).
2. Zawartość gazów w stopie była na stosunkowo niskim poziomie, jak na wytop realizowany na powietrzu dla tego typu stopów.
3. Temperatura końca krzepnięcia wynosiła ok. 1450°C co potwierdza możliwość zastosowania tego tworzywa.
4. Wytrzymałość na rozciąganie w temperaturze otoczenia, dla próbki nie poddanej obróbce cieplnej, osiągnęła wartość 184 MPa.

#### LITERATURA

1. **Deevi S.C., Sikka V.K. 1996.** Nickel and iron aluminides: an overview on properties, processing, and applications. *Intermetallics*, 4,
2. **Zhu S.M., Shibata K., Guan X.S. 2002.** Effect of Carbon Addition on Tribological Properties of Fe-Al Alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, Volume 33A,
3. **Shivkumar Khaple, Baligid R.G., Sankar M. 2010.** Effect of Melting Process and Aluminium Content on the Microstructure and Mechanical Properties of Fe-Al Alloys. *ISIJ International*, Vol. 50, No. 10.
4. **Z. Pirowski, J. Olszyński, A. Gwizdź. 2011.** Increasing the erosive wear resistance of selected iron alloys by mechanical strain hardening of structure. *TEKA*, vol. XI; Lublin.
5. **Pang L., Kumar K.S. 2000.** On the impact toughness of Fe-40Al-based B2 aluminides. *Intermetallics*, 8.
6. **Sikka V.K., Wilkening D., Liebetrau J. 1998.** Melting and casting of FeAl-based cast alloy. *Materials Science and Engineering*, Vol. A258.
7. **S.P. Chakraborty, I.G. Sharma, D.K. Bose. 1998.** A study on the preparation of iron aluminium based intermetallic alloy by aluminothermic smelting technique; *Journal of Alloys and Compounds* 280.
8. **Stępień K., Kupka M. 2008.** Effect of hydrogen on room-temperature hardness of B2 FeAl alloys. *Scripta Materialia*, 59.
9. **Radhakrishna A., Baligid R.G., Sarma D.S. 2001.** Effect of carbon on structure and properties of FeAl based intermetallic alloy. *Scripta Materialia*, 45.
10. **Falal L., Schneider A., Sauthoff G. 2005.** Mechanical properties of Fe-Al-M-C (M = Ti, V, Nb, Ta) alloys with strengthening carbides and Laves phase. *Intermetallics*, 13.
11. **Risanti D., Deges J., Falal L. 2005.** Dependence of the brittle-to-ductile transition temperature (BDTT) on the Al content of Fe-Al alloys. *Intermetallics* 13.
12. Valve sheet for engine, EP 1669557 A1
13. Iron aluminide fuel injector component, US 6489043 B1
14. **Shibata K., Zhu S.M., Guan X.S., Hayashi S., Iwasaki K. 2002.** A trial to apply Fe-Al intermetallic alloys to brake rotors; *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 7, Spec. is.
15. **P. J. Blau, H. M. Meyer III. 2003.** Characteristics of wear particles produced during friction tests of conventional and unconventional disc brake materials; *Wear* 255.
16. **L. Gardyński. 2005.** Selected aspects of wear of the Caterpillar drive parts; *TEKA*, Vol. V, Lublin.
17. **Zbigniew Turek. 2006.** Aeronautics related RTD activities in Poland; 19-21 June 2006, Vienna.
18. **Szkliniarz W., Hadasik E., Kościelna A. 2004.** Metal casting and rolling problems in FeAl based alloy. *Metal*.
19. **Liu C.T., George E.P., Maziasz P.J. 1998.** Recent advances in B2 iron aluminide alloys: deformation, fracture and alloy design. *Materials Science and Engineering*, A258.
20. **D.G. Morris, M. A. Munoz-Morris. 2005.** *Intermetallics: past, present and future*; *Rev. Metal*, Vol. Extr. Madrid.
21. **N.S. Stoloff. 1998.** Iron aluminides: present status and future prospects; *Materials Science and Engineering* A258.
22. **Z. Pirowski, 2011.** Application of Nickel Superalloys On Castings For Conventional Energy Equipment Items. "TEKA", vol. XIC.

#### THE ISSUE OF CAST PARTS WORKING AT HIGH TEMPERATURE OF AN FE-AL BASE ALLOYS

**Summary.** Fe-Al alloy can be useful at high temperature. Components furnace, pipes and valves, that working at aggressive environment, can make of this alloy. High resistive Fe-Al alloy it reason developing heating elements on this material. Other application is described in this paper as well as casting vanes process for this class of alloys. The influence environment, alloy elements, melting process and other problems on properties is also reviewed. **Key words:** Iron aluminides, Fe-Al, yield aluminium, valve engine, aggressive environment, application.

## Krajowe wykorzystanie surowców rolnych do produkcji biopaliw transportowych

Anna Maria Klepacka<sup>1</sup>, Jarosław Osiak<sup>2</sup>, Małgorzata Powatka<sup>1</sup>, Jacek Skudlarski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

<sup>2</sup>Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania ul. Wawelska 14, 02-061 Warszawa

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono stan wykorzystania produktów rolnych do produkcji biopaliw transportowych oraz aktualnej sytuacji na rynku biokomponentów w Polsce. Od kilku lat obserwuje się dynamiczny wzrost wykorzystania biokomponentów w transporcie. Głównym surowcem do produkcji biodiesla jest olej rzepakowy zaś w przypadku bioetanolu podstawowym surowcem są zboża.

**Słowa kluczowe:** biokomponenty, biopaliwa.

racji powstałe z produktów odpadowych, czy surowców lignocelulozowych (rozkład enzymatyczny) [4].

Komisja Europejska dostrzega zagrożenia ze strony biopaliw pierwszej generacji, których wzrost udziału do planowanego poziomu 10% w roku 2020 stanowić może istotny element wpływający destabilizująco na rynki surowców rolnych w Unii Europejskiej. Z najnowszej analizy IEEP (2010) dotyczącej pośredniej zmiany w użytkowaniu gruntów (ILUC) wynika, że unijny próg 10% zużycia biopaliw, spowoduje większą o 81-167% emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery właśnie poprzez zmianę przeznaczenia użytkowanej ziemi (np. karczowanie lasów pod uprawy energetyczne).

### WSTĘP

Wzrost zagrożeń środowiska naturalnego oraz deficyt surowców energetycznych to podstawowe czynniki wpływające na rozwój sektora biopaliw zarówno stałych jak i płynnych [1]. Dodawanie biokomponentów do paliw silnikowych wynikający z dyrektywy Unii Europejskiej obowiązuje nie tylko w krajach członkowskich [15,16], ale także jest stosowane w krajach stowarzyszonych z UE jak np. Ukraina [2].

W ostatnich latach w Polsce dostrzegalny jest wzrost niezwykłościowego wykorzystania surowców rolnych. Wzrost ten nie jest tak duży jak wcześniej przewidywano, gdyż do UE i Polski napływają biokomponenty z różnych kierunków geograficznych.

Zgodnie z założeniami Komisji Europejskiej w roku 2020 udział energetyczny biopaliw 1. generacji z roślin jadalnych powinien osiągnąć poziom 10%. Wg raportu IEEP (2010) w UE w 2020 r. ponad 92% (24,3 Mtoe) biopaliw wykorzystywanych w transporcie stanowić będą surowce rolne, co pokryje 8,8% całkowitego zużycie energii w transporcie. Przewiduje się, że do 2020 biopaliwa 2 generacji dostarczą tylko 0,6% (1,7Mtoe) całkowitego zapotrzebowania na energię w transporcie [13].

Pogląd na temat roli biopaliw 2. generacji zmienił się istotnie w ostatnim okresie. Jak wynika z raportu OXFAM w 2020 roku udział energetyczny biopaliw 1. generacji wyniesie 5%. Pozostałe 5% stanowić będą biopaliwa 2. gene-

### SYTAUACJA NA RYNKU BIOKOMPONENTÓW W POLSCE

W Polsce ustawa biopaliwowa narzuciła na podmioty wprowadzające paliwa do obrotu realizację tzw. Narodowych Celów Wskaźnikowych. Biopaliwa transportowe miały stać się polską specjalizacją na rynku unijnym. W Polsce przestrzegano NCW, gdyż za brak wykorzystania groziły i nadal grożą wysokie kary dla producentów paliw.

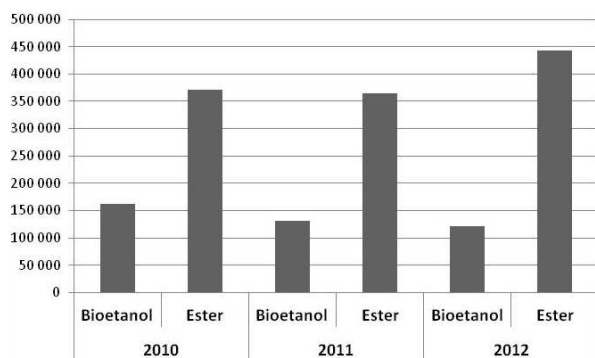
Jeszcze w 2007 r. uważano (wyniki badań projektu KE REFUEL), że Polska miała być jednym z głównych dostawców biopaliw na rynek europejski, stąd ponadwymiarowe inwestycje w zdolności produkcyjne biopaliw 1. generacji [7, 8, 9, 10].

Z punktu widzenia prawodawstwa Polski kluczowymi elementami dla rozwoju biokomponentów w transporcie są: przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 r. Krajowy Plan Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych oraz ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 roku o biokomponentach i biopaliwach ciekłych wraz z zupełnie nową ustawą o odnawialnych źródłach energii, ma stanowić pakiet implementujący do polskiego prawa przepisy Dyrektywy 2009/28/WE.

Wyrazem częściowego wdrożenia Dyrektywy 2009/28/WE jest wprowadzenie od lutego 2012 roku do sprzedaży na terenie Polski oleju napędowego z maksymalnie 7% udziałem estrów metylowych (B7).

Wprowadzenie w roku 2012 na rynek paliwa B7 spowodowało wyraźny wzrost sprzedaży estrów metylowych i spadek sprzedaży bioetanolu [5]. Z danych Urzędu Regulacji Energetyki w trzecim kwartale 2012 roku ogólna sprzedaż biokomponentów wyniosła ok. 180 000 Mg w tym: sprzedaż estrów metylowych ok. 150 000 Mg, a bioetanolu ok. 32 000 Mg. Dla porównania w trzecim kwartale 2011 r. sprzedano ogółem ok. 108 000 Mg biokomponentów w tym ok. 85 000 Mg estrów metylowych oraz 23 000 Mg bioetanolu [5].

Zestawienie ilości wytworzonych biokomponentów w latach 2010-2012 przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ilość biokomponentów wytworzonych przez ogół wytwórców w latach 2010-2012 [Mg]\*

Fig. 1. The volume of biofuels produced by all manufacturers between 2010 and 2012 [Mg]\*

\*Dane z roku 2012 obejmują okres od I do III kwartału

\*The 2012 figures cover the first three quarters of the year

Źródło: opracowanie własne na podstawie URE

Source: authors' calculations based on URE

Jak wynika z danych z Rejestru Wytwórców Agencji Rynku Rolnego w roku 2011 wykorzystanie zdolności produkcyjnych w przypadku wytwórców bioetanolu wyniosło zaledwie 21,83% zaś wytwórców estrów metylowych 42,62%.

Według szacunków Krajowej Rady Gorzelnictwa i Produkcji Biopaliw, liczba działających czynnie gorzeln rolniczych w kraju spada systematycznie już od kilku lat. Jak wynika z danych MRiRW w roku 2010 spirytus produkowały 202 gorzelnie, zaś w roku 2011 liczba czynnie działających gorzeln wynosiła 173 [14]. W odniesieniu do roku 2004, kiedy to alkohol produkowały 342 gorzelnie jest to spadek o ok. 50%. Stan ten odzwierciedla trudną sytuację gorzeln, wynikającą z niskiej opłacalności produkcji spirytusu, którą dodatkowo pogarsza import tańszego spirytusu surowego z zagranicy w tym z krajów spoza obszaru UE (USA, Brazylia).

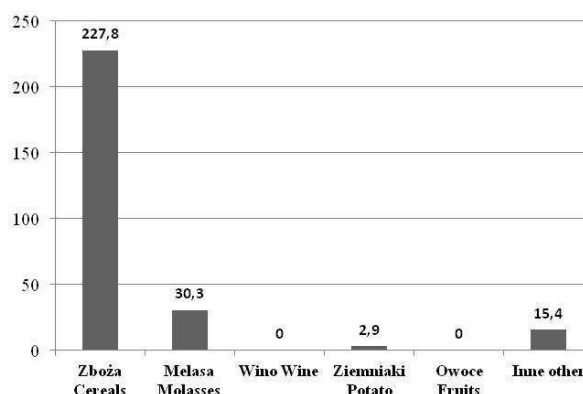
#### WYKORZYSTANIE SUROWCÓW ROLNYCH DO PRODUKCJI BIOPALIW

W Polsce główną rośliną przeznaczoną do produkcji estrów metylowych (biodiesla) jest rzepak, którego docelowy areal w roku 2020 ma wynosić 1,5 mln. ha z czego

większość ma być przeznaczona na produkcję biopaliw [11], przy założeniu że cele 10% realizowane będą przez 1. generację biopaliw.

W roku 2011 do wytworzenia biodiesla wykorzystano 355 616,7 Mg oleju rzepakowego, podczas, gdy nasion rzepaku wykorzystano zaledwie 205 Mg. Spośród innych surowców rolnych do produkcji biodiesla wykorzystano 4 029 Mg tłuszczów roślinnych oraz 2 458 Mg tłuszczów zwierzęcych (Dane ARR za rok 2011).

Do produkcji bioetanolu mogą być wykorzystane różne surowce roślinne: zboża, ziemniaki, buraki cukrowe, melasa oraz inne produkty odpadowe bogate w cukry. Z danych MRiRW, wynika, że największy udział w strukturze surowców do produkcji alkoholu etylowego stanowią zboża, w dalszej kolejności melasy, będący produktem ubocznym powstającym w cukrowniach (rysunek2).



Rys. 2. Produkcja alkoholu etylowego w gorzelniach z poszczególnych surowców w roku 2011 [tys. ton]

Fig. 2. Distillery production of ethanol from various raw materials in 2011 [1,000 tons]

Źródło: RRRW-28 – sprawozdanie kwartalne o produkcji, zapasach i rozdysonowaniu alkoholu etylowego – MRiRW

Source: RRRW-28 – Quarterly report on production, inventory and disappearance of ethanol – MRiRW

Udział alkoholu etylowego wytworzonego ze zbóż w całkowitej ilości etanolu w roku 2011 stanowił ok. 82%, z melasy ok. 11%, z ziemniaków 1% a z innych surowców 5,5% (Dane MRiRW).

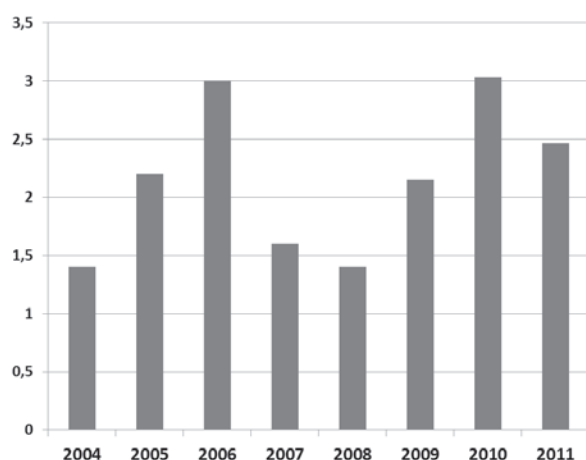
W roku 2011 w odniesieniu do roku 2010 produkcja alkoholu z melasy wzrosła o ok. 8 mln. litrów. Można to tłumaczyć większą podażą tego produktu w wyniku wyższych zbiorów buraków cukrowych na co wpływ miały korzystne warunki pogodowe. Niższy udział melasy w produkcji alkoholu wynika z faktu, że jest to produkt bardzo poszukiwany do czego przyczynia się spadek liczby cukrowni a także wykorzystanie melasy do produkcji drożdży oraz pasz dla zwierząt.

Produkcja zbóż w Polsce według danych GUS w latach 2004-2011 kształtowała się na poziomie 26,8 – 29,6 mln. Mg. W wymienionym okresie do produkcji alkoholu etylowego rocznie wykorzystywano od 405 do 824 tys. Mg. zbóż. W roku 2011 wykorzystano 661 tys. Mg ziarna, co stanowiło 2,47% ogólnej produkcji zbóż w kraju i 22% w zbożach przeznaczonych na cele przemysłowe- nieżywnościowe. Najwyższy udział zbóż przeznaczonych na bioetanol w zbo-



zach na cele nieprzemysłowe (34-46%) odnotowano w latach 2005-2006.

Udział zbóż wykorzystanych do wytwarzania alkoholu w produkcji zbóż ogółem w latach 2004-2011 przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Udział zbóż wykorzystanych do wytwarzania alkoholu w produkcji zbóż ogółem w latach 2004-2011 [%]

Fig. 3. The share of grains used for ethanol production in total grain production in the period 2004-2011 [%]

Źródło: opracowanie własne na podstawie MRiRW

Source: authors' calculations based on data from the Ministry of Agriculture and Rural Areas

Zmienność ilości wykorzystania zbóż do produkcji alkoholu etylowego można wiązać z ceną rynkową zbóż. Wysoki poziom cen zbóż jest jednoznaczny z gwałtownym wzrostem kosztów wsadu surowcowego do produkcji etanolu w wyniku czego gorzelnie zmuszone są do poszukiwania innych surowców. W wyniku niemożliwości przekwalifikowania się na inny surowiec wiele gorzelnii zaprzestało działalności. Wg Związku Gorzelników polska produkcja etanolu ze zbóż przestaje być opłacalna, jeśli cena ziarna przekracza poziom 750 zł/Mg.

Spadek zużycia zbóż do produkcji alkoholu etylowego w latach 2007-2008 jak i w roku 2011 można tłumaczyć wzrostem ich cen zarówno w Polsce jak na rynkach UE. W wymienionym okresie ceny pszenicy przekroczyły poziom 250 EUR/Mg [6].

Wg danych MRiRW w strukturze wykorzystania zbóż i rzepaku w roku 2007 przeznaczonych do produkcji biokomponentów 1. generacji surowce na bioetanol stanowiły 1,66%, zaś surowce na biodiesel 17,25%. MRiRW przewiduje, że w roku 2020 udział ten osiągnie odpowiednio: 6,91% dla surowców na bioetanol i 74,98% dla surowców na biodiesel, co dotyczy warunku realizacji 10% energii z biopaliw transportowych w 2020 r. w oparciu wyłącznie o 1. generację biopaliw transportowych.

#### PODSUMOWANIE

Od kilku lat w Polsce obserwuje się dynamiczny wzrost wykorzystania biokomponentów w transporcie, co było spowodowane wejściem w życie ustawy z dnia 25 sierpnia

2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw.

Wprowadzenie od roku 2008 obowiązku zapewnienia określonego udziału biokomponentów w rynku paliw transportowych (tzw. Narodowego Celu Wskaźnikowego – NCW) spowodowało wzrost udziału biokomponentów w rynku paliw transportowych. W 2007 roku udział ten wyniósł zaledwie 0,68%, natomiast już w pierwszym roku funkcjonowania obowiązku (tj. w roku 2008) wzrósł on do poziomu 3,66%. Dzięki temu zaplanowany na 2011 rok poziom NCW został przekroczony i wyniósł 6,24% [12].

Polska dysponuje znacznym potencjałem produkcyjnym bioetanolu i bioestrów, przekraczającym potrzeby rynku krajowego. Jednakże w roku 2011 wykorzystanie zdolności produkcyjnych dla wytwórców bioetanolu osiągnęło poziom zaledwie 21,83%, zaś dla wytwórców bioestrów 42,62%. Istotnym zagrożeniem dla gorzelnii jest import taniego spirytusu z zagranicy.

Wprowadzenie w roku 2012 na rynek paliwa B7 spowodowało wyraźny wzrost sprzedaży estrów metylowych i spadek sprzedaży bioetanolu. Podstawowym surowcem rolniczym stosowanym do wyrobu alkoholu etylowego są nadal zboża (ok. 82% w 2011 r.). Innymi surowcami wykorzystywanymi do produkcji alkoholu jest melas z buraków cukrowych (ok. 11%) oraz skrobia ziemniaczana (ok. 1%).

#### LITERATURA

1. **Bocheński C. I., Bocheńska A., 2008:** Ocena zasobów ropy naftowej i perspektywy jej substytucji biopaliwami. MOTROL 10: 23-30
2. **Cherevko G., 2007:** Perspektyvy proizvodstva i ispolzovanija ekologicheskogo topliva v selskom hozjastvie Ukrainy. MOTROL 9: 40-48
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23.04.2009 w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
4. Internet1: European biofuel targets contributing to global hunger, says Oxfam. <http://www.guardian.co.uk/global-development/2012/sep/17/european-biofuel-targets-contributing-global-hunger> (stan z 22.01.2013)
5. Internet2: Bytniewska A., 2013: W III kwartale 2012 r. wzrosła sprzedaż biokomponentów. [http://nafta.wnp.pl/w-iii-kwartale-2012-r-wzrosla-sprzedaz-biokomponentow,187087\\_1\\_0\\_0.html](http://nafta.wnp.pl/w-iii-kwartale-2012-r-wzrosla-sprzedaz-biokomponentow,187087_1_0_0.html) (stan z 28.01.2013)
6. **Hamulczuk M., Klimkowski C., 2011:** Zmienność cen pszenicy w Unii Europejskiej. Problemy Rolnictwa Światowego T11 (26) z. 4: 77-87
7. **Kupczyk A., Ruciński D., 2009:** Korzyści wynikające z zastosowania biopaliw paliwami 2. generacji. Czysta Energia nr 12
8. **Kupczyk A., Borowski P., Powalka M., Ruciński D., 2011a:** Biopaliwa transportowe w Polsce. Stan aktualny i perspektywy. Wydawnictwo WEMA, Warszawa,
9. **Kupczyk A., Wasiak G., Madej M., Osiak J., 2011b:** Biopaliwowe problemy Unii Europejskiej. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny nr 4

10. **Kupczyk A., Wasiak G., Madej M., Osiak J., 2011c:** Biopaliwa transportowe na świecie i w Unii Europejskiej. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* nr 12: 6–16
11. **Pepliński B., 2009:** Agrobiznes. Podstawy ekonomiki. WSiP, Warszawa
12. **Polska 2012.** Raport o stanie gospodarki. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa str. 163
13. **Raport IEEP, 2010.,** Anticipated Indirect Land Use Change Associated with Expanded Use of Biofuels and Bioliquids in the EU – An Analysis of the National Renewable Energy Action Plans. Dostępny w internecie: [http://www.otop.org.pl/uploads/media/biopaliwa\\_kretschmer.pdf](http://www.otop.org.pl/uploads/media/biopaliwa_kretschmer.pdf) (stan z 12.01.2013)
14. Sprawozdania RRW-28: Sprawozdanie kwartalne o produkcji, zapasach i rozdysponowaniu alkoholu etylowego. MRiRW (okres 2004-2011)
15. **Wasilewski J., 2006:** An analysis of smoke emissions from a rape biofuel fed tractor engine. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 6: 169–174
16. **Wcisło G., Strzelczyk M., 2012:** Application of chromatography to the analysis of quality of RME type biofuels obtained from pure, fresh rapeseed oil and from the waste (previously fried) oil of the same origin. *TEKA. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE – Vol. 12, No. 2:* 269–272

THE UTILIZATION OF DOPMESTIC  
AGRICULTURALFEEDSTOCK  
FOR TRANSPORTACION BIOFUEL PRODUCTION

**Summary.** The study presents agricultural feedstock utilization in biofuel production and the current situation on Poland's bio-component market. The use of bio-components in transportation has experienced a rapid growth in recent years. Rapeseed is the primary source of biodiesel, while grains are used primarily in bio-ethanol production.

**Key words:** biocomponents, biofuels.

## Mathematical approaches of alternative types of land use determination for well-proportioned development of rural areas

*Oleksandra Kovalyshyn, Nadya Kryshenyk*

Lviv National Agrarian University

Dublany, str. V. Velyukogo 1

**Summary.** Systemic crisis and the decline of rural areas lead to a decrease in the level of life of rural population, the decrease in agricultural production. This number of problems determines the ways of rural development.

Based on a comprehensive approach and combining three components, environmental, economic and social, we have proposed the methodical approach of the main trends of land use development in rural areas by an example of Berehiv district the Transcarpathian region. It is expected to achieve an optimal balance between economically feasible and environmentally safe uses of land and to facilitate the economic increase of the material and social needs of the population (sustainable development). This technique is based on the analytic hierarchy process, which was developed by Thomas L. Saaty. Calculations were made with the help of the Mathcad software environment 14.

**Key words:** rural areas, land use, trend of development, the method of Saaty.

### ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

Works of scientists like D. Babmindra, I. Bystriakov, S. Bulyhin, V. Holian, A. Danylenko, D. Dobriak, A. Dorosh, A. Kanash, A. Martyn, H. Loiiik, L. Novakivskyi, S. Osypchuk, P. Rusnak, A. Tretiak, M. Stupen, A. Sokhnych, P. Sabluk, M. Khvesyk, V. Trehobchuk, M. Fedorov, and others were dedicated to the problems of land use studying in rural areas in view of their rational use and protection. However, the peculiarities of land use are not fully described in them, particularly in the area of the Carpathians and the Transcarpathian region. An extremely wide variety of farming forms, the differentiation of natural conditions and resources, differences in the development of individual districts, as well as changes in environmental conditions require a detailed studying [16].

### PROBLEM STATEMENT

For decades rural development in our country based on the narrow specialization of the agrarian approach. This has led to the decline not only of the social infrastructure in rural areas, but also to the decline of the Ukrainian village. In the last years, the following trends in the land tenure system of our country were defined: the reformation of the land tenure system has led to a decrease in the efficiency of agricultural production, worsening in land use as the main means of production; while using the land the environmental situation continues deteriorating; there is a decline in living standards of rural residents, the demographic situation in rural areas has deteriorated sharply [2].

Systemic crisis and the decline of rural areas lead to a decline in living standards of the rural population, and the decrease of agricultural output.

This number of problems identifies the trends of rural development.

### TASK SETTING

To ensure sustainable development of economic system is an important but not well studied problem concerning rural development. This research aims at determining the trends of rural development by an example of Berehiv district the Transcarpathian region.

### THE MAIN MATERIAL

It is possible to solve problems of the economic development and people's welfare improvement only due to the development of sustainable land use in rural areas. Today the Ukrainian village is in a state of transformation caused by the development of new technologies in agriculture and structural changes in the economy of Ukraine. Currently, such problems like the employment of rural residents, en-

couraging small business development in rural areas and improvement of the rural residents' quality of life are the most vital ones. In addition, the Ukrainian village during the last decade is suffering from the poor infrastructure. To solve these and other problems of the Ukrainian village it is necessary to find realistic ways of rural development, which are based on modern approaches and principles, and place emphasis on rural development and meeting the farmers' needs. Trends of rural development of Ukraine must combine existing Ukrainian experience as well as the experience of countries which are the members of the European Union. Under modern conditions of development, there is an urgent need to develop not only strategies and programs of rural development, but also to develop and introduce effective mechanisms and tools for their implementation [5].

Based on a comprehensive approach and combining three components ( environmental, economic and social), we have proposed the methodical approach of the main trends of rural land use development by an example of Berehiv district the Transcarpathian region. It is expected to achieve an optimal balance between economically feasible and environmentally safe uses of land and to facilitate the economic increase of the material and social needs of the population (sustainable development). This technique is based on the analytic hierarchy process, which was developed by Thomas L. Saaty [19, 20, 15]. Calculations were made with the help of the Mathcad software environment 14.

The main trends of rural land use and land use forming have been determined. They concern the development of:

1. Households land tenure.
2. Land use with the recreational purpose.
3. Land use in agricultural production.
4. Land use in animal husbandry.

The criteria for assessment of the trends of development have been determined. They are:

1. Profitability.
2. Natural resource base: land, forest, water, mineral resources, landscape and biodiversity, and human potential.
3. Investment in the sphere.

Determination of the major trends and criteria for sustainable land use development is based on the analysis of the investment potential of land and natural resources use in rural areas, planning for sustainable rural development, development of institutions of civil society, the formation of a new structure of households, which will continue to be crucial in the lifestyle of farmers. The main trends of development define the land use in rural areas, leading to changes in the structure of farms. Determining the trends of sustainable land use in rural areas is based on the analysis of economic and social indicators such as profitability, resource potential and so on.

For making calculations there has been determined the score for each criterion, which shows the priority relative to each other. It should be noted that during the comparative assessment of the criteria, due to which the trends of sustainable land use in rural areas of the region are evaluated, the expert assessment has been used. The group of experts included representatives of the Department of the State Agency of Land Resources, local governments and heads of households and individual experts.

The methodical approach of Land Governance Assessment Framework – LGAF, used by the experts of the World Bank, was taken as the basis while defining the figures of indicators. Experts estimate the criteria in terms of priority of indicators: the most important – 71-100% important – 41-70%, significant – up to 40%. Table 1 shows the average scoring according to the above mentioned methodical approach.

**Table 1.** Expert assessment of the criteria

Criteria	Score
Profitability	100
Natural resource base	70
Investments in the sphere	40

According to the figures of the table we conclude that the group of experts suggests profitability as a priority criterion for sustainable land use in rural areas.

Based on individual experts reviews, which are provided in Table 1, we range factors influencing the choice of the ways of land use in rural areas. The most important criteria (factors) should be laid the greatest weight on, the most comparative assessment. To range factors according to their importance it is reasonable to attract all the information about the object of studying – the studied area, its natural, spatial, social, economic and household characteristics, and thorough analysis of this information.

According to expert assessments the pairwise comparison of factors is performed in the form of a matrix. Members of the matrix are represented as a fraction. Based on expert criteria we make up the comparative matrix of criteria (Table 2).

**Table 2.** Comparative matrix of criteria

Criteria		Profita- bility	Resource base	Investments in the sphere	$\Sigma a_i$
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
Profitability	$a_1$	1	100/70	100/40	4,929
Resource base	$a_2$	70/100	1	70/40	3,450
Investments in the sphere	$a_3$	40/100	40/70	1	1,971
$\Sigma a_j$		2,100	3,000	5,250	10,350

$$\Sigma a_i = \Sigma a_j = 10,350. \quad (1)$$

where:

$a_i$ ;  $a_j$  – members of the matrix with an index indicating the serial number of a line and a column.

By means of the MathCAD software environment we determine the eigenvalues of the matrix (2) using the appropriate matrix function eigenvals:

$$\text{eigenvals} \left( \begin{pmatrix} 1 & \frac{100}{70} & \frac{100}{40} \\ \frac{70}{100} & 1 & \frac{70}{40} \\ \frac{40}{100} & \frac{40}{70} & 1 \end{pmatrix} \right) = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

The analysis of the eigenvalues of the matrix shows that the maximum eigenvalue of the matrix  $Z_{max} = 3$ , i.e. the same as the size of the matrix  $m = n = 3$ , where  $m$  – the number of lines;  $n$  – the number of columns.

We should define a score for specific criteria of development of sustainable land use in rural areas by the formula (3):

$$B = X_i * 100 / \sum X_i, \tag{3}$$

where:

$B$  – scoring,

$X_i$  – indicator.

Scoring of trends of sustainable land use development as for the criterion of profitability is calculated by the economic indicator – income from the activity of each of the branches. Scoring as for criterion on the natural resource base is calculated on the basis of providing with land-resource potential each trend of sustainable land use development in rural areas.

Accordingly, the development of households land tenure is ensured if there is the built-up land; the development of land use with the recreational purpose is ensured if there are recreation lands; the development of land use in agricultural production is ensured if there is agricultural land, including arable land, and the development of land use in animal husbandry is ensured by the presence of grasslands (Table 3).

Based on scoring as for the criteria of profitability, the availability of the resource base and the investment we make comparative matrices (Table 4).

Similarly we make the calculation for the other criteria.

We determine the eigenvalues of the matrix on criterion of profitability (4), using the corresponding matrix function eigenvals:

$$\text{eigenvals} \left( \begin{pmatrix} 1 & \frac{33}{19} & \frac{33}{35} & \frac{33}{13} \\ \frac{19}{33} & 1 & \frac{19}{35} & \frac{19}{13} \\ \frac{35}{33} & \frac{35}{19} & 1 & \frac{35}{13} \\ \frac{13}{33} & \frac{13}{19} & \frac{13}{35} & 1 \end{pmatrix} \right) = \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \tag{4}$$

Similarly, we define the eigenvalues of the matrix of the criteria of the resource base and investment in the development of the branch for each base area, using the appropriate matrix function eigenvals.

On determining the eigenvalues of all matrices of pairwise comparison of options for each individual factor in accordance with the program MathCAD, it was determined that in all cases the maximum eigenvalue of the matrix  $Z_{max} = 4$ , i.e., it coincides with the size of the matrix  $m = n = 4$ .

The value of  $n$  and  $Z_{max}$  in all cases is the same, indicating the full consistency of expert review, as for the criteria of rural development and strategies separately for each of the defined factors.

**Table 3.** Scoring of trends of rural land use development as for criteria of assessment

Trend of sustainable rural land use development	Criteria					
	Profitability		Resource base		Investments in the sphere	
	The financial results from sales, $X_1$	Scoring	Providing with land and resource potential, $X_2$	Scoring	Investments in the sphere, $X_3$	Scoring
Development of households land tenure	186,2	33	1376,6	3	1,1	1
Development of land use with the recreational purpose	110,5	19	27,8	1	123,5	84
Development of land use in agricultural production	200,0	35	36721,4	77	20,5	14
Development of land use in animal husbandry	75,2	13	9196,8	19	1,2	1
$\sum X_i$		100		100		

**Table 4.** Comparative matrix on criteria of profitability

Trend of sustainable rural land use development	Development of households land tenure	Development of land use with the recreational purpose	Development of land use in agricultural production	Development of land use in animal husbandry	$\sum a_i$
Development of households land tenure	1	33/19	33/35	33/13	6,218
Development of land use with the recreational purpose	19/33	1	19/35	19/13	3,580
Development of land use in agricultural production	35/33	35/19	1	35/13	6,595
Development of land use in animal husbandry	13/33	13/19	13/35	1	2,450
$\sum a_j$	3,0303	5,263	2,857	7,692	18,8429

The values of the matrix terms are interrelated and correspond to:

$$a_{ij} = 1/a_{ji}, \quad (5)$$

where:

$a_i$ ;  $a_j$  – terms of the matrix with an index indicating the serial number of lines and columns. On the diagonal of the matrix, at the intersection of similar factors or options, the terms of the matrix take the unit value.

The next step for solving the problem is to determine its own normal vector of the matrix with its maximum eigenvalue:

$$\text{eigenvec} \left[ \begin{pmatrix} 1 & \frac{100}{70} & \frac{100}{40} \\ \frac{70}{100} & 1 & \frac{70}{40} \\ \frac{40}{100} & \frac{40}{70} & 1 \end{pmatrix}, 3 \right] = \begin{pmatrix} 0.778 \\ 0.545 \\ 0.311 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

We determine the amount in column:

0.778
0.545
<u>0.311</u>
1.634

We form the matrix of relations of normalized vectors to the total of their values and the transformed matrix by dividing the terms of the matrix to the corresponding vectors and multiplying by the characteristic number.

Then we normalize the matrix by dividing its terms by the amount of the corresponding column. The results are shown in Table 5. Calculation control shows that the sum of each column equals one.

The sum of lines gives the value of benefits of the way of sustainable land use development in rural areas – it is an integrated assessment of options.

**Table 5.** Normalized matrix

Trend of sustainable rural land use development	Profitability	Resource base	Investments in the sphere	$\Sigma$
Development of households land tenure	0,330	0,030	0,010	0,370
Development of land use with the recreational purpose	0,190	0,010	0,840	1,040
Development of land use in agricultural production	0,350	0,770	0,140	1,260
Development of land use in animal husbandry	0,130	0,190	0,010	0,330
$\Sigma$	1,000	1,000	1,000	3,000

They collectively evaluate the way of development in accordance with all the criteria. As a result, we obtain (7):

$$\begin{aligned} W1 &= 0,370; \\ W2 &= 1,040; \\ W3 &= 1,260; \\ W4 &= 0,330. \end{aligned} \quad (7)$$

## CONCLUSIONS

The research found that the priority trends of rural development for Berehiv district the Transcarpathian region are the development of land use in agricultural production ( $W3 = 1,260$ ) in order to produce environmentally-friendly products, and development of land use with the recreational purpose recreational use ( $W2 = 1,040$ ).

This approach for identifying the trends of rural development will provide a comprehensive and integrated solution to the main problems of rural areas within a single concept at various stages of government: national, regional, zonal and local – and include developed strategies, programs and techniques – organizational, economic, financial and legal techniques, provided with corresponding instruments.

## REFERENCES

1. Agrarian reform in Ukraine. Monograph. After the release of acasemiciano of NAAS P.I. Gajduckogo. – Kyiv. – 2005.
2. **Bublyk M.I., Koval L.M. 2009.** Economic-mathematical model of choosing priority ways of state support of small businesses in the region / M.I. Bublyk, L.M. Koval // Scientific Herald of NLTU – № 19.8. – 216-218.
3. **Cherevko G. 2006.** Al'tenatywna energetyka agropromyslowogo kompleksu Ukrainy / G. Cherevko // MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture – Lubin – Rzeszow, Vol. 8A. 106-116.
4. **Cherevko G., Krupych O., Krupych R. 2013.** Development of the system of Ukraine's material and technical base of agriculture formation / G. Cherevko, O. Krupych, R. Krupych // MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture – Lubin – Rzeszow, Vol. 15. No. 4. 97-106.
5. Component «Rural Development» [electronic resource]. – Mode of access: <http://www.swap-rural.org.ua/ua/rural-development/>.
6. **Dawson R. MacGregor and Dawson W.F. 1998.** Democratic Government in Canada / Revised by Norman Ward. – University of Toronto Press – 152.
7. **Farley J. 2009.** Ecological economics and sustainable forest management / J. Farley // In I.P. Soloviy and W.S. Keeton (eds.) Ecological Economics and Sustainable Forest Management: Transdisciplinary approach to the Carpathian Mountains. Ukrainian National forestry University Press / Liga-Press, – Lviv, Ukraine – 40-54.
8. **Farley J. 2009.** Transdisciplinary paths towards sustainability: new approaches for integrating research, education and policy / J. Farley, L. Zahvoyska, and L. Maksymiv // In I.P. Soloviy and W.S. Keeton (eds.) Ecological Economics and Sustainable Forest Management: Transdisciplinary approach to the Carpathian Mountains. – UNFU Press/Liga-Press, – Lviv, Ukraine. – 55-69.
9. **Halanec V. 2013.** Development of agrarian politics in Ukraine in the conditions of economic crisis / V. Halanec // MOTROL. Commission of Motorization and Ener-

- getic in Agriculture – Lubin – Rzeszow, Vol. 15. No. 4. 159-166.
10. **Janez K. 2008.** Assessment of factors which influence forest owners to join associations / K. Janez, P.M. Spe-la, M. Matevz, L. Zadnik Stirn // Proceedings of the International Symposium of Emerging needs of society from forest ecosystems: towards the opportunities and dilemmas in forest managerial economics and accounting, Ljubljana, Slovenia. – Ljubljana : University of Ljubljana, – 104-114.
  11. **Kangas A. 2007.** Decision support for forest management / A. Kangas, J. Kangas, M. Kurtilla. – Springer – 237.
  12. **Lysa O., Stadnyk B. 2013.** Theoretical and methodological approaches to defining assessment of quality of agricultural products / O. Lysa, B. Stadnyk // MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture – Lublin – Rzeszow, Vol. 15. No. 4. 120-125.
  13. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being : Synthesis. –Washington: Island Press, 2005 – 155.
  14. Project of the U.S. Agency for International Development USAID «Agroinvest.» «Module appraisal management», Kyiv, 2012.
  15. **Saaty T.L. 2005.** Theory and Applications of the Network Process / T. L. Saaty. – Pittsburgh: RWS Publication – 352.
  16. Strategic ways of agricultural development in Ukraine for 2020 / Edited by Yu.O. Lupenko, V.Ya. Mesel-Veseliak. – K.: NSC «IAE», 2012 – 182.
  17. Sustainable Forest Management – Requirements. PEFC International Standard 1003:2010. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.pefc.org>.
  18. **Vetrova N. 2012.** Ecologicheskij audit i ecologicheskij monitoring v upravlenii ecologicheskoy bezopasnostju regoina / N. Vetrova // MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture – Lublin, Vol. 14-1, 80-85.
  19. **Zahvoyska L.D. 2011.** Ecological and economic efficiency of alternative methods of reforestation / D.L. Zahvoyska, Yu.M. Debryniuk, Yu.V. Shvediuk / / Proceedings of the Forest Academy of Sciences of Ukraine: Collection of scientific works. – Lviv RVV NLTU of Ukraine – Issue. 21.9 – 135-137.
  20. **Zahvoyska L.D., Shvediuk Yu.V. 2011.** Ecological and economic evaluation of the effectiveness of alternative methods of reforestation in conditions of the flat part of the Lviv region / D.L. Zahvoyska, Yu. V. Shvediuk // Scientific Herald of NLTU – № 21.10 – 77-83.
- Аннотация.** Системные кризисные явления и упадок сельских территорий приводят к снижению уровня жизни сельского населения, уменьшению объемов сельскохозяйственного производства. Такой ряд проблем обуславливает определение направлений развития сельских территорий.
- На основе комплексного подхода и сочетая три составляющие, экологическую, экономическую и социальную, нами предложен методический подход основных направлений развития землепользования сельских территорий на примере Береговского района Закарпатской области. При этом предполагается достичь оптимального соотношения между экономически целесообразным и экологически безопасными видами использования земель и обеспечить экономический рост материальных и социальных потребностей населения (устойчивое развитие). Данная методика базируется на основе метода анализа иерархий, разработанный Т. Л. Саати. Расчеты проведены с использованием программной среды Mathcad 14 .
- Ключевые слова:** сельские территории, землепользования, направление развития, метод Саати.





## Nowoczesne ciągniki produkowane przez spółkę URSUS S.A.

Józef Kowaleczuk<sup>1</sup>, Janusz Zarajczyk<sup>1</sup>, Alicja Wieczorkowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Maszyn Ogrodniczych i Leśnych

<sup>2</sup>Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono nowe modele ciągników URSUS, które od niedawna są produkowane przez spółkę URSUS S.A. Dokonano przeglądu wybranych parametrów technicznych tych ciągników w odniesieniu do potrzeb rynku krajowego.

**Słowa kluczowe:** ciągniki Ursus, modele, parametry techniczne.

### WPROWADZENIE

Współczesne rolnictwo stanowi istotną gałąź gospodarki krajowej, opartą w coraz większym stopniu na wiedzy fachowej oraz związanej z umiejętnościami podejmowania decyzji i zarządzania informacją. Sprawność podejmowania decyzji i szybkiego analizowania rosnącej ilości informacji związanych z wdrażaniem nowych technologii staje się kluczem do utrzymania opłacalności produkcji, a co za tym idzie, ograniczania kosztów wytwarzania produktu finalnego, przy zachowaniu wymogów ochrony środowiska naturalnego.

Rolnik, podejmując decyzję odnośnie zakupu nowego ciągnika powinien przeanalizować szereg istotnych parametrów związanych z jego eksploatacją, szczególnie tych, które decydują o komforcie użytkowania i dają gwarancję właściwej pracy ciągnika, bez konieczności jego przestojów w szczycie sezonu produkcyjnego. Ważna dla rolnika jest również cena zakupu ciągnika. A ta w przypadku URSUS jest bardzo wyważona [Czechowski, Konieczka 2009].

### CIĄGNIKI PRODUKOWANE PRZEZ SPÓŁKĘ URSUS S.A.

Od grudnia 2011 roku, lubelski oddział spółki, w oparciu o oryginalną dokumentację licencyjną, uruchomił produkcję ciągników URSUS o mocy 81 kW. Ponadto nowymi produktami Zakładów URSUS S.A. są ciągniki oznaczone symbolami: 8014 H, 9014 H i 10014 H.

Serię ciągników oznaczonych literą H charakteryzuje czterocylindrowy, turbodoładowany silnik wysokoprężny Perkins z bezpośrednim wtryskiem, o pojemności 4,4 dm<sup>3</sup>. Wszystkie wymienione powyżej modele są turbodoładowane, natomiast modele 9014 H i 10014 H posiadają dodatkowo intercooler, dzięki któremu można uzyskać większą moc. Silniki te spełniają wymagania poziomu emisji spalin EURO IIIA. Skrzynia przekładniowa w serii H zapewnia uzyskanie 12 biegów do przodu i 12 biegów wstecznych.

Szczególnie dużym zainteresowaniem cieszą się ciągniki URSUS 11024 (rys. 1) i URSUS 5044.



Rys. 1. Ciągnik URSUS 11024 [www.ursus.com]

Fig. 1. URSUS tractor 11024 [www.ursus.com]

Ciągnik URSUS 11024 wyposażono w czterocylindrowy, turbodoładowany silnik wysokoprężny Perkins-1104D z intercoolerem i bezpośrednim wtryskiem o mocy 80 kW przy 2200 obr·min<sup>-1</sup>. Wartość momentu obrotowego wynosi 416 Nm przy 1400 obr·min<sup>-1</sup>. Zsynchronizowana skrzynia przekładniowa ciągnika oparta jest na podzespo-

łach firmy Massey-Ferguson i umożliwia uzyskanie 12 przełożeń do przodu i 4 do tyłu. Maksymalna prędkość ciągnika wynosi  $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Podnośnik ciągnika dysponuje dużym udźwigniem wynoszącym  $4400 \text{ kg}$ , a jego dolne ciągną są zakończone hakowymi końcówkami (kat. II), które ułatwiają agregatowanie maszyn. Łącznik górny wyposażono w wygodny uchwyt, który można zamocować na ciągniku na czterech różnych wysokościach. Wał odbioru mocy (WOM) tego ciągnika może pracować z prędkością zależną i niezależną od prędkości jazdy ( $540$  i  $1000 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ ). W wyposażeniu dodatkowym WOM może być wyprowadzony także z przodu ciągnika. W standardowym wyposażeniu jest również przesuwany zaczep transportowy (górny i dolny) i zaczep rolniczy oraz instalacja pneumatyczna jedno- i dwuprzewodowa. Z przodu montowane są obciążniki, bardzo przydatne przy wykonywaniu prac polowych i leśnych.

Ciągnik URSUS 11024 jest przeznaczony dla średnich i dużych gospodarstw rolniczych i ogrodniczych oraz do wykonywania różnych prac leśnych. Parametry techniczne tego ciągnika oraz cena jego zakupu są korzystne w porównaniu do innych ciągników o podobnej mocy oferowanych na rynku krajowym.

Ciągnik URSUS 15014 (rys. 2) został wyposażony w 6-cylindrowy silnik marki SISU z systemem AdBlue o mocy  $110 \text{ kW}$ . Model ten posiada zsynchronizowaną skrzynię biegów ZF 40/40 z systemami power shuttle i power shift. Drugie umożliwia włączenie silnika pod obciążeniem, co jest bardzo ważne przy wykonywaniu prac polowych. Natomiast POWER-SHUTTLE jest elektronicznym rewersem uruchamianym przyciskiem umieszczonym pod kierownicą.



Rys. 2. Ciągnik URSUS 15014 [www.ursus.com]

Fig. 2. URSUS tractor 15014 [www.ursus.com]

Urządzenie to wpływa również na wydajność prac wykonywanych ciągnikiem, gdyż umożliwia szybką zmianę kierunku jazdy. Skrzynia ta wyposażona jest też w system CREEPER GEAR, który umożliwia uzyskanie minimalnej prędkości jazdy, wynoszącej  $0,39 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Niskie prędkości jazdy ciągnika są bardzo przydatne w ogrodnictwie, np. przy pracy ciągnika z sadzarką do rozsady. Ciągnik ten, podobnie jak URSUS 11024, posiada automatyczną blokadę mechanizmu różnicowego oraz planetarne zwolnice.

W celu zwiększenia komfortu pracy operatora, kabinę ciągnika dobrze odizolowano od otoczenia. Jest ona przestronna i zapewnia bardzo dobrą widoczność (rys. 3). Jej drzwi wejściowe są szerokie i otwierają się pod kątem  $90^\circ$ . Kolorystyka kabiny jest utrzymana w łagodnej ciemnej -szarości. Materiały wykończeniowe poszyc błotników są gładkie, o niewielkiej liczbie zakamarków. Okno dachowe kabiny ułatwia pracę z ładowaczem czołowym. Fotel operatora jest wyposażony w mechaniczną amortyzację, a na lewym błotniku umieszczono siedzisko dla pasażera. Kabina jest wyposażona w klimatyzację i wydajną wentylację z dobrze rozmieszczonymi gniazdami nadmuchu. Spełnienie najnowszych norm pozwoliło obniżyć poziom hałasu w kabinie operatora do około  $80 \text{ dB}$ .



Rys. 3. Wnętrze kabiny ciągnika URSUS 11024 [www.ursus.com]

Fig. 3. URSUS tractor cab 11024 [www.ursus.com]

Wszystkie oferowane modele ciągników URSUS posiadają hydrostatyczny układ kierowniczy. Hamulce główne (tarczowe mokre) są uruchamiane hydraulicznie, zaś hamulec postojowy – mechanicznie. Podnośnik hydrauliczny w najsilniejszym modelu URSUS 14034 posiada funkcję EHR i umożliwia udźwignąć  $7000 \text{ kg}$ .

Nowe modele ciągników URSUS różnią się wyglądem od innych ciągników podobnej klasy. Są one oparte na klasycznej stylistyce i mają ściętą przednią część maski, co również ułatwia pracę z ładowaczem czołowym. W tab. 1 przedstawiono wybrane parametry techniczne ciągników URSUS.

Ciągniki URSUS, będą serwisowane w ramach gwarancji przez okres trzydziestu sześciu miesięcy. Taką operację można zapewnić dzięki dobrze rozwiniętej w Polsce sieci dealerów. Obecnie jest ich około osiemdziesięciu dla różnego rodzaju maszyn produkowanych przez spółkę oraz ponad czterdziestu dla ciągników URSUS.

Konstruktorzy ciągników URSUS prowadzą badania i doskonalą ich budowę w celu polepszenia parametrów pracy oraz komfortu obsługi. Jest więc duża szansa na to, że w najbliższych latach ciągniki URSUS zaistnieją na światowych rynkach.

#### LITERATURA

Czechowski M., Konieczka D. 2009: Nowe ciągniki POL-MOT. Top technika, 4, 14-16  
Materiały firmowe: www.ursus.com

**Tabela 1.** Parametry techniczne ciągników URSUS [www.ursus.com]**Table 1.** Technical parameters of URSUS tractors [www.ursus.com]

Wyszczególnienie	8014 H	9014 H	10014 H	5034	11024	15014
Silnik (model, marka)	PERKINS 1104D EURO III A			A498BT1 EURO IIIA	PERKINS 1104D EURO III A	SISU 66 AWI EURO IIIB
Rodzaj silnika	turbodoładowany	turbodoładowany z inter-coolerem		wolnossący	turbodoładowany z intercoolerem	
Moc, kW, przy obr·min <sup>-1</sup>	60,5/2200	68/2200	74,9/2200	38,6/2400	81/2200	111/2200
Pojemność silnika, cm <sup>3</sup>	4400	4400	4400	3300	4400	6600
Filtr powietrza	suchy z czujnikiem zanieczyszczenia			suchy dwustopniowy		
Maks. moment obrotowy Nm przy obr·min <sup>-1</sup>	345/1400	393/1400	405/1400	186/1650	416/1400	580/1600
Skrzynia biegów- przełożenie	12/12	12/12	12/12	8/8	12/4	40x40 z rewersem elektrohydraulicznym, półbiegami i biegami pełzającymi
Rewers	TAK	TAK	TAK	TAK	NIE	TAK
Maks. wyd. pompy hydr., l·min <sup>-1</sup>	55	55	55	21	62	120
Udźwig TUZ, kg	4200	4200	4200	1500	4400	7000
EHR	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	TAK
Prędkość obrotowa WOM, obr·min <sup>-1</sup>	540/1000			540/1000	540/1000/1900	540/2200 540ECO/1190 1000/2195 1000ECO/1600
Masa, kg	4215	4300	4300	2450	4100	6900

MODERN TRACTORS MANUFACTURED BY URSUS  
S.A. COMPANY

**Summary.** This article describes new models of URSUS tractors manufactured by URSUS S.A. Company. A review of selected technical parameters of tractors for the domestic market is presented.

**Key words:** Ursus tractors, models, technical parameters.



## Obrażenia ciała spowodowane działaniem cieczy pod ciśnieniem

Konrad Kowalski, Tadeusz Złoto

Instytut Technologii Mechanicznych  
Politechnika Częstochowska

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono możliwości wystąpienia obrażeń związanych z użytkowaniem wszelkiego rodzaju układów hydraulicznych, wykorzystujących jako medium ciecz pod wysokim ciśnieniem. W oparciu o znane z literatury przypadki, przedstawiono przyczyny wypadków oraz sposoby ich zapobiegania.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo, wypadek w miejscu pracy, ręka, rana, wąż hydrauliczny.

### WSTĘP

Obsługa maszyn i urządzeń wysokociśnieniowych lub praca w ich bezpośrednim otoczeniu stwarza realne zagrożenie zdrowia i życia w przypadku wystąpienia wycieków medium roboczego pod wysokim ciśnieniem [8, 18]. Takie zagrożenie może wystąpić w każdej gałęzi przemysłu. Wynika to z dużej powszechności stosowania hydrostatycznych układów napędowych, charakteryzujących się zwykle wysoką sprawnością oraz możliwością pracy przy wysokich ciśnieniach roboczych [7, 17].

Elementy współczesnych układów hydraulicznych łączy się między sobą na dwa sposoby, tj. bezpośrednio lub pośrednio [12, 14]. W pierwszym przypadku połączenie współpracujących elementów urządzeń hydraulicznych występuje pomiędzy korpusami, które zawierają kanały lub otwory wiercone. W drugim przypadku, powszechnie stosowanym w praktyce, połączenie realizowane jest za pomocą płyt przyłączeniowych (montaż płytowy, warstwowy) i bloków sterujących (montaż nabojoyowy). Takie rozwiązanie zapewnia dużą zwartość konstrukcji oraz możliwość łatwego zestawiania zespołów. Stąd też montaż pośredni znajduje szerokie zastosowanie w układach hydraulicznych nowoczesnych maszyn technologicznych, np. we wtryskarkach i obrabiarkach sterowanych numerycznie [12]. Często jednakże, ze względów funkcjonalnych i eksploatacyjnych, uzasadnione i konieczne jest łączenie poszczególnych elementów za

pomocą sztywnych lub elastycznych przewodów (montaż przewodowy) [12, 14]. Takie rozwiązanie spotyka się powszechnie w roboczych maszynach mobilnych, maszynach budowlanych, maszynach rolniczych i w wielu innych [12].

Połączenia stosowane w układach hydraulicznych mogą być źródłem nieszczelności, prowadzących nieuchronnie do unieruchomienia całego układu lub jego odgałęzienia. Wśród typowych przyczyn powstawania nieszczelności wymienić można naturalne zużycie, uszkodzenia mechaniczne (np. przetarcie węża hydraulicznego, pęknięcie złączki itp.) oraz nieprawidłowy montaż, zarówno sztywnych oraz elastycznych przewodów hydraulicznych, jak i stosowanych w układzie złązek i przyłązek. Na powstawanie tego typu nieszczelności narażone są szczególnie elastyczne (giętkie) przewody hydrauliczne.

W elastycznych przewodach hydraulicznych (węzłach) mogą powstawać bardzo małe otwory [19], przez które ciecz wydostaje się z dużą prędkością, przekraczającą 180 m/s [10]. Na pozór niegroźna struga może wówczas doprowadzić do poważnych konsekwencji w przypadku działania na ciało człowieka [10, 18].

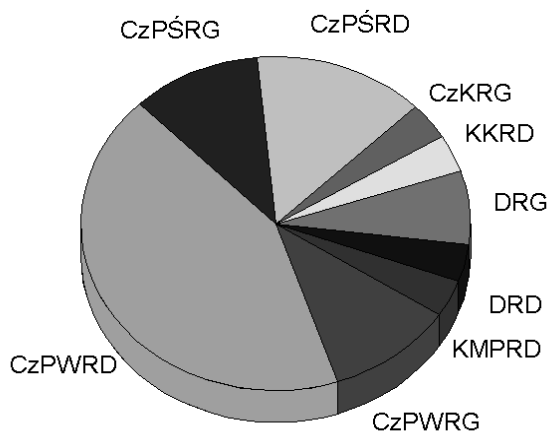
### CEL PRACY

Celem niniejszej pracy jest zwrócenie uwagi na możliwość wystąpienia obrażeń ciała u człowieka narażonego na działanie strumienia cieczy wytryskującej z przestrzeni, w której panuje wysokie ciśnienie.

### PROFIL POSZKODOWANEGO I CHARAKTER OBRAŻEŃ

Wśród wypadków występujących w miejscu pracy obrażenia ciała wywołane strumieniem cieczy pod wysokim ciśnieniem występują bardzo rzadko. Niemniej jednak,

każdy przypadek wiąże się z zagrożeniem zdrowia a nawet życia [5, 6, 20]. Poważne niebezpieczeństwo stanowią dla człowieka znajdujące się pod ciśnieniem oleje hydrauliczne, smary (smarownice) oraz farby (agregaty malarskie) w przypadku wstrzyknięcia ich do ciała człowieka [8, 15]. Ponadto szczególną ostrożność należy zachować w przypadku kontroli działania wtryskiwaczy paliwa silników wysokoprężnych na stanowiskach probierczych oraz przy przeprowadzaniu kontroli szczelności instalacji paliwowej w silnikach wysokoprężnych wyposażonych w wysokociśnieniową instalację paliwową (zwłaszcza w instalacjach Common-Rail, w których paliwo sprężane jest do bardzo wysokiego ciśnienia, sięgającego nawet 200 MPa).



**Rys. 1.** Umieszczenie i udział obrażeń na podstawie 28 przypadków [13]: CzPWRG – czubek palca wskazującego ręki głównej, CzPWRD – czubek palca wskazującego ręki drugiej, CzPŚRG – czubek palca środkowego ręki głównej, CzPŚRD – czubek palca środkowego ręki drugiej, CzKRG – czubek kciuka ręki głównej, KKRD – kłęb kciuka ręki drugiej, DRG – dłoń ręki głównej, DRD – dłoń ręki drugiej, KMPRD – kłęb małego palca ręki drugiej (ręka główna oznacza prawą rękę osoby praworęcznej lub lewą rękę osoby leworęcznej)

**Fig. 1.** Location and share of personal injuries based on 28 cases [13]: CzPWRG – the tip of the index finger on the main hand, CzPWRD – the tip of the index finger on the other hand, CzPŚRG – the tip of the middle finger on the main hand, CzPŚRD – the tip of the middle finger on the other hand, CzKRG – the tip of the thumb on the main hand, KKRD – the base (thenar eminence) of the thumb on the other hand, DRG – the palm on the main hand, DRD – the palm on the other hand, KMPRD – the base (thenar eminence) of the little finger on the other hand (main hand is the right hand with a right-handed person or the left hand with a left-handed person)

Obrażeniom spowodowanym działaniem na skórę strugi cieczy pod ciśnieniem ulegają zwykle młodzi mężczyźni pomiędzy 30 a 40 rokiem życia. Częścią ciała, która najczęściej ulega obrażeniom jest ręka. W większości przypadków obrażenia zlokalizowane są w okolicy palca wskazującego lub palca środkowego (rys.1) [3, 4, 13, 20].

Struga cieczy działająca na skórę może spowodować przerwanie jej ciągłości, przy czym zwykle jest to niewielka rana punktowa. W pierwszym momencie ofiara

odczuwa lekkie ukłucie lub wcale nie odczuwa bólu [4]. Jednak wraz z upływem czasu od zdarzenia, poszkodowana osoba może odczuwać nasilający się ból. W otoczeniu miejsca zranienia wystąpić może zaczerwienienie oraz obrzęk. Stan poszkodowanego jest zwykle cięższy, niż wskazuje na to rozmiar rany. Niestety, tego typu obrażenia bywają bagatelizowane nie tylko przez poszkodowanych, ale i przez medyków [10].

Zwykle prawdziwy zakres obrażeń kryje się pod skórą (rys. 2). Nie wolno sugerować się tutaj niewielkimi rozmiarami zewnętrznymi rany, gdyż ciecz pod ciśnieniem potrafi penetrować tkanki znajdujące się nawet w znacznej odległości od miejsca zranienia. Uszkodzeniu mogą ulec zarówno naczynia krwionośne, jak i mięśnie, nerwy oraz ścięgna. Poszkodowani na skutek działania na skórę strugi cieczy pod ciśnieniem powinni być bezzwłocznie poddani pod opiekę ambulatoryjną. Pozostałości cieczy oraz uszkodzone tkanki powinny zostać oczyszczone chirurgicznie [1, 18].



**Rys. 2.** Widok wnętrza rany [3]

**Fig. 2.** The view of a wound interior (with permission from the article 'Injection injuries: seemingly minor injuries with major consequences' by Dailiana Z et al. Hippokratia 2008; 12 (1): 33-36)



**Rys. 3.** Ręka po częściowej amputacji kciuka [6]

**Fig. 3.** Hand after a partial thumb amputation (with permission from the article 'High-pressure injection injury of the thumb. Case report and review of the literature' by Goldstein N et al. South African Orthopaedic Journal 2012; 11 (1): 63-66)

Zwleknięcie z podjęciem interwencji chirurgicznej może doprowadzić do trwałego uszkodzenia tkanek, martwicy, amputacji a nawet śmierci poszkodowanego. Na rysunku 3 przedstawiono tragiczny dla poszkodowanego skutek wypadku, wymagający wykonania częściowej amputacji kciuka.

#### PRZYCZYNY WYPADKÓW ORAZ SPOSOBY ZAPOBIEGANIA

Nieprawidłowa instalacja oraz urazy zewnętrzne stanowią typowe przyczyny uszkodzeń węży hydraulicznych [9]. Prawidłowa instalacja elastycznych przewodów, zmniejszająca prawdopodobieństwo wystąpienia wycieków, powinna obejmować [2, 9, 16]:

- zapewnienie odpowiednio dużego promienia zaginania oraz zachowanie prostego odcinka węża w pobliżu końcówki (około 1,5 średnicy zewnętrznej),
- zapewnienie właściwej długości przewodu, uwzględniającej możliwość jej zmiany pod wpływem ciśnienia,
- unikanie skręcenia wokół osi (właściwą orientacją pomaga uzyskać barwny pasek przebiegający wzdłuż węża),
- zapewnienie w przypadku łączenia zespołów będących w ruchu względnym zginania węża w płaszczyźnie ruchu zamiast jego skręcania (unikanie trójwymiarowego zginania),
- unikanie rozciągania, załamania oraz tworzenia pętli,
- prowadzenie węża z dala od źródeł ciepła ewentualnie stosowanie dodatkowej izolacji,
- prowadzenie węża w sposób uniemożliwiający jego kontakt z ciałami obcymi oraz ostrymi krawędziami,
- prowadzenie węża w sposób uniemożliwiający jego nadętywanie,
- stosowanie kolan, złączy i łuków w celu minimalizowania naprężeń węża.

Ponadto węże hydrauliczne ulegają osłabieniu wskutek [2, 11]:

- naturalnego zużycia (starzenia),
- stosowania niewłaściwej (nieobojętnej) cieczy dla materiału węża,
- promieniowania ultrafioletowego,
- niewłaściwej temperatury otoczenia lub czynnika roboczego,
- nagłych impulsów ciśnienia,
- działania pola elektrycznego,
- drgań,
- słonej wody,
- ozonu,
- zanieczyszczeń zawartych w powietrzu.

Stan przewodów hydraulicznych powinien być regularnie kontrolowany. Wyłączenia z eksploatacji oraz bezwzględnej wymianie powinny podlegać węże z widocznymi objawami zużycia zewnętrznej warstwy przewodu [2, 11] w postaci: przetarć, deformacji (np. spłaszczenia), stwardnień, pęknięć, pęcherzy, zwęgleń oraz przecięć. Należy pamiętać, że uszkodzenie elastycznych przewodów hydraulicznych może wystąpić nawet pomimo niewystępowania powyższych objawów [11].

Do czynników mających ogromny wpływ na bezpieczeństwo należy świadomość zagrożeń mogących wystąpić w miejscu pracy, odpowiednie przeszkolenie, doświadczenie, samopoczucie pracownika oraz stan techniczny komponentów układu.

Przykładem nierozsądnego zachowania jest dotykanie węża w czasie pracy układu hydraulicznego oraz szukanie wycieków cieczy przy użyciu ręki (rys. 4) [10].

Przerwanie ciągłości skóry może nastąpić w przypadku wycieku strugi pod ciśnieniem wynoszącym minimum 100 psi [3, 6, 11] (niespełna 7 bar) oraz odległości od źródła wycieku mniejszej niż 10 cm [11]. obrażenia spowodowane działaniem cieczy są jednocześnie tym dotkliwsze, im większe jest ciśnienie oraz objętość wstrzykiwanej cieczy [20].



**Rys. 4.** Nieprawidłowy sposób szukania wycieków z przewodów  
**Fig. 4.** An improper way of looking for leakage from hoses

#### PODSUMOWANIE

Liczba wypadków spowodowanych wyciekami strugi cieczy pod ciśnieniem może być minimalizowana. W tym celu niezbędna jest świadomość zagrożeń czyhających w miejscu pracy, zdrowy rozsądek, właściwy montaż oraz dbanie o stan techniczny komponentów wchodzących w skład maszyn i urządzeń.

Jednym z najpoważniejszych naruszeń bezpieczeństwa jest szukanie wycieków z elastycznych przewodów hydraulicznych przy pomocy ręki. Wyciekająca struga jest zwykle trudno dostrzegalna, a w celu lokalizacji miejsca jej wycieku należy posługiwać się np. kartką papieru, kawałkiem tektury lub drewna.

Osoba poszkodowana w wyniku wycieku strugi cieczy pod ciśnieniem powinna niezwłocznie skorzystać z pomocy chirurgów w celu otwarcia rany i dokładnego jej oczyszczenia, nawet jeśli nie odczuwa bólu a rana jest niewielka. Postawienie prawidłowej i szybkiej diagnozy może przyczynić się do uniknięcia zakażenia, martwicy, amputacji oraz skrócenia czasu rekonwalescencji.

#### LITERATURA

1. **Bickert B., 2010:** Hochdruckeinspritz – verletzungen an der Hand. Springer-Verlag. Der Unfallchirurg, Vol. 113, Nr 10, 814-820.

2. **Cundiff J. S., 2002:** Fluid Power Circuits and Controls. Fundamentals and Applications. CRC Press, Boca Raton.
3. **Dailiana H. Z, Kotsaki D, Varitimidis S, Moka S, Bakarozi M, Oikonomou K, Malizos N. K, 2008:** Injection injuries: seemingly minor injuries with major consequences. *Hippokratia*, Vol. 12, Nr 1, 33-36.
4. **Donion A., 2005:** Safety tips for handling industrial lubricants. *Gear solutions*, Vol. 3, Nr 25, 29-33.
5. **Frank M., Hinz P., Zach A., Evert M., Bauwens K., Ekkernkamp A., 2008:** Hochdruckinjektionen – verletzung der Hand. Springer Medizin Verlag. Trauma und Berufskrankheit, Vol. 10, Nr 3, 221-224.
6. **Goldstein N., Biddulph G., Lukhele M., 2012:** High-pressure injection injury of the thumb. Case report and review of the literature. *South African Orthopaedic Journal*, Vol. 11, Nr 1, 63-66.
7. **Greczanik T., Stryczek J., 2005:** The concept of the bus fluid power system of the mining machine. *Polska Akademia Nauk, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Tom V, 72-79, Lublin.
8. **Hayes C. W, Pan H. C., 1982:** High-Pressure Injection Injuries to the Hand. *Southern Medical Journal*, Vol. 75, Nr. 12, 1491-1516.
9. **Katalog Tubes International 2012** [dostęp: 08 luty 2013], [http://www.tubes-international.pl/katalog\\_pdf/tubes\\_international\\_2012\\_pl.pdf](http://www.tubes-international.pl/katalog_pdf/tubes_international_2012_pl.pdf)
10. **Kleiner G., Honig D., Injection Injury:** Planning and Prevention, kwiecień 2009 [dostęp: 08 luty 2013], [http://www.moderncontractorsolutions.com/articlesdetail.php?id\\_articles=524&id\\_artcatg=8](http://www.moderncontractorsolutions.com/articlesdetail.php?id_articles=524&id_artcatg=8)
11. **Kleiner G. (red. Żarów K.),** Wiedza i konserwacja podstawą bezpieczeństwa systemów hydrauliki siłowej, 31 maj 2010 [dostęp: 08 luty 2013], <http://www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artukul/article/wiedza-i-konserwacja-podstawa-bezpieczenstwa-systemow-hydrauliki-silowej/>
12. **Kotnis G., 2008:** Budowa i eksploatacja układów hydraulicznych w maszynach. Wydawnictwo KaBe, Krosno.
13. **Lewis H. G, Clarke P., Kneafsey B., Brennen M. D, 1998:** A 10-year review of high-pressure injection injuries to the hand. *Journal of Hand Surgery*, Vol. 23B, Nr 4, 479-481.
14. **Lipski J., 1981:** Napędy i sterowania hydrauliczne. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
15. **Lozano-Calderón S. A., Mudgal C. S., Mudgal S., Ring D., 2008:** Latex Paint-gun Injuries of the Hand: Are the Outcomes Better? *Springer-Verlag. Hand*, Vol. 3, Nr 4, 340-345.
16. **Rabie M. G., 2009:** Fluid Power Engineering. McGraw-Hill, New York.
17. **Ryzhakov A., Nikolenko I., Dreszer K., 2009:** Selection of discretely adjustable pump parameters for hydraulic drives of mobile equipment. *Polska Akademia Nauk, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Tom IX, 267-276, Lublin.
18. **Safety in lubrication, Exxon Mobil Corporation 2009** [dostęp: 08 luty 2013], <http://www.mobil.com/IND/English/Files/tt-safety-in-lubrication.pdf>
19. **Stenmark N., 2007:** Small Leak in Hydraulic Hose Reveals Big Problem. *Springer. Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 7, Nr 3, 183-186.
20. **Verhoeven N., Hierner R., 2008:** High-pressure injection injury of the hand: an often underestimated trauma: case report with study of the literature. *Springer-Verlag. Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, Vol. 3, Nr 1, 27-33.

#### BODY INJURIES DUE TO THE HIGH PRESSURE INJECTION OF THE FLUID

**Summary.** Despite the fact that high pressure fluid injection injuries to the body do not occur very often, it is important to develop awareness in the staff of dangers concerned with the spout from hydraulic hoses. It is because of the fact that most of the injured people underestimate small and punctiform skin lesions, that are characteristic of the high pressure injection injuries. But the real damages are under the skin. Fluid under high pressure can damage tissues, tendons and blood vessels. Every body injuries due to the high pressure injection of the fluid pose a threat to the life and health of the injured person. Thus high pressure injection injuries should be immediately treated surgically.

**Key words:** safety, work accident, hand, injury, injection, hydraulic hose.



## Научно-прикладные аспекты развития технико-технологических решений в агробиотехнологиях

*Владимир Кравчук*

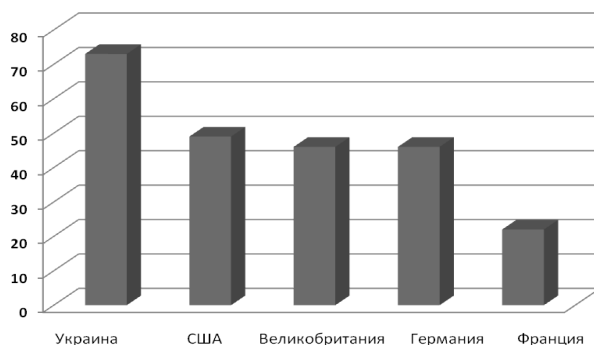
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НААН Украины, директор УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого, 08654, Украина, Киевская обл., Васильковский р-н., ул. Инженерная, 5, тел. (095)2879687, (04571)33657, e-mail: kravchukvi@ukr.net

**Аннотация.** Изложены результаты исследований биотехнологий выращивания сельскохозяйственных культур, а также сформулированы задачи инженерного обеспечения биологизации земледелия и пути их решения.

**Ключевые слова:** биотехнология, сельскохозяйственные машины, информационно-управляющие средства, концепция, развитие.

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие человечества приблизилось к состоянию, которое характеризуется увеличением количества населения, уменьшением производства продовольствия на душу населения, возрастанием количества энергии, затрачиваемой на производство единицы продуктов питания и возрастающими экологическими проблемами, вызванными его жизнедеятельностью. Поэтому основой дальнейшего выживания человечества является обеспечение населения безопасными продуктами питания при минимальном влиянии на окружающую среду и ограниченных ресурсах производства.



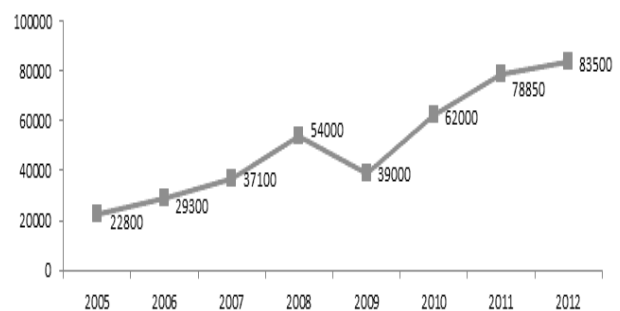
**Рис. 1.** Затраты энергии на производство единицы продукции зерновых, кВт · час/ц

**Fig. 1.** Energy costs per unit of production of cereals, kW · h / c

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

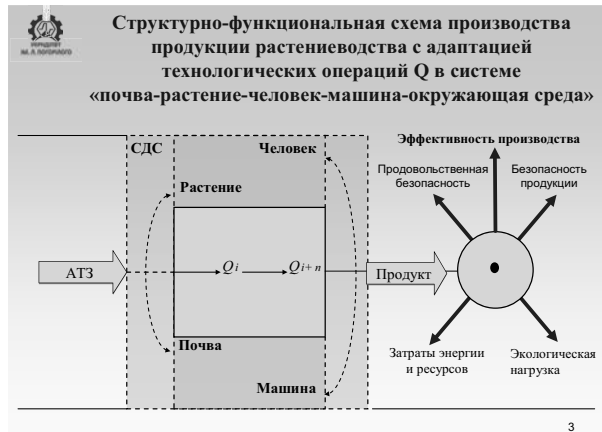
Украина, как и мировое сообщество, сталкивается с проблемами повышения затрат энергии на производство продуктов питания (рис. 1), увеличением объемов применяемых средств защиты растений (рис. 2), и, как следствие, усилением воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду.

Одним из направлений решения вопроса может быть более интенсивное использование биологических составляющих в технологиях производства сельскохозяйственной продукции, что позволит получать безопасную для здоровья человека продукцию, высокоэффективную с технологической точки зрения, снижать затраты энергии и техногенную нагрузку на окружающую среду [2]. При этом объемы производства такой продукции должны решить вопрос продовольственной безопасности, а технологические операции производства непременно должны учитывать условия взаимодействия составляющих сложной динамической системы [1] «почва – растение – человек – машина – окружающая среда» [3] (рис. 3).



**Рис. 2.** Динамика импорта средств защиты растений в Украину, тыс. т

**Fig. 2.** Dynamics of import of plant protection products in Ukraine, thousands t



**Рис. 3.** Структурно-функциональная схема производства продукции растениеводства с адаптацией технологических операций в системе «почва – растение – человек – машина – окружающая среда» [2]

**Fig. 3.** Structural and functional layout of crop production with the technological process steps adaptation in the «soil - plant - man - machine - environment» [2]

Сегодня актуальность экологических вопросов в мире достигла такого уровня, что возникла необходимость в разработке системы действий, которые снижали бы негативное влияние человеческой деятельности на окружающую среду. Принципы такого подхода изложены в международных стандартах серии ISO 14000 и модели системы экологического управления PDCA (Plan-Do-Check-Act (планируй-делай-проверяй-действуй)) – непрерывного интерактивного процесса, который дает возможность организации разработать, внедрить и поддерживать экологическую политику. Указанная модель представляет организационную структуру, в которой нужно постоянно проводить мониторинг и периодический анализ для обеспечения экологического управления с учетом изменения внешних и внутренних факторов.

Одним из примеров использования названных подходов экологического управления может служить

интегрированная система управляемого земледелия, разработанная в УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11](рис. 4):

В соответствии с приведенным алгоритмом, система управляемого земледелия строится на принципах мониторинга агресурсных систем, адаптации агротехнологий на базе дефрагментации машинно-тракторного парка и системе экологического управления, которая включает программирование, гарантированно-адаптивное управление и многокритериальную экспертизу [12]. Все элементы интегрированной схемы объединяются информационно-управляющей системой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Институте на протяжении ряда лет проводится мониторинг агресурсных систем с использованием средств дистанционного зондирования Земли. Используя базу данных о состоянии окружающей среды, которая описывается более 20 показателями на глубину до 30 лет, а также информацию поточных наблюдений, сотрудники Института проводят исследования, связанные с прогнозированием урожайности основных сельскохозяйственных культур по административным областям Украины.

Принципы дефрагментации машинно-тракторных агрегатов базируются на разработанной в Институте научно-практической методике ранжирования, универсализации и интеллектуализации сельскохозяйственной техники.

Ранжирование предполагает определение и выбор лучшей машины типоразмерного ряда путем анализа показателей назначения, качества технологического процесса, экономии топлива, надежности, технологичности, эргономичности и безопасности.

Универсализация предусматривает выбор машины по пригодности к использованию на нескольких технологических операциях, а также приспособленности к осуществлению нескольких функций.



**Рис. 4.** Алгоритм системы управляемого земледелия УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

**Fig. 4.** The managed farming system algorithm at L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Интеллектуализация предусматривает использование средств автоматизированного контроля качества и управления технологическим процессом, связанных с системами пространственно-временного позиционирования.

Такие решения дают возможность сбалансировать и объединить экономические и экологические интересы производства, заранее согласовать экологические цели и задачи с конкретными финансовыми результатами деятельности, гарантированно направить ресурсы туда, где их использование дает наибольшую выгоду, как в финансовом, так и в экологическом аспекте.

Использовать элементы системы следует с учетом функций почвы, растений и микроорганизмов, а также максимального использования их потенциала в процессе производства продуктов питания. С учетом изложенного в УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого разработан и реализован проект «Биотехнология» [13] (рис. 5).

Растение, как любой живой организм, развивается в условиях сложных взаимодействий с объектами окружающей среды, основными из которых являются почва и микроорганизмы. Каждый из названных объектов выполняет свои специфические функции. К основным функциям растений относится фотосинтез, в процессе которого образуется органическое вещество, часть которого является источником питания микроорганизмов. Кроме того, растениями создаются условия для развития микрофлоры и регулируются агрохимические показатели почвы. Специфические функции почвы можно разделить на биологические, физические и химические. Микрофлора почвы выполняет свои функции в процессах минерализации, гумусообразования, а также кругообороте макро- и микроэлементов.

Технико-технологическое обеспечение проекта «Биотехнология» предполагает реализацию восьми отдельных технологических операций (табл. 1).

На все технологические операции сформулированы агротехнические требования: к качеству уборки, нормам внесения биодеструктора, глубине заделки растительных остатков, норме высева семян, глубине заделки сидерата, глубине чизелевания, глубине посева культуры, виду препаратов по уходу за посевами, а также его расходу и качеству внесения.

Матрица дефрагментированного парка машин (табл. 1) имеет три альтернативных варианта технико-технологических решений. Первый из них основан на однооперационных машинах, второй и третий – базируются на внедрении технических решений, объединяющих две операции в одну, чем достигается комплексный эффект, который имеет агротехническую, экономическую и биотехнологическую составляющие.

Предлагаемые два других совмещенных варианта – «одновременное внесение биодеструктора + заделка стерни» или «заделка стерни + посев сидерата» являются альтернативными приемами. Под эти технологические операции промышленность Украины предлагает новые разработки сельскохозяйственных машин, использование которых позволяет совместить операции, сократив их количество, ускорить гарантированное разложение стерни, максимально использовать отдачу биодеструктора, исключить потери влаги при посеве, улучшить условия прорастания семян, интенсифицировать в 5-10 раз рост и развитие микроорганизмов и сэкономить до 30% горюче-смазочных материалов.

Остальные операции, которые являются общими для всех трех альтернативных вариантов технико-техноло-

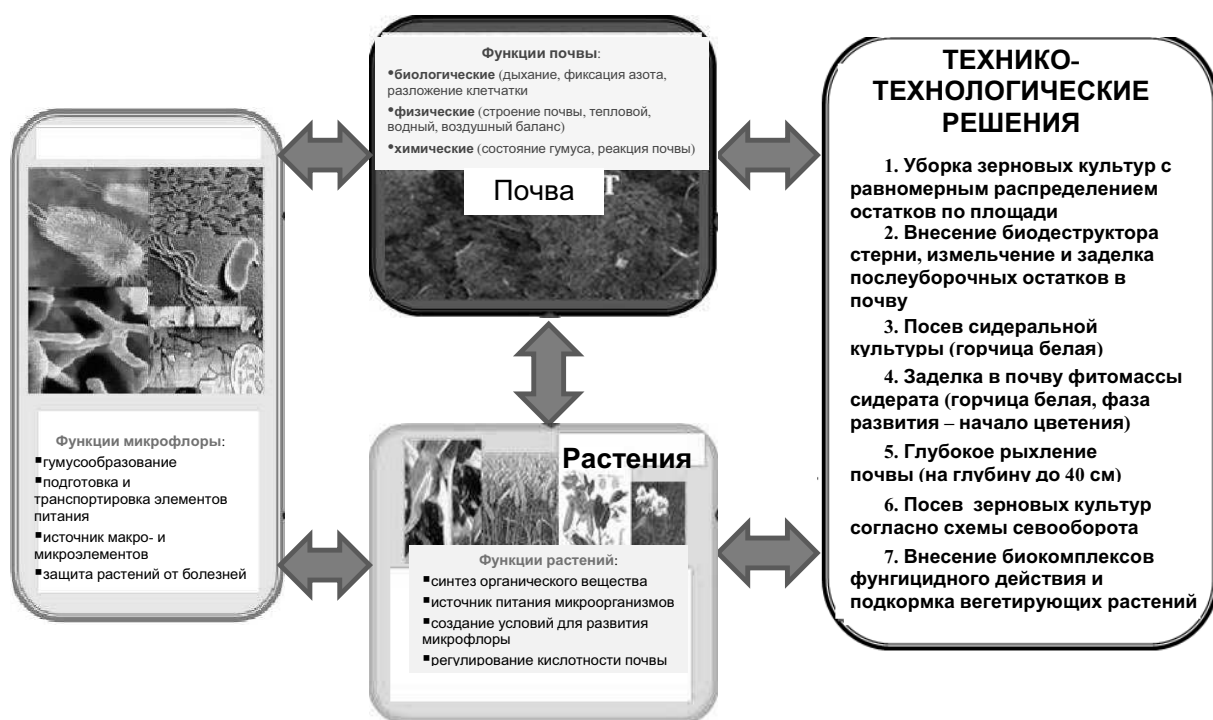


Рис. 5. Структурно-логическая схема проекта «Биотехнология»  
 Fig. 5. Structural and logic scheme of the «Biotechnology» project

**Таблица 1.** Дефрагментация машинно-тракторного парка – выбор его приемлемой структуры на принципах ранжирования, универсализации и интеллектуализации

**Table 1.** Defragmenting of machine-tractor fleet – choice of its acceptable structure on the principles of ranking, universalization and intellectualization

Наименование операции	Перечень машин			Средства интеллектуализации	Эффективность системы
Уборка зерновых культур	Жатка очесывающая ЖОН-8 с зерноуборочным комбайном «Акрос 530». Зерноуборочный комбайн «Акрос 530» с измельчением и равномерным распределением пожнивных остатков			Бортовая система CEVIS CLAAS	Определение проблемных участков; Объективный контроль уровня урожайности по полю; Оценка адаптированности составляющих технологий к почвенным условиям
Внесение биодеструктора стерни	Опрыскиватель ОП-2000	Агрегат внесения биодеструктора АГБЗ-4 с одновременной заделкой	Опрыскиватель ОП-2000	Навигационное оборудование Outback S3 Базовая станция RTK BASELINE HD	<i>Совмещение операций – экономия ресурсов (капиталовложений, персонала);</i> Устранение перекрытий и огрехов; Снижение затрат технологических материалов на 15%; Повышение продуктивности труда на 15%; Повышение урожайности до 15%;
Заделка стерни	Борона дисковая легкая прицепная БДЛП-8		Дископак Д-4 с посевным модулем Turbo-Jet		
Посев сидерата	Сеялка зернотуковая механическая СЗМ-4 «Ника»				
Дискование сидерата	Агрегат универсальный дисковый УДА-4,5				
Глубокая безотвальная обработка почвы	Чизель-глубококорытатель ЧГ-40-02				
Посев культуры	Сеялка зернотуковая механическая СЗМ-4 «Ника» Универсальная пропашная сеялка УПС-8/12				
Уход за посевами	Опрыскиватель ОП-2000				

гических решений, обеспечены парком машин украинского производства. Комплекс этих технологических операций позволяет заделать сидерат и обогатить пахотный слой органическим веществом, провести глубокое рыхление для обеспечения оптимального водно-воздушного, теплового и питательного балансов почвы, ускорить развитие микроорганизмов и обеспечить прибавку урожая (рис. 6).

Результаты применения биотехнологии на основе использования грунтовых и эндофитных микроорганизмов для ускоренного разложения пожнивных остатков и сидеральных удобрений для ускоренного вовлечения в кругооборот питательных веществ агробиоценоза свидетельствуют о её эффективности, в частности появляется возможность повышать содержание органического вещества в почве (рис. 6а), увеличивать запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы (рис. 6б), повысить урожайность и улучшить показатели экономической эффективности выращивания зерновых культур (рис. 6в).

## ВЫВОДЫ

Проект «Биотехнология» в УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого реализуется на протяжении нескольких лет. На основании полученных результатов разработана концепция адаптации сельскохозяйственных машин в процессе биологизации земледелия с применением информационно-управляющих систем (рис. 7), которая включает мониторинг агроресурсов, проектирование биотехнологий и подбор эффективных машин на принципах дефрагментации, а также управление технологическими операциями в пределах технологии.

Концепция является первым этапом применения информационно-управляющих систем на сельскохозяйственных машинах, накопления базы данных и знаний, перехода на второй, более сложный этап научных исследований – программирования, управления, экспертизы и многокритериальной оценки агробиотехнологий.

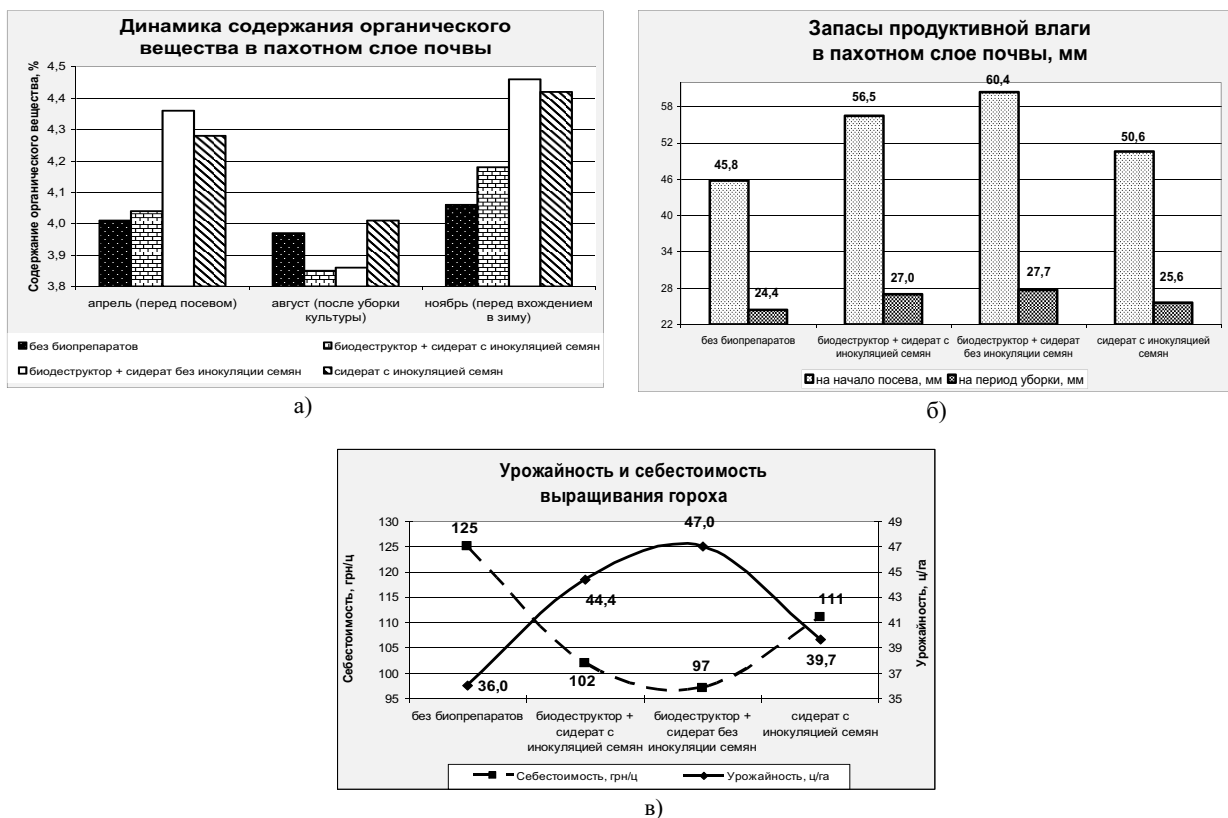


Рис. 6. Результаты двухлетних исследований в УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого по проекту “Биотехнология”  
 Fig. 6. The results of two years research at . L. Pogorilyy UkrNDIPVT on “Biotechnology” project



Рис. 7. Алгоритм адаптации сельскохозяйственных машин с применением информационно-управляющих систем, разработанный в УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого  
 Fig. 7. The adaptive algorithm of agricultural machinery using management information systems, developed at L. Pogorilyy UkrNDIPVT

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Кравчук В.І.** 2005. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин. Монографія. – К.: НАУ. – 208 с.
2. **Гуков Я.С., Дринча В.М.** 2012. Ресурси и приоритеты агроинженерной науки / Я.С. Гуков, В.М. Дринча. – К.: Феникс. – 536.
3. **Баранов Г., Міронова В., Любченко С.** Концепція побудови функціонально стійкого аграрного виробництва сільськогосподарської продукції. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Випуск 13(27). Книга 2. 39.
4. **Кравчук В., Любченко С., Ковтуненко О.** Інтегрована система технологій керованого землеробства. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Випуск 13(27). Книга 1. 117.
5. **Кравчук В., Любченко С., Баранов Г., Цулая А.** Принципи побудови, структура і склад інформаційної бази даних для формування АТЕК-завдань в системі керованого землеробства. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Випуск 13(27). Книга 1. 120.
6. **Любченко С.Е., Кравчук В.И.** 2009. Технико-технологические средства и программное обеспечение технологии внесения переменных доз минеральных удобрений. Материалы 6 международной научно-практической конференции «Экология и сельскохозяйственная техника» Том II, 40. Санкт-Петербург.
7. **Войновський В., Кравчук В., Любченко С., Сербій В.** 2009 Інтегрована система керованого землеробства – необхідний засіб новітніх технологій Журнал „Техніка і технології АПК“ №1, 32.
8. **Ковтуненко О., Кравчук В., Любченко С.** Інтегрована система керованого землеробства. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Випуск 13(27). Книга 2. 50.
9. **Цулая А., Кравчук В., Любченко С., Баранов Г.** Принципи побудови, структура і склад інформаційної бази для формування АТЕК – завдань в системі керованого землеробства. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Випуск 13(27). Книга 2. 53.
10. **Баранов Г.Л., Кравчук В.І., Любченко С.Є.** Методи та засоби оперативного контролю якості управління технологічними процесами раціонального землеробства. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Випуск 14(28), 7.
11. **Міронова В.Л., Кравчук В.І., Любченко С.Є., Баранов Г.Л.** Системні принципи гарантування функціональної стійкості виробництва продукції рослинництва. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Випуск 14(28), 17.
12. **Козелков С., Кравчук В., Любченко С., Баранов Г.** 2010 Прогноз розвитку технологій виробництва продукції рослинництва з використанням інформаційно-керуючих засобів // Техніка і технології АПК. № 4 (7). 4-5.
13. **Новохацький М.Л., Кравчук В.І., Нілова Н.П., Центило Л.В.** 2012 Досвід застосування біотехнологій у вирощуванні сільськогосподарських культур з використанням ендofітних та ґрунтових мікроорганізмів // Техніка і технології АПК. № 7(34). 19-22.

SCIENTIFIC ASPECTS OF TECHNICAL  
AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS  
IN AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGIES

**Summary.** The research results of crop production biotechnologies are cited, arable farming biologization engineering support tasks and ways of their solutions are formulated.

**Key words:** biotechnology, agricultural machines, information management tools, concept, development.

## Wpływ stopnia rozdrobnienia na efektywność zagęszczania słomy rzepakowej z dodatkiem lepiszcza

Ryszard Kulig, Grzegorz Łysiak, Stanisław Skonecki, Janusz Laskowski

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy,  
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin e-mail:ryszard.kulig@up.lublin.pl

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki badań nad określeniem wpływu stopnia rozdrobnienia słomy rzepakowej ( $d_{sr}$  od 0,82 do 1,96 mm) i dodatku lepiszcza (od 0 do 2%) na parametry procesu aglomerowania w warunkach modelowych. W szczególności wyznaczono podatność surowca na zagęszczanie oraz jakość uzyskiwanych aglomeratów. Stwierdzono, że w badanym przedziale wraz ze wzrostem średniej wielkości cząstek surowca, zwiększa się zapotrzebowanie energii zagęszczania od wartości 35,8 do 41,45 J•g<sup>-1</sup>. Jednocześnie zmniejsza się podatność materiału na zagęszczanie (średnio o – 11%). Wykazano, iż stopień zagęszczenia materiału w komorze, jak też aglomeratu, przyjmuje najwyższe wartości (odpowiednio 24,8 i 12,4) dla materiału o najmniejszym stopniu rozdrobnienia. Zaobserwowano, że 2% dodatek lepiszcza pozwala zredukować stopień rozprężenia aglomeratu średnio o 7% oraz zwiększyć odporność mechaniczną przeciętnie o 23%.

**Słowa kluczowe:** zagęszczanie, brykietowanie, stopień rozdrobnienia, lepiszcza, lignosulfonian wapnia, słoma rzepakowa.

### WSTĘP

Sprostanie założeniom strategii rozwoju energetyki odnawialnej, wiąże się z koniecznością wykorzystania do produkcji biopaliw odpadów z produkcji rolniczej. W tym kontekście szczególnie ważne jest wykorzystanie słomy rzepakowej. Związane jest to przede wszystkim z tym, że nie znajduje ona zagospodarowania w produkcji zwierzęcej, tak więc głównym kierunkiem jej utylizacji powinna być produkcja kompaktowanych biopaliw stałych [4].

Z wielu badań wynika, iż w procesie aglomerowania ciśnieniowego materiałów biologicznych, obok wilgotności materiału [5, 7, 15, 16], wyjątkowego znaczenia nabiera stopień jego rozdrobnienia [10, 11]. Wartość tego parametru wpływa zarówno na przebieg procesu, jak też jakość gotowego produktu [1, 2, 3]. Stosowanie nieodpowiedniego stopnia rozdrobnienia może z jednej strony prowadzić do bezużytecznej konsumpcji energii, z drugiej zaś powodować

otrzymywanie aglomeratu o nieodpowiednich właściwościach wytrzymałościowych.

Rozwiązaniem powyższego problemu może być również stosowanie lepiszczy organicznych lub syntetycznych [12, 14, 17]. Związki te wiążą rozdrobnione składniki mieszanki (działając podobnie do kleju), co poprawia stabilność i jakość aglomeratów. W konsekwencji zwiększa się wytrzymałość mechaniczna aglomeratów oraz następuje zmniejszenie całkowitych nakładów energetycznych ponoszonych przy ich produkcji. W przypadku aglomerowania materiałów biologicznych, doskonale sprawdzają się lepiszcza ligninowe [6, 9]. Bazują one na lignosulfonianach wapnia i sodu. Spotyka się także preparaty zawierające w swoim składzie odpowiednio spreparowaną skrobię oraz kwasy tłuszczowe. Lepiszczka stosowane są w różnych dawkach, zwykle jednak nie przekraczających 3% w skali wagowej stosowanego surowca. W odniesieniu do produkcji biopaliw stałych – zgodnie z obowiązującą w tym zakresie normą PN-EN 14961-1:2010 – dodatek ten nie powinien przekraczać 2%. Stosowanie lepiszczy ligninowych nie wpływa negatywnie na proces spalania biopaliwa, gdyż jest to substancja całkowicie spalająca się i nie zwiększająca ilości popiołu oraz zawartości obojętnej dla środowiska naturalnego.

Mając na uwadze powyższe, za cel pracy przyjęto wyznaczenie wartości parametrów charakteryzujących proces zagęszczania ciśnieniowego słomy rzepakowej, charakteryzującej się zmiennym stopniem rozdrobnienia i różną zawartością lignosulfonianu wapnia.

### MATERIAŁY I METODY

Materiał badawczy stanowiła słoma rzepakowa, zebrana w kampanii żniwnej 2012 roku. Surowiec rozdrabniano na rozdrabniaczu bijakowym H-950 wyposażonym w sita o wymiarach otworów f 4, 5, 7, 10 i 12 mm. Dla tak przygotowanego materiału określono skład granulometryczny

(zgodnie PN-EN 15149-2:2011), który posłużył do wyznaczenia średniego wymiaru cząstek po rozdrobnieniu wg wzoru:

$$d_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} h_i \cdot P_i}{100} \quad (\text{mm}), \quad (1)$$

gdzie:

$d_{sr}$  – średni wymiar cząstek, mm,  
 $h_i$  – średni wymiar otworów dwóch sąsiednich sit, mm,  
 $P_i$  – pozostałości cząstek zatrzymanych na danym sicie, %,  
 $n$  – liczba stosowanych sit.

Średni wymiar cząstek dla materiału rozdrabnianego przy zastosowaniu sit o wymiarach otworów f4, 5, 7, 10 i 12 mm wynosił odpowiednio: 0,82; 0,95; 1,32; 1,57 i 1,96 mm.

Zagęszczanie wykonano dla surowca o wilgotności 12%, do którego dosypywano odważoną porcją lepiszcza (lignosulfonian wapnia) w ilości odpowiadającej dodatkowi na poziomie 1 i 2%. Próbę kontrolną stanowił surowiec bez dodatku lepiszcza.

Badania ciśnieniowego zagęszczania wykonano zgodnie z metodyką przedstawioną przez Laskowskiego i Skoneckiego [8]. Zagęszczanie surowca prowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S, wyposażonej w zespół prasujący z matrycą zamkniętą o średnicy cylindra (komory zagęszczania) 15 mm. Warunki badań były następujące: masa próbki materiału 2g, temperatura cylindra (materiału zagęszczanego) 20°C, prędkość przemieszczania tłoka 10 mm·min<sup>-1</sup>, maksymalny nacisk jednostkowy tłoka 114 MPa. Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach.

Efektom pomiaru była krzywa (charakterystyka) zagęszczania – zależność siły zagęszczania od przemieszczenia tłoka. Na podstawie danych z charakterystycznych punktów krzywej wyznaczono: maksymalną gęstość materiału w komorze  $\rho_c$ , całkowitą pracę zagęszczania  $L_c$ . Obliczono współczynnik podatności materiału na zagęszczanie  $k_c$ :

$$k_c = \frac{L_c'}{(\rho_c - \rho_n)} \quad ((\text{J} \cdot \text{g}^{-1})/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})), \quad (2)$$

gdzie:

$\rho_n$  – gęstość początkowa materiału w komorze zagęszczania, g·cm<sup>-3</sup>,

$L_c'$  – jednostkowa praca zagęszczania, J·g<sup>-1</sup>.

Dla otrzymanego aglomeratu określono gęstość po 48 godzinach przechowywania  $\rho_a$ . Ponadto określono stopień zagęszczenia materiału w komorze  $S_{zm}$  i uzyskanego aglomeratu  $S_{za}$ , obliczane jako iloraz gęstości  $\rho_c$  i  $\rho_a$  do gęstości początkowej w komorze  $\rho_n$  ( $S_{zm} = \rho_c \cdot \rho_n^{-1}$ ,  $S_{za} = \rho_a \cdot \rho_n^{-1}$ ). Dla oceny spadku gęstości aglomeratu w wyniku ekspansji zwrotnej obliczono stopień rozprężania aglomeratu  $S_{ra}$  jako iloraz gęstości  $\rho_a$  i  $\rho_c$  ( $S_{ra} = \rho_a \cdot \rho_c^{-1}$ ).

Wyznaczono także wytrzymałość (odporność) mechaniczną aglomeratu  $\delta_m$ , określoną w teście ściskania „brazylijskim” [13]. Badania wykonano na maszynie wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S (prędkość głowicy ruchomej wynosiła 10 mm·min<sup>-1</sup>). Aglomerat o średnicy  $d$  i długości  $l$  ścisano między płaskimi płytami poprzecznie

do osi do momentu zniszczenia (pęknięcia) i wyznaczano maksymalną siłę niszczącą  $F_n$ . Odporność mechaniczną  $\delta_m$  obliczano ze wzoru:

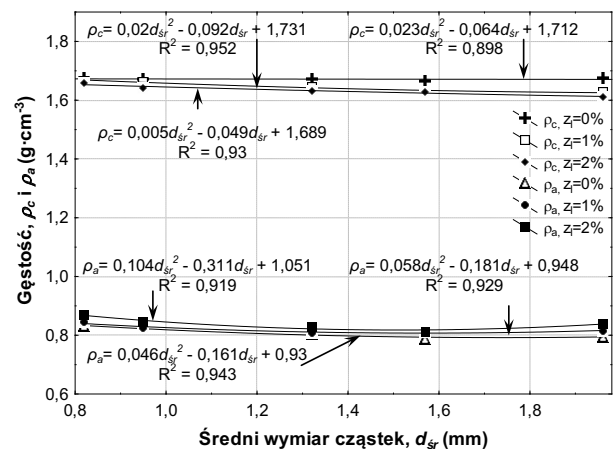
$$\sigma_n = \frac{2F_n}{\pi dl} \quad (\text{MPa}). \quad (3)$$

Analizę zależności pomiędzy zawartością lepiszcza w materiale badawczym i jego wilgotnością a parametrami procesu zagęszczania, wykonano przy wykorzystaniu procedur statystycznych zawartych w programie STATISTICA, przyjmując za każdym razem poziom istotności  $\alpha_i = 0,05$ .

## WYNIKI BADAŃ

Wyznaczono zależności pomiędzy parametrami procesu zagęszczania i cechami aglomeratu a średnim wymiarem cząstek surowca ( $d_{sr}$ ) dla każdego poziomu dodatku lepiszcza. Wykresy obrazujące te zależności oraz równania regresji i wartości współczynników determinacji  $R^2$  przedstawiono na rys. 1-5.

Z analizy wyników badań przedstawionych na rys. 1 wynika, że wraz ze wzrostem średniego wymiaru cząstek następuje niewielkie zmniejszenie maksymalnej gęstości materiału w komorze. Zjawisko to dotyczy wszystkich badanych materiałów. Zakres zmienności analizowanego parametru wynosi od 1,59 do 1,68 g·cm<sup>-3</sup>. Najwyższe gęstości otrzymano dla surowca bez dodatku lepiszcza.



**Rys. 1.** Zależność gęstości materiału w komorze ( $\rho_c$ ) i aglomeratu ( $\rho_a$ ) od średniego wymiaru cząstek surowca ( $d_{sr}$ ) dla różnych dodatków lepiszcza ( $z_i$ )

**Fig. 1.** Correlation between material density in the chamber ( $\rho_c$ ), agglomerate density ( $\rho_a$ ) and average particle size ( $d_{sr}$ ) at various binder content levels ( $z_i$ )

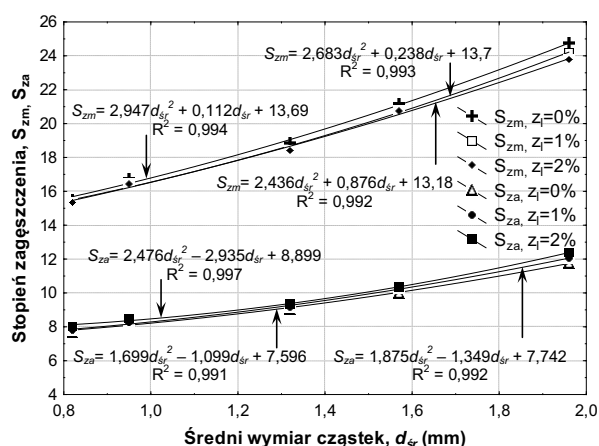
Natomiast w przypadku gęstości aglomeratu (rys. 1) wraz ze zmniejszaniem stopnia rozdrobnienia, wartość parametru również nieznacznie spada (najintensywniej w przedziale  $d_{sr}$  od 0,82 do 1,32). W tym przypadku najwyższą wartość parametru odnotowano dla surowca o  $d_{sr}=0,82$  mm z 2% dodatkiem lepiszcza (0,871 g·cm<sup>-3</sup>), najniższą zaś dla surowca o  $d_{sr}=1,96$  mm bez dodatku lepiszcza (0,78 g·cm<sup>-3</sup>).

Badania stopnia zagęszczania materiału w komorze i aglomeratu wykazują, że wartości parametrów rośnie wraz



ze zwiększaniem się średniego wymiaru cząstek, niezależnie od wartości dodatku lepiszcza do surowca (rys.2). Maksymalna gęstość materiału w komorze  $\rho_c$ , odniesiona do  $d_{sr}=0,82$  mm, jest przeciętnie 15,5 razy większa od gęstości początkowej materiału  $\rho_n$ . Natomiast dla  $d_{sr}=1,96$  mm, wartość gęstości wzrasta średnio o 24 razy.

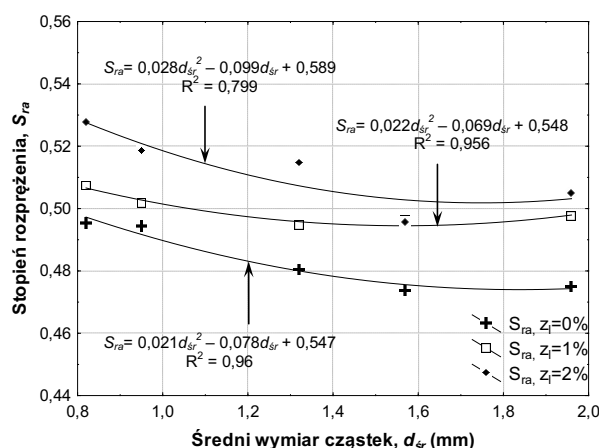
Z kolei z danych odnośnie wartości stopnia zagęszczenia aglomeratu (rys. 2) wynika, że gęstość gotowego produktu po przechowywaniu jest średnio 8 razy większa od gęstości początkowej materiału dla surowca o  $d_{sr}=0,82$ , i o 12 razy większa dla surowca o  $d_{sr}=1,96$  mm. Najwyższe wartości parametru dotyczą za każdym razem surowca z 2% dodatkiem lepiszcza.



Rys. 2. Zależność stopnia zagęszczenia materiału w komorze ( $S_{zm}$ ) i aglomeratu ( $S_{zd}$ ) od średniego wymiaru cząstek surowca ( $d_{sr}$ ) dla różnych dodatków lepiszcza ( $z$ )

Fig. 2. Correlation between the degree of material compaction ( $S_{zm}$ ), agglomerate compaction ( $S_{zd}$ ) and average particle size ( $d_{sr}$ ) at various binder content levels ( $z$ )

Potwierdzeniem powyższego są również wyniki otrzymane dla stopnia rozprężenia aglomeratu (rys. 3).

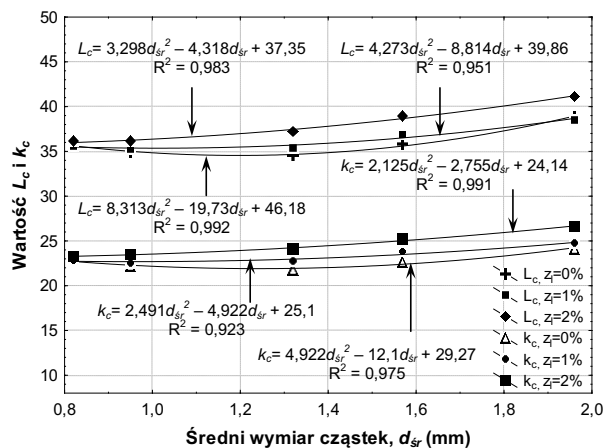


Rys. 3. Zależność stopnia rozprężenia aglomeratu ( $S_{ra}$ ) od średniego wymiaru cząstek surowca ( $d_{sr}$ ) dla różnych dodatków lepiszcza ( $z$ )

Fig. 3. Correlations between the degree of briquette expansion ( $S_{ra}$ ) and average particle size ( $d_{sr}$ ) at various binder content levels ( $z$ )

W przypadku produktu otrzymanego z materiału z 2% dodatkiem lepiszcza, niezależnie od zmiany wielkości rozdrobnienia surowca, wartość parametru  $S_{ra}$  jest średnio o 8% wyższa od wartości uzyskiwanej dla materiału kontrolnego.

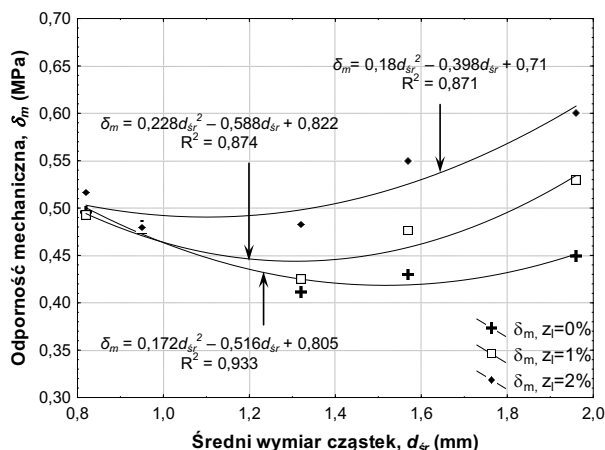
Zależności pomiędzy jednostkową pracą zagęszczania  $L_c$  i współczynnikiem materiału na zagęszczanie  $k_c$  a stopniem rozdrobnienia surowca  $d_{sr}$  przedstawiono na rys. 4. W całym zakresie badawczym wartość analizowanych parametrów rośnie wraz ze zwiększaniem średniego wymiaru cząstek surowca. Prawdopodobnie taka występuje w odniesieniu do wszystkich badanych materiałów. Wartość parametru  $L_c$  zawiera się w przedziale od 35,61 do 41,55  $J \cdot g^{-1}$ , a parametru  $k_c$  od 23,15 do 26,71  $(J \cdot g^{-1}) \cdot ((g \cdot cm^{-3}))^{-1}$ . Najwyższe wartości analizowanych parametrów odnotowano za każdym razem dla największego średniego wymiaru cząstek (1,96 mm) i najwyższej zawartości lepiszcza (2%). Należy przypuszczać, że zwiększanie dodatku lepiszcza do surowca wpływa na wzrost współczynnika tarcia cząstek materiału o siebie i ścianki komory zagęszczania. W konsekwencji prowadzi to do wzrostu wartości pracy zagęszczania jak też zmniejszenia podatności materiału na zagęszczanie.



Rys. 4. Zależność jednostkowej pracy zagęszczania ( $L_p$ ) i współczynnika ( $k_c$ ) od średniego wymiaru cząstek surowca ( $d_{sr}$ ) dla różnych dodatków lepiszcza ( $z$ )

Fig. 4. Correlation between compaction effort ( $L_c$ ), coefficient of susceptibility to compaction ( $k_c$ ) and average particle size ( $d_{sr}$ ) at various binder content levels ( $z$ )

Wyniki badań odporności mechanicznej aglomeratu (rys. 5) wykazują, że dla wszystkich badanych materiałów, najniższe wartości parametrów odnotowano dla  $d_{sr}=1,32$  mm. Minimalna wartość  $\delta_m$  (0,41 MPa) odnosi się do próby kontrolnej. Dla tego samego materiału, najwyższą wartość odporności (0,5 MPa), stwierdzono w przypadku surowca o największym stopniu rozdrobnienia. Natomiast dla materiałów zawierających lepiszcze, maksymalna odporność mechaniczna występuje w odniesieniu do najmniejszego stopnia rozdrobnienia, i dla  $z=2\%$  i wynosi 0,61 MPa. Różnice w wartościach analizowanego parametru – wynikające z oddziaływania lepiszcza – uwydatniają się wraz ze wzrostem wartości  $d_{sr}$ . Dla minimalnego rozdrobnienia, 2% dodatek lepiszcza, pozwala na średni wzrost wartości  $\delta_m$  o 33%.



Rys. 5. Zależność odporności mechanicznej aglomeratu ( $\delta_m$ ) od średniego wymiaru cząstek surowca ( $d_{sr}$ ) dla różnych dodatków lepiszcza ( $z$ )

Fig. 5. Correlation between mechanical strength of agglomerate ( $\delta_m$ ) and average particle size ( $d_{sr}$ ) at various binder content levels ( $z$ )

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można przedstawić następujące wnioski:

1. Stwierdzono, iż gęstość materiału w komorze zagęszczania – zarówno dla materiału bez dodatku lepiszcza, jak też z jego udziałem – zmniejsza się nieznacznie wraz ze zwiększaniem średniego wymiaru cząstek surowca średnio o -2,5%. Zmniejszanie stopnia rozdrobnienia surowca w badanym przedziale powoduje również zmniejszenie gęstości aglomeratu przeciętnie o 2%.
2. Stopień zagęszczenia materiału w komorze rośnie w całym badanym przedziale zmienności stopnia rozdrobnienia średnio o 55%. Z kolei stopień zagęszczenia aglomeratu wzrasta przeciętnie o 50%.
3. Zaobserwowano, że w najmniejszym stopniu rozpręga się aglomerat otrzymany z materiału o 2% zawartości lepiszcza. Średnie różnice między wspomnianym surowcem a próbą kontrolną wynoszą 8%.
4. Jednostkowa praca zagęszczania oraz współczynnik materiału na zagęszczanie zwiększają się wraz ze zwiększaniem średniego wymiaru cząstek surowca. Średnie zmiany w pierwszym przypadku wynoszą 11%, a w drugim 9%. Jednocześnie wykazano, iż wzrost dodatku lepiszcza wpływa na zmniejszenie podatności materiału na zagęszczanie.
5. Odporność mechaniczna aglomeratu (niezależnie od poziomu dodatku lepiszcza do materiału) przyjmuje najniższe wartości dla  $d_{sr} = 1,32$  mm. Natomiast najwyższe wartości parametru odnoszą się do  $d_{sr} = 0,82$  mm w przypadku próby kontrolnej i  $d_{sr} = 1,96$  mm w przypadku materiałów zawierających lepiszcze. Oddziaływanie lepiszcza na wartość niniejszego parametru uwidacznia się najistotniej dla materiału najmniej rozdrobnionego ( $d_{sr} = 1,96$  mm), gdzie wzrost odporności mechanicznej w stosunku do próby kontrolnej wynosi średnio 33%.

## LITERATURA

1. Kaliyan N., Morey V.R., 2009: Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33:337-359.
2. Kulig R., Laskowski J., 2002. Określenie zależności między stopniem rozdrobnienia nasion roślin strączkowych a parametrami procesu granulowania. *Inżynieria Rolnicza*, 7a, 155-163.
3. Kulig R., Laskowski J., 2006. Nakłady energii w procesie granulowania śrut pszenicy o różnym stopniu rozdrobnienia. *Motrol*, tom 8A, 187-192.
4. Kulig R., Laskowski J., 2011: The effect of preliminary processing on compaction parameters of oilseed rape straw. *Teka Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, vol. 11, 209-217.
5. Kulig R., Skonecki S., 2011. Wpływ wilgotności na parametry procesu zagęszczania wybranych roślin energetycznych. *Acta Agrophysica*, 17(2): 335-344.
6. Kulig R., Skonecki S., Łysiak G., 2012: The effect of binder addition on the parameters of compacted POP-LAR wood sawdust. *Teka Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, vol. 12: 87-91.
7. Kowalczyk-Juśko A., Kulig R., Laskowski J., 2011. The influence of moisture content of selected energy crops on the briquetting process parameters. *Teka Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, vol 11, 189-196.
8. Laskowski J., Skonecki S., 2001. Badania procesów aglomerowania surowców paszowych – aspekt metodyczny. *Inżynieria Rolnicza*, nr. 2(22), 187-193.
9. MacMahon M.J., Payne J.D., 1991: *The Pelleting Handbook*. Borregaard Lignotech, Sarpsborg Norway.
10. Mani S., Tabil L.G., Sokhansanj S., 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30(7), 648 – 654.
11. Relova I., Vignote S., León M.A., Ambrosio Y., 2009: Optimisation of the manufacturing variables of sawdust pellets from the bark of *Pinus caribaea* Morelet: Particle size, moisture and pressure. *Biomass and Bioenergy*, 33:1351-1357.
12. Restolho J.A., Prates A., de Pinho M.N., M.D., 2009: Sugars and lignosulphonates recovery from eucalyptus spent sulphite liquor by membrane processes. *Biomass and Bioenergy*, vol. 133, 1558-1566.
13. Ruiz G., Ortiz M., Pandolfi A., 2000. Three-dimensional finite-element simulation of the dynamic Brazilian tests on concrete cylinders. *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, 48, 963-994.
14. Sahoo S., Seydibeyo M.O., Mohanty A.K., Mishra M., 2011: Characterization of industrial lignins for their utilization in future value added applications. *Biomass and Bioenergy*, vol. 135, 4230-4237.
15. Skonecki S., Kulig R., 2011. Wpływ wilgotności biomasy roślinnej i nacisku tłoka na parametry brykietowania i wytrzymałość aglomeratu. *Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe*, 10, 375-386.
16. Skonecki S., Laskowski J., Kulig R., Łysiak G., 2012: Wpływ wilgotności materiału i średnicy komory na

parametry zagęszczania miska olbrzymiego. Acta Agrophysica vol. 20, nr. 1: 185-194

17. **Van Dam J. E. G., Van den Oever M. J. A., Teunissen W., Keijsers E. R. P., Peralta A. G., 2004:** Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: lignin as intrinsic thermosetting binder resin. Industrial Crops and Products, vol. 19, 207–216.

THE EFFECT OF FRACTIONATION DEGREE  
ON THE COMPACTION PARAMETERS OF OILSEED  
RAPE STRAW ENHANCED WITH A BINDER

**Summary.** This study determines the effect of fractionation degree of oilseed rape straw (d<sub>sr</sub> from 0,82 to 1,96 mm) and the

addition of a calcium lignosulphonate binder (from 0 to 20%) on compaction parameters under model conditions. The straw's susceptibility to compaction and the quality of the resulting briquettes were analyzed. An increase in average particle size led to an increase in energy demand from 35,8 to 41,45 J•g<sup>-1</sup>. The coefficient of susceptibility to compaction decreased by -18% on average. The degree of compaction of material and the degree of compaction of agglomerate it accepts the highest values (suitably 24,8 and 12,4) for material about the smallest fractionation degree. Observe, that 2% addition of binder permits to reduce the degree of briquette expansion average about 7% as well as to enlarge the mechanical strength of agglomerate about 23% on the average.

**Key words:** compaction, briquetting, particle size distribution, binder, calcium lignosulphonate, oilseed rape straw.



## The development strategies of the farms in Ukraine

Vasyl Lypchuk, Halyna Kozłowa

Lviv National Agrarian University,  
Dublany, str. V. Velykogo 1

**Summary.** The peculiarities and determinants, basics and special ways for elaboration and strategy development of farms have been considered in the paper. The necessity for economic, marketing and social criteria when choosing the strategy have been presented. On the basis of SWOT analysis the strategies for farm development taking into account their type and size have been offered: dynamic, existence on the market, exit market and vertical diversification.

**Key words:** farm, strategy, type of farm, SWOT analysis.

### INTRODUCTION

When Ukraine declared the independence its agriculture has undergone great transformation changes from planned and distribution type of economy to market system of farming. The new types of economic activities notably farms which were considered to be the main type of organization and legislation form of economic activities in many countries were formed. But their almost 20-year existence in agriculture of Ukraine became an indicative that they didn't prove to be a leading type of economic activity in Ukraine but still remaining the most perspective one. The reasons for that are many.

Having the goal of efficient operation as well as having the economic and social functions a farm has to choose the relevant operational strategy. Making the evaluation of its own potential and adjusting to the environment the farm can choose one of the alternatives of strategic activities.

Strategy is considered to be a key notion in the theory of strategic management. It is usually treated as a concept of operation and the way of using the existing and potential forces by the enterprise in order to cope with changes taking place in the surrounding but at the same time bringing into effect its own forces [4]. Today the strategy is transforming from the sphere of ideological constructions to the level of direct transformation power ready to act and its social

function is increasing as well as the cost of mistakes during creation and implementation period is rising<sup>1</sup>.

### RESULTS OF THE RESEARCH

The role of strategic forecasting for farming as a system arises from the necessity of total and final assertion of farming as a form of economic activity, the desire to achieve competitive advantages as to the most important opportunities and dangers that are produced by the surrounding. G. Hamel, C. K. Prahalad<sup>2</sup> emphasize that a new approach to the strategy requires understanding of what means to compete about the future [3].

The farming strategy should provide methods for farms as an organizational and legislation form of economic activity of how to use their strong sides, how to adapt to changes in the surrounding and at the same time achieving the goal of holding and developing the market. Farming strategy should be aimed at the total assertion of farms on the market and gaining strong positions with no way back.

The elaborated strategy for farming development should:

1. Detect the aggregate strategic goals that must be real;
2. Determine the concrete methods for achieving the strategic goals taking into account the means and the farm's operational experience on the market as well as acquiring them in future;
3. Determine the possibilities and ways for increasing the efficiency of market activity and methods of their achieving;
4. Identify the strategic factors for farming success;
5. Predict the risks and difficulties for farming in future.

<sup>1</sup> Жаліло Я. Економічна стратегія як категорія сучасної економічної науки// Екон. України.- №1, 2005.-с.-19

<sup>2</sup> Hamel G. , Prahalad C.K. – Warszawa : BusinessmanBook, Business Press, 1999. – S. 20.

When selecting and choosing the relevant strategy for farming development we must take into account:

1. The achieved level of farming development, availability of corresponding means and in the first place farmers' competences;
2. The possibility to increase the resource potential due to the search of appropriate resources both inside and outside the farm.
3. The surrounding in which the farms function is mainly a macro surrounding. That's why we shouldn't take into account such elements as expectations of the society, situation on sales market, competition, economic policy (inflation, tax and customs policies), economic, political and social situation. Elaboration of the strategy for farming development is a rather complex problem that must be adjusted to the already shaped trends and the main strategic directions of countryside development and agriculture. That's why when elaborating the strategic development of farms we must take into account that:

- The period of radical transformation of central planned economy was practically completed; the new economic system that is based on market economy has been set up however the transformation processes in the Ukrainian countryside have not been completed.
- The agriculture is in the critical stage of its development, i.e. in the period of transition from traditional to modern farming methods; in the stage of adaptation to European demands, radical changes in the production technologies and rural way of life.

The suggested strategy of farming development should correspond to three main criteria:

- economic, i.e. to provide the implementation of the farms' strategy as to the increase of profit, decrease of losses, raising the efficiency of economic activities;
- marketing, i.e. increasing the number of farms on the market of foodstuffs, assisting the concentration of farms and differentiation of their activities;
- social, i.e. to be useful for environment, to assist the professional activities, to create new job placements, to improve the working conditions, to raise the cultural and educational level of people employed on the farms.

The elaboration of efficient strategy for separate farm requires the skilful combination of the following elements: mission, goals, implementation methods, monitoring of fulfillment and control [1].

The mission of farms when taking into consideration their essence can be described as a production of sufficient in accordance with the demand of the market amount of high quality products in order to supply the population with foodstuffs.

To our mind, the main strategic goals of farms can be:

- existence of farming as an acceptable and socially necessary type of economic activity;
- growth of the number of farms and expanding their production potential;
- strengthening the positions on the market due to the increase of foodstuff volumes;

- providing the extended recreation of farms and welfare of farmer's family and recruited workers by means of maximizing the financial results;
- socially useful activities as to the region development, local community and society in general.

The evaluation of the farm position on the market is the basis for the elaboration of the corresponding strategy for farm activities. Different methods of strategic analysis can be used for this purpose. Application of SWOT analysis enabled to reveal the strong and weak sides of farms (in the context of five main fields of their activity: production, market, management, finances and marketing) and capabilities and dangers for their functioning (using PRESTCOM method) [7].

When elaborating the strategy for farm development we should take into account the following:

- for small farms – WT position, that is so-called mini-mini position, when weak sides are prevailing and significant dangers are expected in their further development;
- for middle-size farms – ST position, that is a situation when the farm has good conditions basically but significant problems are expected in the further development;
- for large-size farms – SO position, that is possessing quite big potential these farms have good perspectives for further development [6].

It seems like farms will develop in the context of entire agricultural development. Rational approach to the processes of recreation in agriculture will give answer to the question how the agriculture subjected to market mechanisms will develop<sup>3</sup>. Therefore, only the farms able to compete will remain on the market. Precisely this approach gives the understanding about the necessity to create different strategies for different types of farms (Fig. 1) [2, 5]:

1. Dynamic strategy that means expanding of agricultural production mainly of highly specialized type due to extension of resource potential.
2. The strategy of retaining on the market will be the most appropriate for the stable farms. With this aim they may extend their specialization or occupy the special price on the market that implicates the search of such a production field that will enable them to fight the competition without any extra efforts.
3. For stagnation farms the most appropriate seems to be the strategy of market exit or the vertical diversification of activities by means of combination the agricultural production with other types of activities. They may use the produced output. The other type of entrepreneurial activity is also quite appropriate for these farms.

It is wise to agree with R. Delano who noted that a good farmer in future will be well trained manager of his farm, time and energy aimed at the demands of consumers and the world. Functioning under conditions of high technologies he will introduce necessary innovations and respond to the signals of competitive market. At the same time the future development of agriculture will be the continuation of main development trends in the past and present (application and adaptation of new technologies, cost saving, integration with

<sup>3</sup> O. M. Kordoba. – Lviv: Magnolia-2006, 2010. – P. 177.

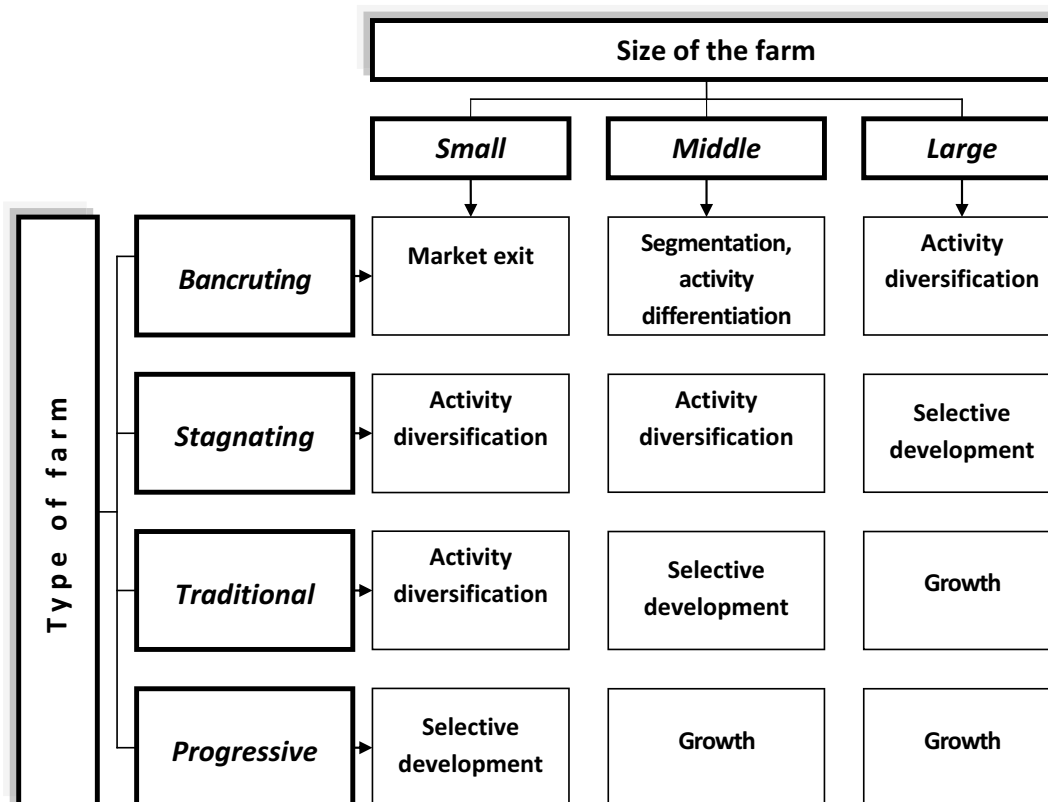


Fig. 1. Matrix of farms' strategy depending on their type and size

other enterprises, partnership between farm and science, concentration of farms and production, specialization, elasticity of activities, desire for success) [2].

#### CONCLUSIONS.

The further existence of farms as a system may be provided only on the basis of elaboration the strategy of their further development taking into account present conditions, the variety of farm types and in the context of further development of agriculture.

The main strategies of farm development regarding their types should be: segmentation, activity differentiation and diversification, selective development, growth and market exit. The choice of the appropriate strategy should be adjusted to the activity goals and the potential of the concrete farm.

The special problem for farms is land availability. The main limited factor as to further development of farms is land supply situation. It is for this reason that large size farms are the most perspective in Ukraine.

#### REFERENCES

1. **Bogdanienko I. W Bogdanienko I. 2002.** W poszukiwaniu przyszłości / I. Bogdanienko // Zarządzanie strategiczne firmą. – Białystok.
2. **Delano R. B. 2001.** The Farmer as an Innovate Survivor // Agriculture in the Twenty-First Century – 188
3. **Hamel G. 1999.** Przewaga konkurencyjna jutro. Strategie podejmowania kontroli nad branżą i tworzenia rynków przyszłości / Hamel G. , Prahalad C.K. – Warszawa: BusinessmanBook, Business Press – 20.
4. Profil Impact of Market Strategies // Thompson J. Strategie Management / J. Thompson. – London : Chapman & Hall, 1993.
5. **Zhalilo Ya. 2005.** Economic strategy as a category of present economic science // Economy of Ukraine. – №1, 19-27
6. **Lypchuk V.V. 2010.** Farms: conditions, problems and development strategy / V.V.Lypchuk, L.B. Hnatyshyn, O. M. Kordoba . – Lviv : Magnolia-2006 – 218.
7. Marketing analysis: course book. / [Lypchuk V.V., Yatsiv I.B., Hoshko B.M., Hoshko O. Y.]. – K. : Akademvydav, 2008 – 216.

#### СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ В УКРАИНЕ

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности детерминанты, основы и особенности формирования стратегии фермерских хозяйств. Отмечается необходимость применения экономического, рыночного и общественного критериев выбора стратегии. На основании проведения SWOT-анализа предлагаются стратегии хозяйств в зависимости от их типа и размеров: динамические, пребывания на рынке, стратегии выхода из рынка и вертикальной диверсификации

**Ключевые слова:** фермерские хозяйства, стратегия, тип хозяйства, SWOT-анализ.





## **Analiza porównawcza z zastosowaniem MES wybranych kształtów protektora pneumatycznego mechanizmu jezdnych ze względu na propagację nacisków w glebie**

*Włodzimierz Malesa*

Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa Lądowego, Mechaniki i Petrochemii,  
Katedra Inżynierii Systemów Mechanicznych i Automatyki  
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock, e-mail: polsw@pw.plock.pl

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono zastosowanie systemów CAD i metody elementów skończonych (MES), w analizie porównawczej propagacji nacisków w glebie pneumatycznych mechanizmów jezdnych o różnym kształcie protektora. Wykonano model rozkładu nacisków powierzchniowych oraz obliczenia naprężeń powstałych w glebie. W następstwie uzyskanych wyników obliczeń teoretycznych została przeprowadzona analiza porównawcza wartości wyznaczonych nacisków z uzyskanymi wynikami w trakcie badań laboratoryjnych. Przeprowadzono optymalizację doboru wartości wybranej cechy geometrycznej protektora daszkowego ze względu na minimalizację nacisków w glebie na wybranych głębokościach pomiarowych.

**Słowa kluczowe:** oddziaływanie opony na glebę, komputerowo wspomagane projektowanie, metoda elementów skończonych, propagacja naprężeń w glebie, optymalizacja.

### WPROWADZENIE

Oddziaływanie mechanizmów jezdnych na podłoże ma bardzo istotne znaczenie z wielu względów, np.: agrotechnicznych, ale również trakcyjnych. Obciążenia przenoszone na glebę wywołują zmiany jej struktury poprzez zwiększenie zagęszczenia. Prowadzi to do gorszego rozwoju mikroorganizmów i fauny glebowej, co bezpośrednio przekłada się na gorsze plonowanie roślin. W przypadku maszyn roboczych ciężkich (przemysł budowlany, pojazdy o przeznaczeniu wojskowym) dąży się do maksymalnego zwiększenia sił trakcyjnych pojazdów [6], co wywołuje wzrost nacisków wywieranych przez elementy jezdne na odkształcalne podłoże. Jednakże i w tym przypadku istnieje wartość graniczna nacisków określona nośnością gruntu, po przekroczeniu której wspomniane maszyny nie mogą właściwie funkcjonować [2, 3, 8, 12, 15].

Naciski jednostkowe występujące na powierzchni kontaktu opony z podłożem mają bezpośredni związek ze zjawiskiem ich rozprzestrzeniania się w głąb ośrodka, po którym przemierza się układ jezdny, zarówno w płaszczyźnie wzdłużnej

jak i poprzecznej do kierunku jazdy [4, 5, 10, 15, 17]. Umiejętność wyznaczania mapy propagacji nacisków w podłożu umożliwi racjonalny dobór parametrów konstrukcyjnych elementów jezdnych (m.in. kształt opon) ze względu na minimalizację wartości nacisków lub też ograniczenie zjawiska przekraczania nośności granicznej (maszyny budowlane).

Celem niniejszego opracowania było zastosowanie nowoczesnych metod modelowania cyfrowego i obliczeń numerycznych z zastosowaniem systemów CAD oraz MES w procesie określenia wpływu kształtu i geometrii bieżnika wybranej opony na propagację nacisków w podłożu.

Zastosowanie MES w omawianej dziedzinie ma istotne znaczenie ze względów ekonomicznych, gdyż badania laboratoryjno-pólowe wymagają poniesienia znacznych kosztów finansowych, z uwagi na wysoką cenę urządzeń pomiarowych oraz konieczność dysponowania odpowiednio przygotowanym terenem. Ponadto zastosowanie MES eliminuje problem sezonowości badań, który ma miejsce w przypadku prac polowych.

### MODELE PRZYKŁADOWYCH OPON Z WYBRANYMI WARIANTAMI KONSTRUKCJI BIEŻNIKA WYKONANE W SYSTEMIE CAD

Wykorzystując metody modelowania bryłowego w systemach CAD opracowano modele cyfrowe trzech wariantów opony z bieżnikiem łukowym oraz trzy przykłady opony z daszkową rzeźbą protektorów. Wszystkim modelom nadano cechy geometryczne i materiałowe odpowiadające oponie Stomil 14.9R28/8PR.

Poszczególne modele bieżnika różnią się kształtem protektora (łukowy, daszkowy) oraz kątem  $\beta$  jego pochylenia mierzonego do osi zgodnej z kierunkiem jazdy (śląd opony) koła napędowego (rys. 2). Poniższa tabela przedstawia przyjęte do dalszej analizy wartości kąta  $\beta$  ustawienia protektora dla wszystkich zaplanowanych w badaniach wariantów.



**Rys. 1.** Cyfrowy model bryłowy koła napędowego z oponą 14.9R28/8PR

**Fig. 1.** Digital solid model of wheel driver with tire 14.9R28/8PR

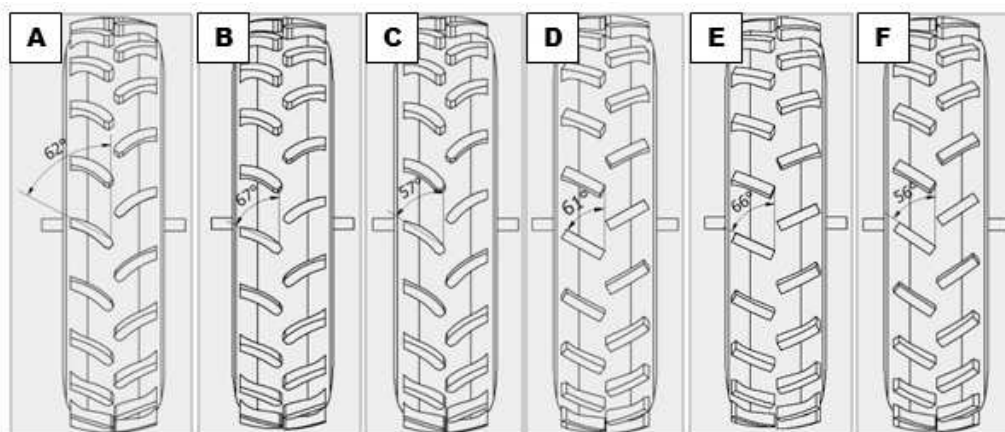
nacisków w podłożu pod działaniem statycznej siły obciążającej oś koła napędowego.

#### OBLICZENIA PROPAGACJI NACISKÓW W PODŁOŻU DLA WYKONANYCH MODELI OPON Z ZASTOSOWANIEM MES

Obliczenia propagacji nacisków w podłożu przeprowadzono z zastosowaniem analizy MES. Proces modelowania i obliczeń wykonano w środowisku Autodesk Inventor v. 2013, z wbudowanym modułem MES. Zadanie zostało zrealizowane w następujących etapach [6, 7, 11, 16, 19, 20]:

- utworzenie modelu geometrycznego obiektu,
- dobór własności materiałowych,
- utworzenie siatki elementów skończonych,
- określenie strefy kontaktu i typu kontaktu,
- wprowadzenie warunków brzegowych,
- rozwiązanie zadania,
- prezentacja wyników obliczeń.

Dyskretyzacja obszaru analizy polegała na wygenerowaniu siatki elementów skończonych dla wszystkich modeli cyfrowych tworzących układ jezdny (felga, opona, gleba).



**Rys. 2.** Przykładowe warianty modeli opon wykorzystane do obliczeń rozkładu nacisków w podłożu

**Fig. 2.** Exemplary embodiments of tire models used to calculation of stress propagation

**Tabela 1.** Wartości kąta pochylenia bieżnika dla badanych wariantów modeli cyfrowych opon

**Table 1.** Angle slope of studied variants of tire tread

nr wariantu	A	B	C	D	E	F
kąt pochylenia bieżnika $\beta$	62°	67°	57°	61°	66°	56°

Bazowym modelem odniesienia jest wariant A odpowiadający rzeczywistej oponie 14.9R28/8PR. Warianty B oraz C zawierają modyfikację kąta pochylenia  $\beta$  bieżnika znajdującego się w zbiorze wartości (-5°, +5°) w stosunku do wartości kąta odniesienia (62°). Analogicznie dla przypadku protektora daszkowego bazowa wartość kąta odniesienia  $\beta$  wynosiła 61°, natomiast w wariantach E i F dokonano modyfikacji kąta pochylenia o wartości -5° oraz +5° w stosunku do wariantu bazowego. Opracowanie ww. wariantów bryłowych modeli opon pozwoliło na określenie wpływu kształtu oraz kąta pochylenia bieżnika na rozkład

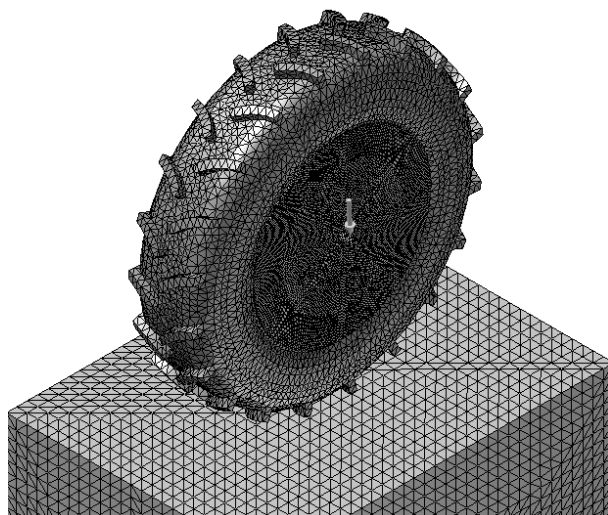
Przed utworzeniem siatki wprowadzono do systemu następujące dane konfiguracyjne [18]:

- średnia wielkość elementu w odniesieniu do maksymalnych wymiarów bryły: 0.03,
- minimalna wielkość elementu (ułamek wielkości średniej): 0.2,
- współczynnik gradacji: 1.5,
- maksymalny kąt trójkąta siatki: 60°,
- włączona opcja pomiaru elementów siatki w oparciu o wielkość zespołu.

Przyjęcie powyższych parametrów siatki poprzedził długotrwały, iteracyjny proces weryfikacji różnych wariantów jej ustawienia. Proces ten prowadzony był do momentu, gdy zwiększenie gęstości siatki nie powodowało poprawienia dokładności wyników i jednocześnie były możliwe do wykonania obliczenia przez system komputerowy w akceptowalnym czasie. Dla wyżej wymienionych parametrów analiza numeryczna MES dla jednego wariantu

trwała w przybliżeniu 60 min. na komputerze wyposażonym w dwa czterordzeniowe procesory Xeon firmy Intel z pamięcią operacyjną 16 GB.

W efekcie wygenerowano siatkę dla wszystkich zaplanowanych wariantów modeli cyfrowych układu koło-podłoże. Modele dyskretne poszczególnych wariantów różnią się nieznacznie liczbą elementów i liczbą węzłów, co jest uwarunkowane różnicami w ich budowie geometrycznej. Na rysunku nr 3 zamieszczono przykładowy model dyskretny (wariant A) odpowiadający oponie 14.9R28/8PR.



**Rys. 3.** Dyskretyzacja obszaru analizy  
**Fig. 3.** Discretion of the area of analysis

Warunki brzegowe badanego układu zostały zdefiniowane przy pomocy narzędzi dialogu graficznego modułu MES. Zdefiniowano jedno wiązanie stałości (brak możliwości przemieszczenia) oraz dwa wiązania przesuwne (pozostawia możliwość obrotu i przesunięcia w wybranej płaszczyźnie odniesienia). Konfiguracja wiązań została zaplanowana w taki sposób, aby odpowiadała warunkom laboratoryjnym w kanale glebowym, wyposażonym w urządzenie Trak [4]. Było to podyktowane koniecznością weryfikacji wyników obliczeń MES z wartościami uzyskanymi na drodze doświadczalnej, dlatego odtworzono cechy kanału glebowego w modelu cyfrowym.

W badanym modelu wprowadzono następujące obciążenia:

- siła  $G$  przyłożona do osi koła, na kierunku prostopadłym do powierzchni podłoża o wartościach: 10kN, 7 kN,
- ciśnienie napompowania  $p_0=225$  kPa.

### WYNIKI OBLICZEŃ MES

Obliczenia wytrzymałościowe naprężeń powstających w ośrodku glebowym oparto na hipotezie Hubera-Misesa-Henckiego zaimplementowanej w systemie wykorzystywanym do analizy, zgodnie z poniższą zależnością:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3\tau_{xy}^2 + 3\tau_{yz}^2 + 3\tau_{zx}^2} \quad (1)$$

Zgodnie z metodyką pomiarów rozkładu naprężeń w ośrodku glebowym realizowanych w warunkach laboratoryjnych (kanał glebowy) oraz w badaniach polowych wyznaczono składową normalną naprężeń obliczonych w systemie MES. Składowa normalna naprężeń  $s_n$  w przyjętym układzie odniesienia ma następującą postać [13]:

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_y^2 + 3\tau_{yx}^2 + 3\tau_{yz}^2}, \quad (2)$$

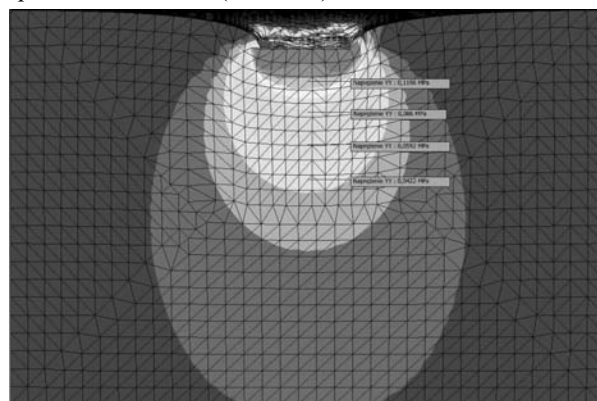
gdzie:

$$\sigma_x = 0,$$

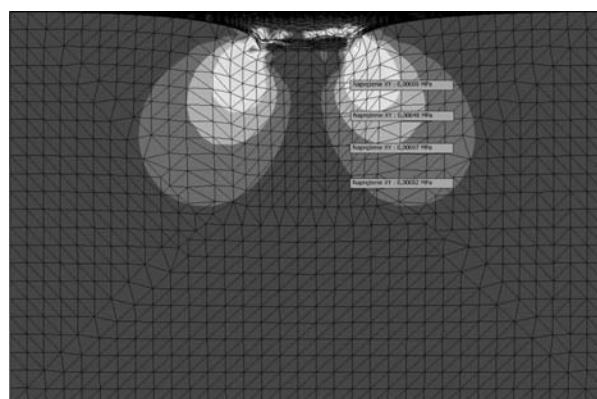
$$\sigma_z = 0,$$

$$\tau_{xz} = 0.$$

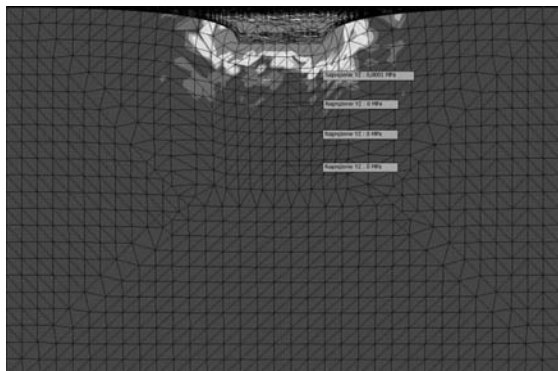
Poniżej przedstawiono mapy rozkładu naprężeń w podłożu, w płaszczyźnie prostopadłej do osi jazdy, na której znajduje się oś koła, dla przykładowego przypadku obciążenia  $G=10$  kN. Wyniki przedstawiono dla modelu opony odpowiadającego własnościami materiałowymi i kształtem oponie 14.9R28/8PR (wariant A).



**Rys. 4.** Rozkład naprężeń  $s_y$  – wariant A, obciążenie  $G=10$  kN  
**Fig. 4.** Stress distribution  $s_y$  – variant A, force  $G=10$  kN



**Rys. 5.** Rozkład naprężeń  $t_{yx}$  – wariant A, obciążenie  $G=10$  kN  
**Fig. 5.** Stress distribution  $t_{yx}$  – variant A, force  $G=10$  kN



**Rys. 6.** Rozkład naprężeń  $t_{yz}$  – wariant A, obciążenie  $G=10$  kN  
**Fig. 6.** Stress distribution  $t_{yz}$  – variant A, force  $G=10$  kN

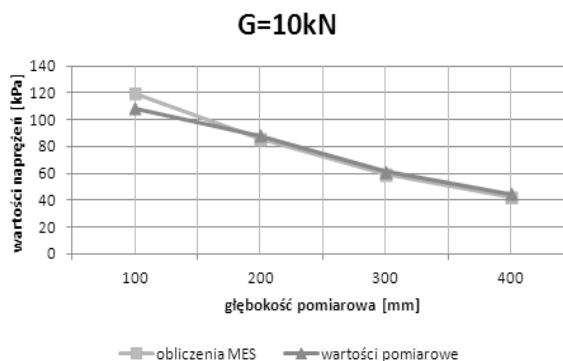
Analizie poddano wartości składowych naprężeń zarejestrowanych w osi kolejiny koła na następujących głębokościach pomiarowych: 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm. Na podstawie wyznaczonych za pomocą MES składowych naprężeń ( $s_y, t_{yx}, t_{yz}$ ) obliczono wartości  $s_n$  zgodnie z zależnością (2).

#### WERYFIKACJA UZYSKANYCH WYNIKÓW OBLICZEŃ

Uzyskane wyniki obliczeń z wykorzystaniem MES porównano z wynikami laboratoryjnymi wykonanymi dla opony Stomil 14.9-28/8PR. Do analizy porównawczej wykorzystano wyniki badań laboratoryjnych zamieszczonych w [3].

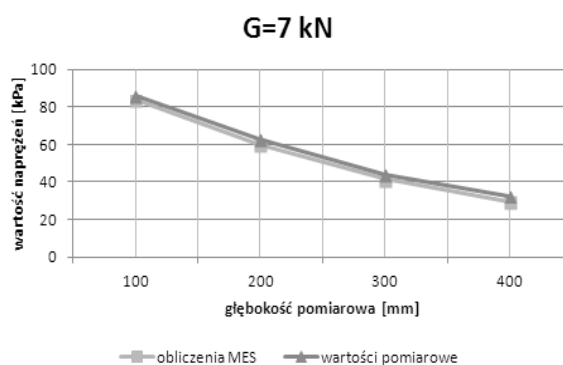
Wyniki pomiarowe i obliczone metodą MES wykazują istotne podobieństwo czego dowodem są wartości różnic względnych, które nie przekraczają  $\pm 10\%$  na wszystkich głębokościach podłoża.

Aby poprawić dokładność obliczeń należy w dalszych badaniach zmodyfikować model dyskretny podłoża i współpracującej z nim opony, m.in. poprzez zastosowanie elementów izoparametrycznych. Kolejnym krokiem będzie budowa cyfrowych modeli czujników umieszczonych w modelu



**Rys. 7.** Porównanie obliczeń MES i wyników zarejestrowanych w badaniach laboratoryjno-polowych ( $G=10$  kN)

**Fig. 7.** Comparison of FEM calculations with laboratory and field measurements ( $G=10$  kN)



**Rys. 8.** Porównanie obliczeń MES i wyników zarejestrowanych w badaniach laboratoryjno-polowych ( $G=7$  kN)

**Fig. 8.** Comparison of FEM calculations with laboratory and field measurements ( $G=10$  kN)

podłoża, dzięki czemu, przy zastosowaniu metody obliczeń naprężeń kontaktowych, możliwe będzie dokładne odwzorowanie warunków laboratoryjnych, co w konsekwencji pozwoli na osiągnięcie większej zgodności wyników.

**Tabela 2.** Porównanie obliczeń MES z pomiarami laboratoryjnymi

**Table 2.** Comparison of FEM calculations with laboratory measurements

Głębokość [mm]	G=10kN			G=7kN		
	obliczenia MES $\sigma_n$ [kPa]	wartości pomiarowe $s_n$ [kPa]	różnica [%]	obliczenia MES $\sigma_n$ [kPa]	wartości pomiarowe $s_n$ [kPa]	różnica [%]
100	119,6	108,2	9,53%	83,7	85,6	2,27%
200	86,0	88,1	-2,44%	60,2	62,5	-3,82%
300	59,2	61,4	-3,72%	41,5	44,0	-6,02%
400	42,2	44,8	-6,16%	29,5	32,4	-9,83%

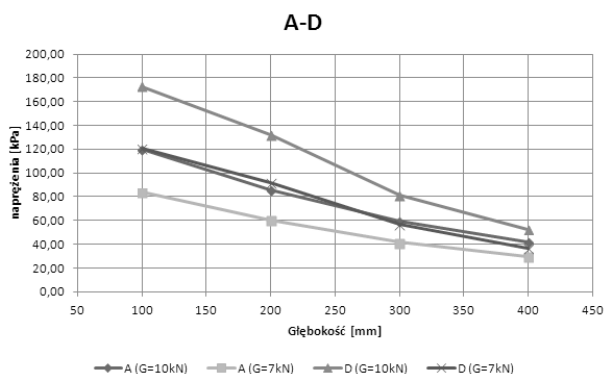
**Tabela 3.** Porównanie wartości naprężeń (A-D)

**Table 3.** Comparison of stress values (A-D)

wariant bieznika	A (łukowy)		D (daszkowy)		względny przyrost	
obciążenie	10 kN	7 kN	10 kN	7 kN	10 kN	7 kN
naprężenie $\sigma_n$	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]		
głębokość pomiarowa [mm]	100	119,60	83,70	172,90	120,70	30,83%
	200	86,00	60,20	132,20	91,90	34,95%
	300	59,20	41,50	81,50	57,00	27,36%
	400	42,20	29,50	52,70	36,50	19,92%

Uzyskane wyniki obliczeń MES pozwoliły na określenie wpływu geometrii bieżnika na wartości naprężeń powstałych w ośrodku glebowym. Analizę dokonano w dwóch obszarach. Określono wpływ rodzaju bieżnika oraz jego kąta nachylenia do kierunku osi jazdy na rozkład naprężeń.

Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla dwóch kształtów protektora: łukowego, warianty A, B, C, oraz daszkowego, warianty: D, E, F, (rys. 2). Dokonano porównania wartości naprężeń dla przypadku konstrukcji bieżnika o podobnym kącie pochylenia protektora (pary: A-D, B-E oraz C-F).



Rys. 9. Porównanie wartości naprężeń dla wariantów bieżnika A oraz D

Fig. 9. Comparison of stress values for A and D variants of tire treads

Porównanie wartości obliczonych naprężeń dla określonych kształtów bieżnika (łukowy i daszkowy) dowodzi, że:

- opony z bieżnikiem łukowym generują mniejsze naprężenia na każdej głębokości pomiarowej,
- względna różnica wartości naprężeń może dochodzić nawet do 35% na niekorzyść bieżnika daszkowego,
- odchylenie kąta bieżnika o  $\beta = \pm 5^\circ$  zmniejsza względną różnicę naprężeń, która na głębokościach ( $h=200$  mm oraz  $h=400$  mm) nie przekracza 1%.

#### PROBLEMATYKA OPTIMALNEGO WYBORU KSZTAŁTU PROTEKTORA ZE WZGLĘDU NA MINIMALIZACJĘ WARTOŚCI NACISKÓW W GLEBIE

Na drodze obliczeń numerycznych wykazano, że opony z daszkowym kształtem bieżnika generują większe naprężenia w podłożu niż opony z bieżnikiem łukowym. Jest to spowodowane większą powierzchnią kontaktu z glebą protektora łukowego, co bezpośrednio wpływa na zmniejszenie nacisków powierzchniowych, a w konsekwencji zmniejszenie naprężeń na badanych głębokościach podłoża. Jednakże opony daszkowe mają oczywistą przewagę nad łukowymi ze względu na prostotę geometrii, a co za tym idzie tańszy proces technologiczny produkcji. Zaistniała zatem potrzeba znalezienia takiego kąta pochylenia protektora daszkowego  $\beta'$ , przy którym naprężenia generowane w podłożu byłyby najmniejsze [1], a nawet porównywalne z wynikami wyznaczonymi dla opon łukowych.

W tym celu wykonano następujące czynności:

- wyznaczono zależność postaci  $\sigma = \sigma(\beta)$  dla wszystkich głębokości pomiarowych  $h$  i wartości obciążenia  $G$  z wykorzystaniem aproksymacji wielomianem drugiego stopnia o postaci:

$$\sigma = a\beta^2 + b\beta + c, \quad (3)$$

- dla każdego przypadku obliczeniowego wyznaczono wartość  $\beta'$  z równania:

$$\frac{d\sigma}{d\beta} = 0, \quad (4)$$

- obliczono wartość średnią  $\beta'_{\text{śred}}$  dla wszystkich wyznaczonych wartości  $\beta'(i)$  ( $i$  – numer obliczanego przypadku opisany w tabeli nr 13), zgodnie z zależnością:

$$\sigma'_{\text{śred}} = \frac{\sum_{i=1}^n \beta'(i)}{n}, \quad n=8 \quad (5)$$

- wyznaczono wartości naprężeń  $\sigma(i)$  dla każdego przypadku obliczeniowego, zgodnie z zależnością:

$$\sigma(i) = a(i)\beta'^2_{\text{śred}} + b(i)\beta'_{\text{śred}} + c(i), \quad (6)$$

- porównano obliczone przy pomocy MES wartości  $\sigma$  z wartościami  $\sigma(i)$ .

**Tabela 4.** Porównanie wartości naprężeń wyznaczonych za pomocą MES dla bieżnika łukowego (wariant A) z wartościami  $\sigma(\beta'_{\text{śred}})$  dla bieżnika daszkowego

**Table 4.** Comparison of stress values calculated using FEM method for tread arc (variant A) with  $\sigma(\beta'_{\text{śred}})$  for herringbone tread

obciążenie G		10 kN		
		naprężenia	$\sigma_{\text{MES}}$ [kPa]	$\sigma(\beta'_{\text{śred}})$ [kPa]
głębokość pomiarowa [mm]	100	119,60	167,76	28,71%
	200	86,00	130,06	33,88%
	300	59,20	80,80	26,73%
	400	42,20	52,43	19,51%
obciążenie G		7 kN		
		naprężenia	$\sigma_{\text{MES}}$ [kPa]	$\sigma(\beta'_{\text{śred}})$ [kPa]
głębokość pomiarowa [mm]	100	83,70	117,29	28,64%
	200	60,20	89,95	33,07%
	300	41,50	56,73	26,85%
	400	29,50	36,20	18,51%

Opona z bieżnikiem daszkowym o optymalnym kącie nachylenia do osi jazdy generuje większe naprężenia w podłożu niż opona z łukowym zarysem protektora. Należy jednak zauważyć, że zmniejszyła się względna różnica naprężeń dla analogicznych obciążeń ( $G$ ) i głębokości pomiarowych ( $h$ ). Optymalny kąt nachylenia bieżnika daszkowego, przy którym propagacja naprężeń osiąga najmniejsze wartości, wyniósł **58,23°**.

Z powyższej analizy wynika, że geometria bieżnika ma znaczący wpływ na propagację naprężeń w podłożu. Określenie optymalnego kąta nachylenia bieżnika do kierunku osi jazdy pozwoli na zastosowanie opon o prostszej geometrii bieżnika, np. daszkowej bez znaczącego wzrostu wartości naprężeń w głębi ośrodka glebowego.

Celem sprawdzenia poprawności zaproponowanej metody wyznaczania optymalnej wartości kąta nachylenia bieżnika wykonano model cyfrowy koła dla wyznaczonego na drodze obliczeń aproksymacyjnych kąta  $\beta=58,23^\circ$ . Zgodnie z wcześniejszymi założeniami zadanie wykonano dla przypadku bieżnika daszkowego.

Za pomocą MES wyznaczono rozkład naprężeń w podłożu dla ustalonych głębokości pomiarowych  $h_i$  (100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm) oraz wartości obciążenia osi koła  $G$  (7kN, 10 kN). W tabeli nr 6 przedstawiono wartości naprężeń zredukowanych, obliczonych zgodnie z zależnością (2) dla składowych naprężeń obliczonych za pomocą MES ( $\beta=58,23^\circ$ ) oraz wyznaczonych metodą aproksymacji (tabela nr 5).

**Tabela 5.** Porównanie wartości naprężeń wyznaczonych za pomocą MES oraz obliczonych wg funkcji aproksymującej  
**Table 5.** Comparison of stress values calculated using FEM method with calculated approximating function

rodzaj obliczeń	MES	Aproksymacja	różnica względna	
obciążenie G	7 kN			
głębokość pomiarowa [mm]	100 mm	121,76	117,29	3,67%
	200 mm	89,53	89,95	-0,47%
	300 mm	56,41	56,73	-0,57%
	400 mm	36,13	36,20	-0,18%
obciążenie G	10 kN			
głębokość pomiarowa [mm]	100 mm	174,65	167,76	3,94%
	200 mm	128,19	130,06	-1,46%
	300 mm	80,59	80,80	-0,27%
	400 mm	51,20	52,43	-2,40%

Różnica względna uzyskanych wyników obliczeń zaproponowanymi dwoma metodami (MES, aproksymacja) nie przekracza 4%. Należy zatem stwierdzić, że wyznaczona wartość kąta  $\beta$ , przy którym naprężenia osiągają najmniejsze wartości na badanych głębokościach pomiarowych została pozytywnie zweryfikowana przy pomocy obliczeń MES.

## WNIOSKI

Analiza obliczeń teoretycznych wykazała podobieństwo uzyskiwanych wartości naprężeń z uzyskanymi na drodze badań empirycznych, wykonywanych zarówno w warunkach laboratoryjnych (kanał glebowy) jak i warunkach polowych przeprowadzonych w Federal Research Centre – Braunschweig [13]. Wyniki obliczeń MES wykazują dodatkowo, że:

- kształt bieżnika ma wpływ na propagację naprężeń w podłożu, przy czym opony z bieżnikiem łukowym generują mniejsze wartości naprężeń od opon z bieżnikiem daszkowym,
- na wartość naprężeń istotny wpływ ma parametr określający kąt nachylenia bieżnika do osi jazdy,
- istnieje możliwość wyznaczenia wartości kąta nachylenia bieżnika, przy którym wartości naprężeń gene-

rowanych przez dany typ opony będą najmniejsze na badanych głębokościach pomiarowych

- wyznaczony rozkład wartości naprężeń dla badanych przypadków opon odpowiada matematycznemu modelowi teoretycznemu, który opisuje proces rozprzestrzeniania się naprężeń w głąb ośrodka glebowego.
- Zastosowanie systemów CAD oraz metod symulacji cyfrowej i obliczeń MES w omawianej problematyce daje wymierne korzyści, do których należą m.in.:
  - znaczne skrócenie czasu wykonywanych badań i uniezależnienie procesu badawczego od warunków pogodowych i klimatycznych,
  - odciążenie zespołu badawczego od prac zrutynizowanych i nietwórczych – czasochłonne przygotowywanie stanowisk badawczych i pracochłonna analiza uzyskanych wyników,
  - ułatwienie wykonania analizy porównawczej badanych opon oraz rodzajów podłoża,
  - przeprowadzenie wiarygodnych badań z wykorzystaniem systemów komputerowych jeszcze w fazie projektowania opony i układu napędowego, bez konieczności wykonywania kosztownych i czasochłonnych badań laboratoryjnych,
  - wprowadzenie cech konstrukcyjnych bieżnika, które zapewnią najmniejsze z możliwych naciski układu jezdowego na glebę i ich propagację w głąb ośrodka.

## LITERATURA

1. **Bogucki M. 2009:** Optymalizacja doświadczalna. Wariant jednokryterialny, MOTROL Motorization and power industry of agriculture, volume 13, Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN Oddział w Lublinie, 11c, 22-30.
2. **Jakliński L. 2006:** Mechanika układu pojazd-teren w teorii i badaniach. Wybrane zagadnienia, OWPW.
3. **Jakliński L. 1999:** Modele oddziaływania koła pneumatycznego na glebę, OWPW.
4. **Jakliński L., Malesa W. 2011:** „Zastosowanie systemów CAD w procesie modelowania cyfrowego układu pojazd-teren”, Inżynieria Mechaniczna Innowacje dla Przedsiębiorstw, Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa Mechaniki i Petrochemii w Płocku, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Płock, 53-62.
5. **Jakliński L., Malesa W. 2011:** Model współpracy opony z glebą z zastosowaniem metody elementów skończonych z uwzględnieniem naprężeń kontaktowych, Mechanik 12/2011, 989-990.
6. **Kolator B. 2006:** Wybrane zagadnienia odkształceń napędowego koła pneumatycznego ciągnika rolniczego, MOTROL Motorization and power industry of agriculture, volume 13, Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN Oddział w Lublinie, 8, 118-124.
7. **Król K. 2006:** Metoda elementów skończonych w obliczeniach konstrukcji, Politechnika Radomska, Wydawnictwo.
8. **Kruszewski J., Gawroński W., Wittbrodt E., Najbar F., Grabowski S. 1975:** Metoda sztywnych elementów skończonych, Arkady.

9. **Kruszewski Z., Jakliński L. 1990:** Badania porównawcze opon napędowych do ciągników rolniczych 14.9-28 8PR „Stomil” i „Good Year”, Sprawozdanie z pracy zleconej przez OZOS Stomil, Płock.
10. **Pytko J., Szymaniak G. 2004:** Investigations of stress state in soil under Tractor tyres, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa IV/2004, 172, Wydawnictwo Oddziału PAN w Lublinie,
11. **Rakowski G., Kacprzyk Z. 2005:** Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, OWPW.
12. **Sołtyński A. 1966:** Mechanika układu pojazd-teren, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej,.
13. **Sommer C., Lebert M., Jakliński L., Jasiński B. 2003:** Bodenschadverdichtung Strategien und physikalischen Bodenschutz. Landtechnik no. 2.
14. **Stasiak W. 2008:** Analiza modeli opisujących rozkład naprężeń w glebie, Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, Poznań, vol. 53 (2), 39-43.
15. **Stasiak W. 2003:** Modele propagacji nacisków w glebie generowanych przez oponę, praca doktorska, PW Płock.
16. **Szmelter J., Dacko M., Dobrociński S., Wiczorek M. 1979:** Metoda elementów skończonych w statyce konstrukcji. Przykłady obliczeń, Arkady.
17. **Szymaniak G., Pytko J. 2003:** Effects of reduced inflation pressure and ride velocity on soil surface deformation, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa III/, 236, Wydawnictwo Oddziału PAN w Lublinie.
18. **Zabielski M., Malesa W. 2012:** Calculation of stress in contact of tire-soil with use of fem (finite element method), TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Vol. 12., No. 2.
19. **Zagrajek. T., Krzesiński G., Marek P. 2006:** Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Ćwiczenia z zastosowaniem systemu ANSYS, OWPW.
20. **Zienkiewicz O.C. 1972:** Metoda elementów skończonych, Arkady.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SELECTED  
SHAPES OF PNEUMATIC MECHANISM CHASSIS  
PROTECTORS IN VIEW OF STRESS PROPAGATION  
IN SOIL WITH USE OF FEM

**Summary.** This article presents the application of CAD systems with the use of the finite element methods (FEM), in comparative analysis of selected shapes of pneumatic mechanism chassis protectors in view of stress propagation in soil. A distribution model of surface pressures was developed as well as calculation of stress in the soil. The obtained theoretical findings resulted in a comparative analysis of the value of designated stress with those obtained through empirical studies in the laboratory. Optimization of selected geometrical features of chevron protector was carried out in view of minimization of stress propagation in soil.

**Key words:** tire-soil interaction, computer aided design, finite element method, contact stress, stresses in soil, optimization.





## Nakłady energetyczne ponoszone na produkcję roślin w wybranych gospodarstwach rolniczych

Anna Piecak<sup>1</sup>, Beata Ślaska-Grzywna<sup>1</sup>, Marek Szmigielski<sup>1</sup>, Tadeusz Koszel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz

<sup>2</sup>Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Doświadczalna 50A, 20-280 Lublin,  
e-mail: beata.grzywna@up.lublin.pl

**Streszczenie.** Przedmiotem pracy jest analiza nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję roślinną w wybranych gospodarstwach rodzinnych z terenu Lubelszczyzny. Badania przeprowadzono w formie szczegółowej ankiety z otwartymi pytaniami dotyczącymi gospodarstw, za rok 2012. Na podstawie uzyskanych informacji sporządzono karty technologiczne, a następnie obliczono nakłady energetyczne ponoszone na produkcję roślinną. Stwierdzono, że różnice w ponoszonych nakładach energetycznych uzależnione były od arealu uprawy, stosowanych zabiegów technologicznych i sposobu wykorzystania maszyn rolniczych do produkcji roślinnej.

**Słowa kluczowe:** gospodarstwo rolne, nakłady energetyczne, produkcja roślinna, środki mechanizacji.

### WSTĘP

Gospodarstwa rolnicze aby produkować muszą ponosić nakłady i koszty. Każdy rodzaj produkcji roślinnej wymaga ponoszenia nakładów energetycznych. W produkcji roślinnej bardzo duży udział mają nakłady związane ze zbiorem i transportem. Nakłady energetyczne występują również w procesie produkcyjnym, gdzie jest zapotrzebowanie na pracę ludzką i pracę maszyn. Poziom tych nakładów ma nie tylko widoczny wpływ na pracę ludzką, pracę maszyn i pracochłonność produkcji, ale również na jej opłacalność. Gospodarstwa powinny dążyć do zmniejszenia nakładów energetycznych związanych z pracą ludzi jak i pracą maszyn [2, 3, 4].

Mimo, że produkcja roślinna zaliczana jest do gałęzi łatwych, o zmniejszonym zapotrzebowaniu zmechanizowania i mniej pracochłonnych, to jednak dużo trudności sprawia okres spiętrzenia prac żniwnych, powodujący zwiększone zapotrzebowanie na siłę roboczą i środki mechanizacji. Odpowiedni dobór maszyn zmniejsza nakłady energetyczne. Istotne znaczenie podczas prac żniwnych ma wilgotność ziarna. Zbiór zbóż powinien odbywać się w odpowiednim

czasie, gdy ziarno osiągnie pełną dojrzałość. Koszenie podczas dużej wilgotności ziarna powoduje większe nakłady energetyczne, straty ziarna, a czasami uszkodzenia mechaniczne kombajnów [1, 8, 9].

Z każdym rokiem proces produkcyjny jest coraz droższy przez wzrastające ceny nośników energii, rolnicy często zmuszeni są do ograniczania ich zużycia oraz do zmniejszania arealu gospodarstw rolnych. Aby gospodarstwa ponosiły mniejsze koszty i nakłady związane z procesem produkcji roślinnej muszą przeprowadzać analizę doboru technologii i przeanalizować gospodarstwa pod kątem opłacalności, a następnie w miarę możliwości wykorzystywać nowsze, tańsze technologie [5, 6, 7].

Ścisły związek z produkcją roślinną i wyposażeniem technicznym mają nakłady energetyczne, które są analizowane i porównywane w jednostkach naturalnych (fizycznych) jak również w przeliczeniowych jednostkach zbożowych (JZ). Nakłady ponoszone na produkcję roślinną bilansowane są w jednostkach energetycznych (np. kWh) nakładów energii mechanicznej [10, 11].

### CEL PRACY

Celem badań było porównanie poniesionych nakładów energetycznych na produkcję roślinną w trzech gospodarstwach rolniczych z terenu Lubelszczyzny o zróżnicowanej powierzchni arealu, wyposażeniu technicznym i stosowanej technologii.

### METODY I WARUNKI BADAŃ

Badaniu poddano trzy gospodarstwa z terenu Lubelszczyzny specjalizujące się w produkcji roślinnej. Do badań wykorzystano ankietę z otwartymi, szczegółowymi pytaniami, dotyczącymi danych z 2012 roku.

- Ankieta zawierała następujące zagadnienia:
- dane personalne właściciela gospodarstwa: imię i nazwisko, wiek gospodarza, położenie gospodarstwa, liczba osób znajdujących się w gospodarstwie rodzinnym,
  - powierzchnia użytków rolnych ogółem, z podziałem na grunty orne, trwałe użytki zielone, sady, lasy w [ha],
  - grunty orne z wyszczególnieniem uprawy: pszenica, żyto, jęczmień owies, pszenżyto, inne zboża, ziemniaki, buraki cukrowe, rzepak i rzepik, inne rośliny przemysłowe, kukurydza w [ha],
  - trwałe użytki zielone w [ha], z przeznaczeniem na sianokiszonkę, siano,
  - wyposażenie gospodarstwa w sprzęt rolniczy z podaniem symbolu i szerokości roboczej [m] maszyny, podanie liczby ciągników, symbolu oraz mocy silnika w [kW],
  - wyposażenia gospodarstwa w środki energetyczne: rodzaje silników znajdujących się w gospodarstwie, z podaniem ilości, symbolu silnika oraz mocy w [kW],
  - wyszczególnienie zabiegów technologicznych dla każdej rośliny z uwzględnieniem zabiegu, ciągnika, maszyny towarzyszącej, czasu pracy [ha/h],
  - liczba osób biorących udział podczas danego zabiegu technologicznego (członkowie rodziny przebywający w gospodarstwie),
  - liczba osób biorących udział podczas danego zabiegu technologicznego (osoby wynajęte do pracy spoza gospodarstwa),

- przeznaczenie uprawianych roślin.

Na podstawie zebranych danych ankietowych scharakteryzowano wybrane do badań gospodarstwa (tab. 1, 2 i 3).

Najmniejsza moc potrzebna do pracy urządzeń mechanicznych jest wykorzystywana w gospodarstwie III (195,8 kW), charakteryzującym się najmniejszym arealem, największa zaś (2261,6 kW) w gospodarstwie I, którego areal jest niemal 2-krotnie większy (tab. 3).

Na podstawie danych ankietowych sporządzono karty technologiczne dla poszczególnych upraw produkcji roślinnej, na podstawie których obliczono nakłady bezpośrednie.

## WYNIKI BADAŃ

Dane uzyskane z przeprowadzonej ankiety (tab. 2) wykazują, że największy udział w produkcji roślinnej w badanych gospodarstwach mają zboża, natomiast najmniejszy – rośliny pastewne. W badanych gospodarstwach przeważający udział mają użytki orne z przeznaczeniem na produkcję zbóż.

W tabeli 4 zaprezentowano przykładową kartę technologiczną, na podstawie której policzono nakłady energetyczne ponoszone na produkcję żyta. Cała produkcja roślinna oparta jest na zastosowanej technologii, wykorzystaniu sprzętu rolniczego, ponoszeniu nakładów energetycznych pracy ręcznej [rbh], nakładów energetycznych pracy maszyn [cnh],

**Tabela 1.** Ogólna charakterystyka badanych gospodarstw pod względem powierzchni użytków rolnych  
**Table 1.** Characteristics of the chosen farms of agricultural area

Gospodarstwo	Powierzchnia ogólna gospodarstwa [ha]	Powierzchnia gruntów ornych [ha]	Powierzchnia trwałych użytków zielonych [ha]
I	35	35	-
II	29	19	10
III	18	10	8

**Tabela 2.** Struktura produkcji roślinnej

**Table 2.** The structure of plant production

Wyszczególnienie	Gospodarstwo I	Gospodarstwo II	Gospodarstwo III
Użytki rolne [ha]	35	29	18
Grunty orne [ha]	35	19	10
Zboża [ha]	34	15	9,5
Okopowe [ha]	1	-	0,5
Przemysłowe [ha]	-	-	-
Pastewne [ha]	-	4	-
Stałe użytki zielone [ha]	-	10	8

**Tabela 3.** Wyposażenie gospodarstw w silniki elektryczne oraz maszyny silnikowe (ciągniki, kombajny)

**Table 3.** Farm equipment in electric motors and motor machines (tractors, harvesters)

Gospodarstwo I	Moc silnika [kW]	Gospodarstwo II	Moc silnika [kW]	Gospodarstwo III	Moc silnika [kW]
Ciągnik Zetor 8045	57,0	Ciągnik Ursus C-360	40,4	Ciągnik Ursus C-360	40,4
Ciągnik MF 255	34,6	Ciągnik Ursus C-360	40,4	Ciągnik Ursus C-360	40,4
Bizon zbożowy Deutz Fahr 2780 H	132,0	Bizon zbożowy Dynamic Z165	110	Bizon zbożowy Class Dominator	92
Śrutownik	12	Śrutownik	11	Śrutownik	7,5
Silnik elektryczny	7,5	Silnik elektryczny	12	Silnik elektryczny	12
Silnik elektryczny	11	Silnik elektryczny	12	Silnik elektryczny	3,5
Silnik elektryczny	7,5				

**Tabela 4.** Karta technologiczna produkcji żyta**Table 4.** Technology card of rye production

ŻYTO 5 ha									
Wyszczególnienie	Rodzaj				Wydajność $W_1$ [ha/h] [t/ha]	Liczba go- dzin pracy h	Nakłady pracy na 1 ha		
	Ciągnik	Moc silnika, [kW]	Maszyna towa- rzysząca	Symbol/ typ			rbh	cnh	kWh
Sprężynowanie	Zetor 8045	57,0	Kultywator 2,80 m	U421	1,66	3	3	3	172,8
Nawożenie obornikiem	Zetor 8045	57,0	Rozrzutnik obornika 3,0 m	N240	0,33	15	30	15	864
Orka	Zetor 8045	57,0	Pług 5 skibowy 2,0	U118	0,83	6	6	6	342
Siew	MF 255	34,6	Siewnik 3,0 m	S078	1,66	3	7	4	103,8
Oprysk	MF 255	34,6	Opryskiwacz 30l, 10 m	Brandi	3,84	1,30	2,6	1,3	44,98
Nawożenie (NPK)	MF 255	34,6	Rozsiewacz nawozów 6 m	NO11	3,84	1,30	1,30	1,3	44,98
Koszenie	-	132,0	Bizon 5 m	Deutz Fahr 2780H	1,25	4	4	0	528
Transport ziarna	MF 255	34,6	Przyczepa 2-osiowa	-	4t/ha	1	2	2	34,6
Prasowanie słomy	Zetor 8045	57,0	Rolka 1,20 m	Sipma Z274	1,66	3	3	3	172,8
Transport słomy	MF 255	34,6	Przyczepa 2-osiowa	-	1,0ha/h 5t/ha	2	2	3	69,2
RAZEM dla 1 ha							12,18	7,72	482,35
RAZEM dla 5 ha							60,9	38,6	2411,76

gdzie: rbh – nakłady pracy ręcznej,  
cnh – nakłady pracy maszyn,  
kWh – zużycie energii mechanicznej.

**Tabela 5.** Zestawienie bezpośrednich nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję roślinną**Table 5.** List of direct energy consumption incurred on plant production

Rośliny [ha]	Gospodarstwo I 35 ha			Rośliny [ha]	Gospodarstwo II 29 ha			Rośliny [ha]	Gospodarstwo III 18 ha		
	Nakłady energetyczne				Nakłady energetyczne				Nakłady energetyczne		
	rbh	cnh	kWh		rbh	cnh	kWh		rbh	cnh	kWh
Żyto 5	60,9	38,6	2411,76	Żyto 1	13,6	8,4	471,36	Żyto 5	73,15	9,23	2324,46
Pszenżyto 10	112,5	53	4823,5	Pszenży- to 4	60,9	37,7	1885,4	Pszenży- to 2	26,04	18,08	929,78
Owies 10	117,5	77,2	4823,5	Owies 10	121,8	80,2	4067,3	Owies 2,5	32,56	22,6	929,7
Jęczmień 5	60,9	38,6	2411,76	Jęczmień	-	-	-	Jęczmień	-	-	-
Pszenica 4	41,4	30,9	2179,5	Pszenica	-	-	-	Pszenica	-	-	-
Kukurydza na kiszonkę	-	-	-	Kukurydza na kiszonkę 4	65	62	1324	Kukurydza na kiszon- kę	-	-	-
Ziemniaki 1	29,7	17,2	723,8	Ziemniaki	-	-	-	Ziemniaki 0,5	54,8	35,8	386,1
Razem nakłady	422,9	255,5	17373,82		261,3	188,3	7748,08		186,65	85,71	4570,04
Siano	-	-	-	Siano 10	44	31	1373,6	Siano 8	70,4	57,6	2908,8
Razem nakłady	422,9	255,5	17373,82	Razem nakłady	305,3	219,3	9121,68	Razem nakłady	256,95	143,31	7478,84

oraz zużyciu energii mechanicznej [kWh]. Dzięki kartom technologicznym i wycieszeniu nakładów energetycznych porównano trzy badane gospodarstwa pod względem ponoszonych nakładów energetycznych na produkcję roślinną.

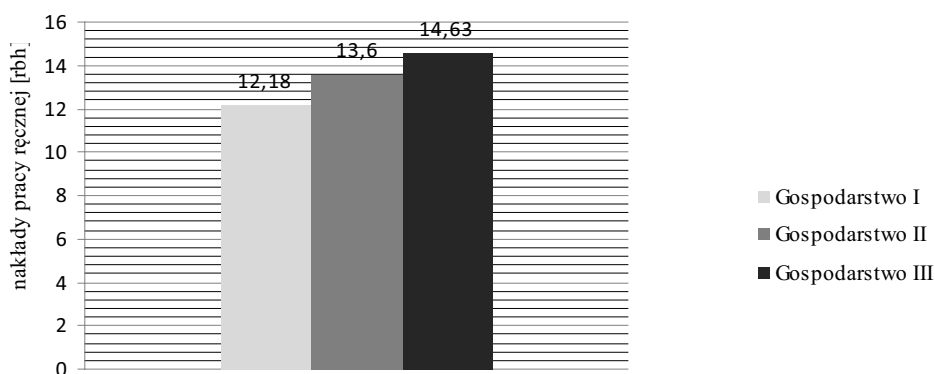
Wykorzystując dane ze sporządzonych kart technologicznych o strukturze użytków, zasiewów, technologiach produkcji, w tabeli 5 zestawiono nakłady energetyczne ponoszone na produkcję roślinną, policzone dla powierzchni całego gospodarstwa, łącznie ze zbiorem siana.

Na rysunkach 1, 2 i 3 przedstawiono nakłady energetyczne: rbh – nakłady pracy ręcznej (rys. 1), cnh – nakłady

pracy maszyn (rys. 2), kWh – nakłady zużycia energii mechanicznej (rys. 3).

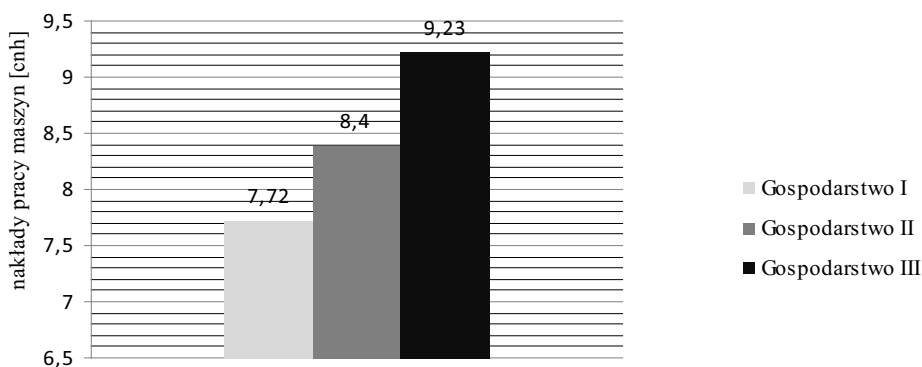
Łączne zużycie energii kWh dla I gospodarstwa wynosi 17373 kWh, dla II gospodarstwa – 9121 kWh, natomiast dla II gospodarstwa – 7478 kWh (tab. 3). Zużycie energii kWh dla 1 ha produkcji roślinnej wynosi: dla I gospodarstwa – 482,35 kWh, dla II gospodarstwa – 471,36 kWh, natomiast dla III gospodarstwa – 464,89 kWh (rys. 3).

Z uzyskanych danych wynika, że większe nakłady energetyczne poniesiono w mniejszych gospodarstwach, a najmniejsze w największym gospodarstwie. Nakłady ener-



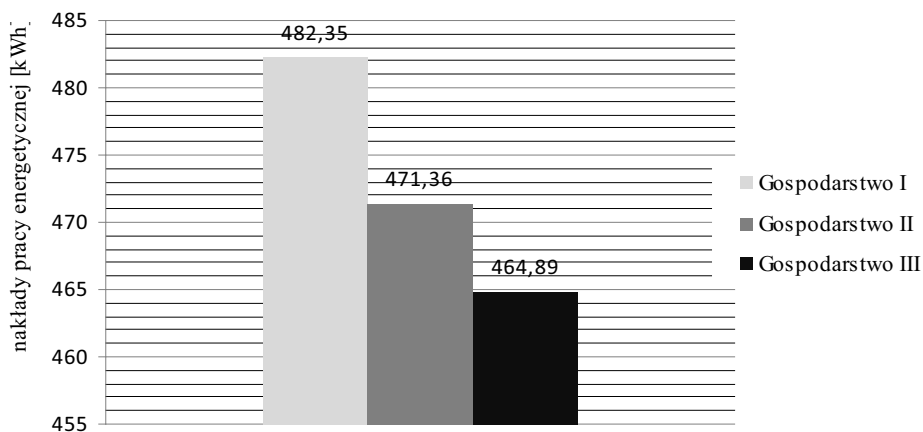
Rys. 1. Nakłady energetyczne rbh – pracy ręcznej ponoszone na 1 ha żyta dla badanych gospodarstw

Fig. 1. Energy consumption rbh – manual labor incurred for 1 ha of rye for the chosen farms



Rys. 2. Nakłady energetyczne cnh – pracy maszyn ponoszone na 1 ha żyta dla badanych gospodarstw

Fig. 2. Energy consumption cnh – machine operation incurred for 1 ha of rye for the chosen farms



Rys. 3. Nakłady energetyczne kWh – zużycia energii mechanicznej ponoszone na 1 ha żyta dla badanych gospodarstw

Fig. 3. Energy consumption kWh – mechanical energy of machines incurred for 1 ha of rye for the chosen farms

getyczne wzrastają również podczas prac żniwnych, w tym okresie ponoszone są największe nakłady energetyczne na maszyny, ciągniki i robotników.

#### PODSUMOWANIE

Badane gospodarstwa indywidualne o zróżnicowanej powierzchni pól uprawnych nastawione były na produkcję zbóż przeznaczonych na paszę. Ich wyposażenie techniczne w maszyny rolnicze stało na średnim poziomie, przy czym najnowocześniejszym parkiem maszynowym charakteryzowało się gospodarstwo o największej powierzchni użytków rolnych.

Najwyższe nakłady energetyczne na produkcję roślinną poniosło gospodarstwo o najmniejszym areale upraw, zaś gospodarstwo o największej powierzchni upraw poniosło najmniejsze nakłady energetyczne. Jasno z tego wynika, że wraz ze wzrostem powierzchni użytków rolnych nakłady energetyczne w przeliczeniu na 1 ha maleją.

Gospodarstwa, aby ponosiły mniejsze nakłady muszą zmodernizować gospodarstwo, uwzględnić w technologii nowsze zabiegi, np. zamiast dwóch zabiegów stosować jeden. Podane nakłady pracy zmniejszą się, gdy stworzy się dobre warunki pracy i wykorzystywać będzie się maszyny o średniej i wysokiej wydajności współpracujące z ciągnikiem.

#### LITERATURA

1. **Drosio A., Klimkiewicz M., Mruk R., 2011:** Energetic and technical analysis of winter rapeseed production technology. *MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa* 13, 100-110.
2. **Izdebski W., Osiak J., Skudlarski J., 2010:** The organizational and economical aspects of thermal energy production from grain biomass for the needs of individual farms. *TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN*, Vol. X, 112- 117.
3. **Kocira S., Parafiniuk S., Sawa J., 2006:** Nakłady energetyczne w gospodarstwach o różnej wielkości ekonomicznej. *Inżynieria Rolnicza* 5(80), 265-271.

4. **Koniuszy A., 2006.** Optymalizacja pracy ciągnika U-912. *MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa* 8A, 168-175.
5. **Koszel T., 1998:** Zestawienie i ocena pracy rolniczych agregatów maszynowych. *Wyd. Akademii Rolniczej, Lublin.*
6. **Lorencowicz E., 2004:** Tabele do ćwiczeń z użytkowania maszyn rolniczych. *Wyd. Akademii Rolniczej, Lublin.*
7. **Lorencowicz E., 2012:** Poradnik użytkownika techniki rolniczej w tabelach. *Agencja Promocji Rolnictwa i Agrobiznesu APRA, Bydgoszcz.*
8. **Szymanek M., 2008:** Energy consumption at sweet corn threshing. *TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN*, Vol. VIII, 241-247.
9. **Szymanek M., 2010:** Evaluation of the disc threshing device in aspect of power consumption and quality of separated maize grain. *TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN*, Vol. X, 446-453.
10. **Wójcicki Z., 1997:** Dobór i wykorzystanie środków technicznych oraz koszty produkcji w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. *Wyd. IBMER Warszawa, ISBN 83-86264-39-X.*
11. **Wójcicki Z., 2000:** Wyposażenie techniczne i nakłady materiałowo – energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. *Wyd. IBMER Warszawa, ISBN 83-86264-62-4.*

#### ENERGY CONSUMPTION ON PLANT PRODUCTION IN THE CHOSEN FARMS

**Summary.** The object of study is the analysis of energy consumption incurred on plant production in selected family farms in the Lublin area. The study was conducted in the form of a detailed questionnaire with open questions about the farm, for the year 2012. Based on the information technology cards drawn and calculated energy consumption incurred on plant production. It was found that the differences in energy consumption incurred were dependent on the area of cultivation, use of technological procedures and the use of agricultural machinery during production.

**Key words:** farm, energy consumption, plant production, agricultural machinery.



## Stanowisko do badań procesu cięcia roślin energetycznych

Henryk Rode, Paweł Witkowski

Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii,  
Instytut Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Systemów Mechanicznych i Automatykacji  
ul. Jachowicza 2, 09-400 Płock, Polska, e-mail: hrode@op.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono projekt nowego stanowiska laboratoryjnego do badań procesu cięcia bezwładnościowego roślin energetycznych. Omówiono budowę, zasadę funkcjonowania oraz sposób prowadzenia badań na stanowisku..

**Słowa kluczowe:** cięcie rotacyjne, kosiarka rotacyjna, proces cięcia, energia jednostkowa cięcia.

W przypadku roślin energetycznych proces ich cięcia prowadzony jest rotacyjnym zespołem zaadoptowanym z klasycznej kosiarki rotacyjnej [19, 24]. Z uwagi na potrzebę prowadzenia badań procesu cięcia bezwładnościowego w warunkach zbliżonych do polowych zachodzi potrzeba stworzenia nowego stanowiska laboratoryjnego.

### WPROWADZENIE

Energia to hasło, które nieustannie towarzyszy rozwojowi człowieka na Ziemi. Dostęp do źródeł energii był niejednokrotnie przyczyną wybuch wojen. Problem zaspakajania potrzeb energetycznych człowieka nabiera coraz większego znaczenia dzisiaj, gdy lawinowo rośnie jej zużycie w wielkich państwach azjatyckich (Chiny, Indie) oraz maleją odkryte złoża kopalnych źródeł energii. Coraz większą uwagę zwraca się na efekt ekologiczny w jej produkcji. Dlatego poszukiwania ekologicznych i tanich źródeł energii np. roślin energetycznych będzie zawsze na czasie [2, 3, 6, 8, 15]. Rośliny te podczas procesu spalania emitują niewielką ilość dwutlenku siarki do atmosfery a jego bilans jest równy zero dzięki pochłanianiu go w procesie wzrostu rośliny [7, 12]. Systematyczny wzrost powierzchni plantacji roślin energetycznych wymusza konieczność optymalizacji procesów zbioru i przetwarzania, a więc także proces cięcia roślin. Znajomość wpływu parametrów konstrukcyjnych i roboczych zespołu tnącego na energię jednostkowa cięcia jest niezbędna do prawidłowego projektowania i optymalizacji tego procesu [5, 9, 10, 11, 23, 25]. Wpływa na konstrukcję zespołu tnącego maszyny rolniczej.

W Instytucie Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej w Płocku od kilkunastu lat prowadzone są badania procesu cięcia zbóż i traw, a ostatnio także roślin energetycznych. Do badań tych wykorzystywane są stanowiska laboratoryjne o konstrukcji wahadłowej i tarczowej gdzie realizowany jest proces cięcia toporowego i bezwładnościowego roślin [16, 17, 18, 20, 26]

### ZAŁOŻENIA I KRYTERIA PROJEKTU

Nowe stanowisko badawcze musi realizować proces cięcia roślin w sposób możliwie zbliżony do procesu realizowanego przez zespół tnący maszyny rolniczej [13, 14]. Elementem tnącym będzie tarcza piły do cięcia drewna. Zespół składać się będzie z dwóch wymiennych tarcz. Możliwa będzie zmiana położenia tarcz względem siebie (stopnia nakładania się) oraz płynna zmiana ich prędkości obrotowej. Możliwa będzie także zmiana kąta nachylenia płaszczyzny tarcz do podłoża. Zespół będzie się przemieszczał na gniazdami roślin z regulowaną bezstopniowo prędkością posuwową.

Nowe stanowisko powinien spełniać następujące kryteria:

- zapewniać bezpieczną pracę w trakcie przeprowadzania badań,
- zapewniać trwałość elementów tnących,
- umożliwić szeroki zakres regulacji prędkości obrotowej zespołu tnącego,
- umożliwić szeroki zakres regulacji prędkości posuwu zespołu tnącego,
- zapewnić niskie koszty budowy stanowiska.

### PROJEKT STANOWISKA

Stanowisko badawcze do badań procesu cięcia roślin energetycznych składa się z dwóch wzajemnie współpracujących zespołów roboczych (zespół tnący i zespół płytowo-prowadzący) osadzonych w ramie konstrukcyjnej (1).

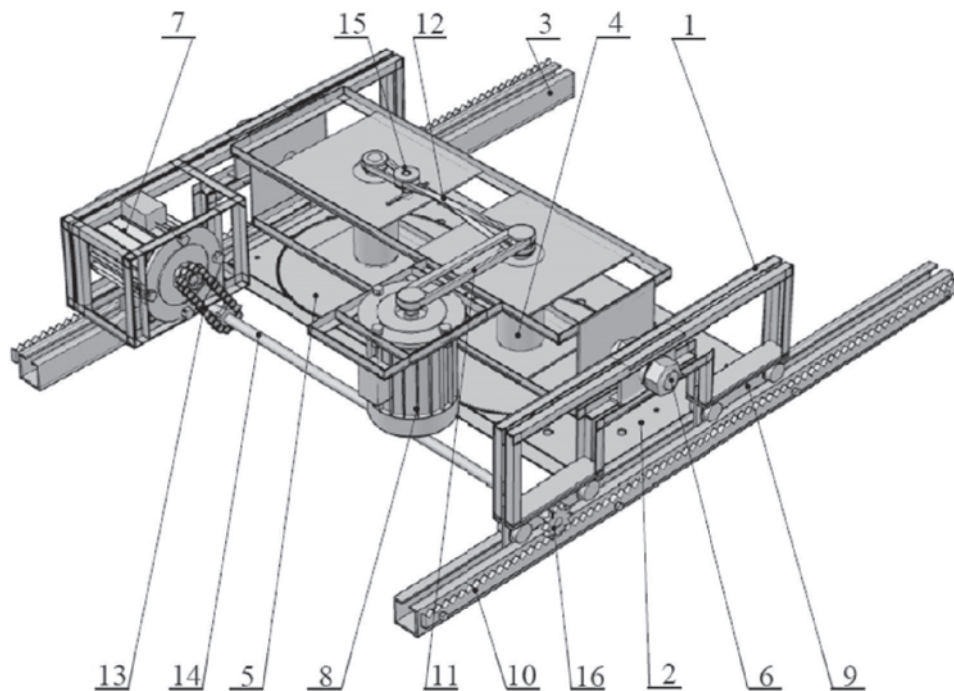
W skład zespołu tnącego wchodzi dwie piły tarczowe (5) o średnicy 400 mm każda. Są one przymocowane za pomocą śrub do kolumn roboczych (4). Odległość między nimi wynosi 10 mm. Kolumny robocze (4) połączone są przekładnią pasową z pasem klinowym ułożonym w kształcie ósemki (12). Taki sposób ułożenia pasa klinowego przy odpowiednim jego naciągnięciu za pomocą napinacza (15), pozwala osiągnąć przeciwne kierunki wirowania pił tarczowych. Zespół tnący uzyskuje napęd przez przekładnię pasową (11) z silnika elektrycznego trójfazowego (8) umieszczonego w ramie, w sposób, umożliwiający płynną regulację naciągu pasa klinowego.

W skład zespołu płytowo-przewodzącego wchodzi dwa arkusze blach (2). Są one ułożone równolegle w odległości 50 mm. Posiadają wycięte parami otwory umożliwiające mocowanie próbek łodyg roślin energetycznych. Każda kolejna para otworów posiad inną średnicę. Płyty są połączone z prowadnicami (3) nierozłącznie, co pozwala uzyskać stabilną konstrukcję tego zespołu.

Prędkość liniową zespołu tnącego uzyskuje się za pomocą pary przekładni zębatach listwowych. Zbudowana one są z listew zębatach (10) zazębiających się z kołami

zębatach (16). Listwy zębata (10) przymocowane są po zewnętrznych stronach prowadnic zespołu tnącego (3). Koła zębata (16) osadzone są na wale napędowym (14) zamontowanym obrotowo w wózkach (9). Przekładnie zębata listwowe otrzymują napęd z silnika elektrycznego trójfazowego (7) przez przekładnię łańcuchową (13). Silnik elektryczny trójfazowy posuwu zespołu tnącego (7) zamocowany jest w ramie konstrukcyjnej (1) w sposób umożliwiający płynną regulację naciągu łańcucha.

Sterowanie prędkością obrotową silnika elektrycznego napędu kolumn (8) odbywa się przez falownik utrzymujący stały stosunek napięcia do częstotliwości od częstotliwości startowej do bazowej. Sterowanie prędkością obrotową silnika elektrycznego posuwu zespołu tnącego (7) wykonuje się przez falownik dopasowujący charakterystykę napięcia do częstotliwości nie liniowo, lecz zależnie od właściwego w danej chwili obciążenia. Wartość prędkości obrotowej silnika elektrycznego posuwu zespołu tnącego (7) tak jak silnika elektrycznego napędu kolumn (8) dokonuje się przez zadanie odpowiedniej częstotliwości. Żądaną wartość częstotliwości wprowadza się w program komputerowy (DriveView) dedykowany dla falowników LG.



- |   |   |
|---|---|
| 1. rama konstrukcyjna/ construction frame,  | 9. wózek/truck  |
| 2. płyta z gniazdami mocowań próbek roślin/ plate with fixing sockets for plant samples,              | 10. listwa zębata/rack,   |
| 3. prowadnica zespołu tnącego/cutting unit fence  | 11. przekładnia pasowa napędzająca zespół tnący/transmission belt driving the cutting unit              |
| 4. kolumna robocza/ working column  | 12. przekładnia pasowa z pasem klinowym ułożonym w ósemkę/transmission with a V-belt laid out in eight, |
| 5. piła tarczowa/ disc saw,   | 13. przekładnia łańcuchowa/chain transmission,  |
| 6. regulacja kąta pochylenia zespołu tnącego/ regulation of the inclination angle of the cutting unit | 14. wał napędowy/ driving shaft   |
| 7. silnik elektryczny posuwu zespołu tnącego/ electric engine of the cutting unit slide,              | 15. napinacz paska klinowego/belt tensioner,  |
| 8. silnik elektryczny napędu kolumn/ electric engine of the columns drive,                            | 16. koło zębata/ sprocket   |

**Rys. 1.** Stanowisko badawcze do badań procesu cięcia

**Fig. 1.** The test stand for testing the cutting process



Badane łodygi roślin mocowane są w otworach na płytach a następnie ścinane przez rotacyjny zespół tnący. Wynik badania jest rejestrowany w postaci wykresu, z którego można odczytać wzrost pobór prądu elektrycznego w funkcji czasu. Na tej podstawie można wyliczyć energię jednostkową cięcia.

Pod pojęciem energii jednostkowej cięcia należy rozumieć całkowitą energię potrzebną do realizacji procesu cięcia przypadającą na jednostkę powierzchni przekroju ciętych roślin.

#### MATERIAŁ BADAWCZY

Materiałem dedykowanym do badań na nowym, wyposażonym w dwutarczowy zespół tnący stanowisku są rośliny energetyczne. Charakteryzują się one bardzo zróżnicowaną budową morfologiczną. Wspólną ich cechą jest to, że można je wykorzystać jako materiał energetyczny w postaci biomasy. Charakteryzują się następującymi właściwościami [1, 4, 21, 22]:

- wysoką odpornością na choroby i szkodniki,
- wysoką wartością opałową,
- niewielką ilością dwutlenku węgla emitowaną do atmosfery w procesie spalania,
- możliwie najwyższym przyrostem suchej masy w okresie wegetacyjnym,
- małymi wymaganiami glebowymi,
- możliwością wykorzystania nieużytków pod uprawę,
- dużą masą właściwą, która jest niezwykle ważna przy transporcie i magazynowaniu w obrębie kotłowni,
- podatnością na zmechanizowanie czynności agrotechnicznych związanych z założeniem plantacji, jej utrzymaniem i zbiorem biomasy.

Do grupy tych roślin zaliczyć można: wierzbę wiciową, słonecznik bulwiasty (topinambur), topole, ślazieriec pensylwański, róże wielokwiatową, miskanta olbrzymiego, rdest sachaliński i inne.

#### PODSUMOWANIE

Nowe stanowisko badawcze będzie najbardziej zaawansowane technicznie z wszystkich stanowisk do badań procesu cięcia zbudowanych w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej w Płocku. Będzie dawać także największe możliwości badawcze.

Budowa i zasada funkcjonowania zastosowanego na stanowisku zespołu tnącego jest bardzo zbliżona do konstrukcji zespołów tnących stosowanych w maszynach rolniczych. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom konstrukcyjnym będzie można prowadzić badania, które pozwolą bliżej poznać proces cięcia, dokonać doboru parametrów roboczych i konstrukcyjnych, geometrii zębów pił tarczowych, określić energochłonność procesu cięcia poszczególnych roślin. Pozwoli to udoskonalać istniejące a także tworzyć nowe, bardziej zaawansowane konstrukcje rotacyjnych zespołów tnących przystosowane do cięcia roślin energetycznych.

#### LITERATURA

1. **Baran D., Kwaśniewski D., Mudryk K. 2007:** Wybrane właściwości fizyczne trzyletniej wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza*, nr 8(96), 7-12.
2. **Cisek J., Mruk A., Hlavňa V. 2011:** The properties of a HDV diesel engine fuelled by crude rapeseed oil. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa – OL PAN*, XI, 29-39.
3. **Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A. 2003:** Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Wydawnictwo PTIR, Kraków – Lublin –Warszawa.
4. **Dubas J., Grzybek A., Kotowski W., Tomczyk A. 2004:** Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania. Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji. Bytom.
5. **Frączek J., Mudryk K. 2006:** Metoda określenia oporów cięcia pędów wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza*, nr 8(83), 91-98.
6. **Gradzik P., Grzybek A., Kowalczyk K., Kościak B. 2003:** Biopaliwa. Warszawa.
7. **Grzybek A. 2002:** Biomasa jako alternatywne źródło energii. Warszawa.
8. **Izdebski W., Jadeszko P., Skudlarski J., Zając S. 2011:** Analiza możliwości pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne na przykładzie nadleśnictwa Pomorze. *MOTROL*, Vol. 13, Lublin, 157-163.
9. **Kowalczyk-Jusko A., Kulig R., Laskowski J. 2011:** The influence of moisture content of selected energy crops on the briquetting process parameters. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa – OL PAN*, XI, 189-196.
10. **Kowalski S. 1993:** Badania oporów cięcia wybranych roślin. *Zeszyt Prob. Post. Nauk Rol.* 408, 297- 303.
11. **Kwaśniewski D., Mudryk K., Wróbel M. 2006:** Zbiór wierzby energetycznej z użyciem piły łańcuchowej. *Inżynieria Rolnicza*, nr 13(88), 271-276.
12. **Lipski R. 2011:** Wykorzystanie biomasy jako energii odnawialnej w Polsce na przykładzie ciepłowni opalanej słomą w gminie Wieniawa. *MOTROL*, Vol. 13, Lublin, 164-172.
13. **Lisowski A. i inni. 2010:** Technologie zbiorów roślin energetycznych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
14. **Lisowski A. 2006:** Ścinanie i rozdrabnianie wierzby energetycznej, *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 4, 8-11.
15. **Niedziółka I. Zuchniarz A. 2006:** Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *MOTROL*, Vol. 8A, Lublin, 232-237.
16. **Rode H., Szpetulski J. 2010:** The study of the willow viminalis cutting process. *Bioagrotechnical Systems Engineering*. vol.6(22), Płock, 63-75.
17. **Rode H., Witkowski P. 2011:** Moisture influence on the unitary energy of a cutting process of selected energy plants. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa – OL PAN*, XI, Lublin, 317-325.
18. **Rode H. 2011:** The energy of a cutting process of a selected energy plant. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa – OL PAN*, XI, 326-334.

19. **Rode H., Witkowski P. 2012:** „The study of the rotary cutting process of energy plants”. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa – OL PAN, XII, nr 1, 231-235.
20. **Rode H., Witkowski P. 2012:** „Porównanie procesu cięcia wierzby konopianej i ślazuwca pensylwańskiego”. MOTROL Vol. 14, nr. 1, Lublin – Rzeszów, 111-114.
21. **Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.J. 2004.** Wierzba energetyczna. Wydawnictwo Plantpress Sp. z o.o., Kraków.
22. **Szczukowski S., Tworkowski J., Wiwart M., Przyborowski J. 2002:** Wiklina (Salix Sp.) Uprawa i możliwości wykorzystania. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn.
23. **Szymanek M. 2007:** Analysis of cutting process of plant material. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa – OL PAN, VIIA, 107-113.
24. **Witkowski P. 2011:** Stanowisko do badań procesu cięcia roślin. Rozdział w monografii Inżynieria mechaniczna – innowacje dla przedsiębiorstw. 129-132. Politechnika Warszawska, Płock.
25. **Żuk D. 1979:** Określenie koniecznej prędkości elementów tnących w maszynach do ścinania źdźbeł i łodyg. Maszyny i Ciągniki Rolnicze nr 3/1979. Warszawa.
26. **Żuk D. 1986:** Proces cięcia źdźbeł zbóż. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Mechanika z. 95. Warszawa.

#### A DESIGN OF LABORATORY STATION FOR STUDYING THE CUTTING PROCESS OF PLANTS

**Summary.** The article presents a design of a new laboratory station for studying the cutting process of plants. Two overlapping disks of saws were used as a cutting unit. The construction, the functioning and the way of researching are also presented in the article. The station is designed mainly for studying the energy of the cutting process of energy plants.

**Key words:** rotary cutting process, rotary mower, cutting process, unitary energy of cutting, energy plants.

## Badania wpływu ustawienia modułu fotowoltaicznego na przebiegi charakterystyk zewnętrznych

Mariusz Sarniak

Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii,  
Zakład Inżynierii Systemów Mechanicznych i Automatykacji,  
Al. Jachowicza 2/4, 09–402 Płock, e-mail: sarniak@pw.plock.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono badania wpływu ustawienia modułu fotowoltaicznego na przebiegi charakterystyk zewnętrznych. Badania przeprowadzono na module monokrystalicznym AEMF130. Pomiary charakterystyk wykonano w wybranych dniach dla miesięcy od września do grudnia 2012 roku. Wybierano dni, w których obserwowano bezpośrednie promieniowanie słoneczne. Wyniki przedstawiono dla parametru charakterystyki – prąd przy mocy maksymalnej. Parametrem zmiennym było ustawienie modułu w pozycji optymalnej dla danego okresu pomiarowego oraz w pozycji ustawionej przez dwuosiowy nadajny układ sterowania.

**Słowa kluczowe:** fotowoltaika, nadajny system PV, moduł fotowoltaiczny, charakterystyka prądowo-napięciowa.

### BUDOWA STANOWISKA BADAWCZEGO

Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano stanowisko do badań nadajnych systemów PV w wersji z dwuosiowym systemem sterowania. Wygląd stanowiska pokazano na fotografii na rys. 1. Dokładna lokalizacja GPS stanowiska badawczego to: 52,48°N i 19,67°E (okolice Płocka). Do sterowania wykorzystano sterownik StxL-2, który współpracuje z dwoma siłownikami elektrycznymi i posiada możliwość przełączania w manualny tryb pracy. W normalnym trybie pracy sterownik dąży do ustawienia płaszczyzny zamocowania modułu PV prostopadle do kierunku bezpośredniego promieniowania słonecznego na podstawie odczytów z dwóch par czujników promieniowania słonecznego [4].

### WPROWADZENIE

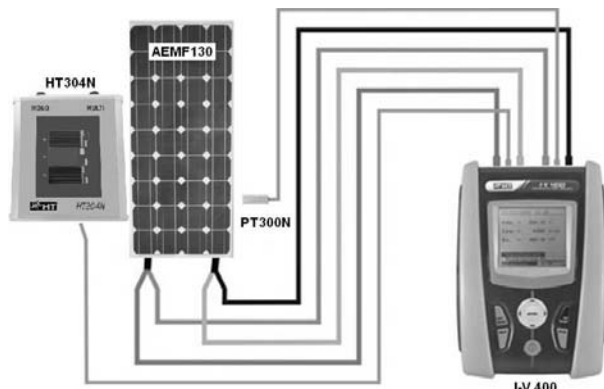
W pracy przeprowadzono pomiary charakterystyk prądowo-napięciowych monokrystalicznego modułu fotowoltaicznego AEMF130 dla wybranych dni od września do grudnia 2012 roku. Pomiary wykonywano w dniach, w których obserwowano dominację bezpośredniego promieniowania słonecznego. Jak wynika z literatury [1, 2, 5, 9, 19] i z obserwacji autora, w dniach o dominującym promieniowaniu dyfuzyjnym, wpływ ustawienia modułu na przebieg zmienności jego charakterystyki zewnętrznej jest trudny do zaobserwowania.

Najlepszym obrazem funkcjonowania modułów fotowoltaicznych, zwanych często w skrócie modułami PV, są zewnętrzne charakterystyki prądowo-napięciowe, oznaczane w skrócie I-V. W literaturze [9, 11, 12, 13] przedstawiane są liczne badania pokazujące wpływy różnych parametrów na kształt przebiegu tych charakterystyk. Istotne są szczególnie dwa zewnętrzne parametry wpływające na przebiegi charakterystyk I-V: natężenie promieniowania słonecznego i temperatura modułu, co potwierdza teoria i liczne badania [11, 16, 18].



**Rys. 1.** Fotografia stanowiska badawczego  
**Fig. 1.** Image of the test stand

Na rys. 2 przedstawiono schemat połączeń miernika charakterystyk I-V 400 do badanego modułu PV wraz z równoległym pomiarem natężenia promieniowania słonecznego (ogniwo wzorcowe - HT304N) oraz pomiarem temperatury modułu (sonda temperaturowa - PT300N) [3].



Rys. 2. Schemat połączeń podczas pomiarów charakterystyk I-V  
Fig. 2. Wiring diagram for the measurement of I-V characteristics

Miernik I-V 400 jest urządzeniem, przy wykorzystaniu którego można wykonać pełną charakterystykę zewnętrzną modułu PV wg normy PN-EN 60891 [20]. Jak widać na rys. 2 pomiary wykonywane są metodą czteroprzewodową, kompensującą długości przewodów połączeniowych. Dodatkowo miernikiem można wykonać pomiar rezystancji szeregowej modułu PV. Wewnętrzna baza danych miernika może pomieścić do 30 danych różnych modułów PV oraz ok. 200 zmierzonych charakterystyk I-V. Miernik posiada również optoizolacyjne łącze do współpracy z komputerem PC za pośrednictwem portu szeregowego USB. Wyniki są tą drogą eksportowane do oprogramowania TOPVIEW. Parametry nominalne badanego modułu PV przedstawiono w tabeli 1.

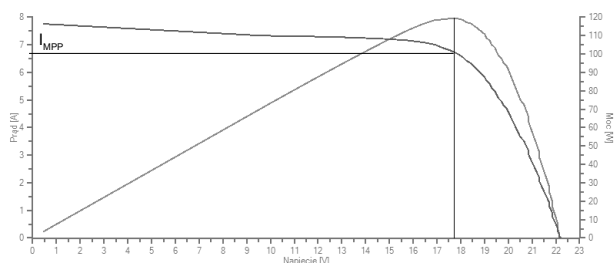
Tabela 1. Parametry nominalne modułu AEMF130 [8]  
Table 1. Nominal parameters of AEMF130 module [8]

Parametr modułu	Wartość
Liczba ogniw monokrystalicznych	36 sztuk
Moc maksymalna $P_{MPP}$	130 W
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej $U_{MPP}$	17,2 V
Prąd w punkcie mocy maksymalnej $I_{MPP}$	7,56 A
Napięcie obwodu otwartego $U_{OC}$	21,6 V
Prąd zwarcia modułu $I_{SC}$	8,02 A
Wymiary modułu	1483x655x35 mm
Waga modułu	12 kg

## METODYKA I ZAKRES BADAŃ

Analizę teoretyczną optymalnego ustawienia odbiornika promieniowania słonecznego przeprowadził autor w pracy [17], zakładając korektę położenia powierzchni modułu PV w stosunku do kierunku bezpośredniego promieniowania słonecznego z częstotliwością, co ok. 60 minut. Pomiary charakterystyk I-V modułu PV wykonywano dwukrotnie dla każdej godziny wykonywania pomiarów: pierwszy raz dla pozycji optymalnej systemu stacjonarnego, a drugi dla

systemu nadążnego. Pozycję ustawienia manualnego dla systemu stacjonarnego ustawiano wg metodyki opisanej przez autora w pracy [17]. Na rys. 3 przedstawiono przykładowy wykres charakterystyki I-V, wykonanej miernikiem I-V 400 i następnie wykreślonej w programie TOPVIEW.



Rys. 3. Przykładowa charakterystyka I-V z zaznaczonym punktem pomiarowym

Fig. 3. Exemplary I-V characteristics with the marked measuring point

Na wykresie każdej charakterystyki I-V można odczytać trzy, istotne z punktu widzenia funkcjonowania modułu PV, punkty [16]: dwa punkty przecięcia wykresu z osiami napięcia i prądu oraz punkt mocy maksymalnej, zaznaczony na rys. 3. Dla celów porównawczych do dalszych rozważań wybrano natężenie prądu modułu PV w punkcie mocy maksymalnej (ozn. z ang. MPP - Maximum Power Point), oznaczone na rys. 3 symbolem „ $I_{MPP}$ ”. Parametr ten najlepiej obrazuje wpływ ustawienia modułu PV w stosunku do kierunku bezpośredniego promieniowania słonecznego i w niewielkim stopniu zależy od zmian temperatury. Jest to istotne z tego względu, że podczas pomiarów obserwowano różnice temperatur w poszczególnych godzinach pomiarów charakterystyk I-V. Z powodu wykonywania badań przy dominującym bezpośrednim promieniowaniu słonecznym, pomiary wykonywano w wybranych dniach miesiący: wrzesień i październik 2012 roku w godzinach: 8-16, natomiast w miesiącach listopad i grudzień 2012 roku w godzinach 9-15.

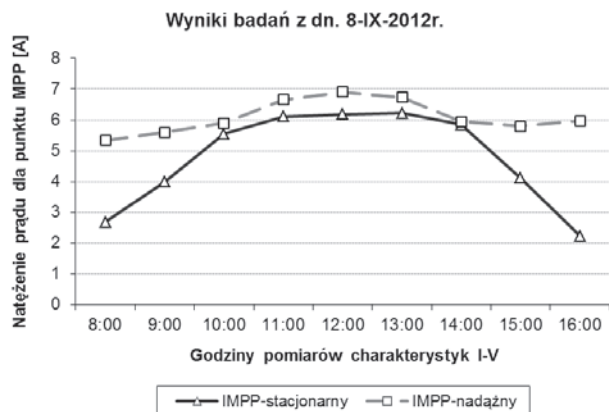
## WYNIKI BADAŃ

Często spotykane w literaturze [np. 12, 13] stwierdzenia, że zastosowanie nadążnych (zwanych też niekiedy śledzącymi) systemów PV powoduje wzrost ich wydajności o ok. 40-50 %, należy zweryfikować zawsze dla lokalnych warunków pracy takiego systemu.

Na rysunkach 4-7 przedstawiono wyniki badań natężenia prądu dla punktu mocy maksymalnej modułu AEMF130 wg opisanej wcześniej metodyki. Wyniki te odczytano z charakterystyk I-V, które były wykonywane dwukrotnie dla każdej godziny pomiarowej.

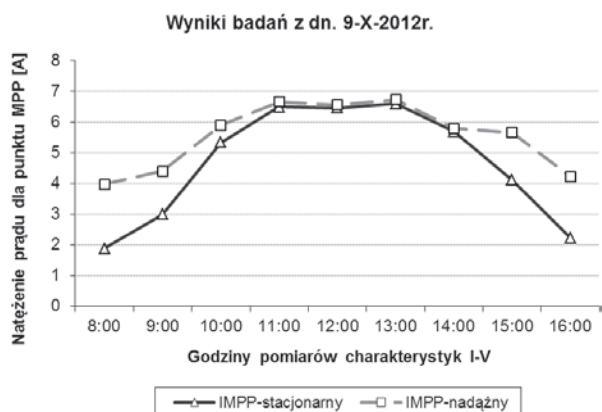
## WNIOSKI

1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów charakterystyk w rozpatrywanym okresie i dla badanego modułu AEMF130 można stwierdzić, że częstotliwość zmian ustawienia modułu PV w stosunku do kierunku



Rys. 4. Wyniki pomiarów natężeń prądu w punkcie mocy maksymalnej  $I_{MPP}$  modułu PV z dnia 8 września 2012 roku

Fig. 4. The results of measurements of currents at the maximum power point  $I_{MPP}$  PV module of 8 September 2012



Rys. 5. Wyniki pomiarów natężeń prądu w punkcie mocy maksymalnej  $I_{MPP}$  modułu PV z dnia 9 października 2012 roku

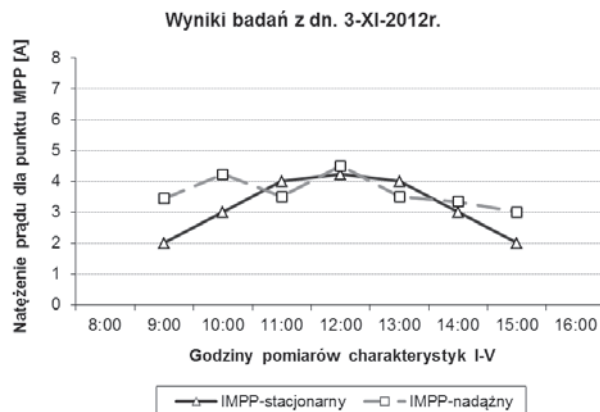
Fig. 5. The results of measurements of currents at the maximum power point  $I_{MPP}$  PV module of 9 October 2012

bezpośredniego promieniowania słonecznego, co ok. 1 godzinę można uznać za w zupełności wystarczającą. W godzinach: 11-13 można nawet ten czas wydłużyć, co wyraźnie widać na rys. 4-7.

- Istotne różnice (rzędu 2-3 A) wartości badanego parametru funkcjonowania modułu PV zaobserwowano w godzinach przedpołudniowych i popołudniowych. Nieznacznie większe różnice natężenia prądu w punkcie maksymalnej mocy modułu obserwowano w godzinach przedpołudniowych.
- Z przeprowadzonych badań jednoznacznie wynika, że stosowanie układów nadążnych w budowie systemów PV ma zdecydowanie korzystniejszy wpływ na przebiegi charakterystyk I-V w miesiącach wrzesień i październik. W listopadzie i grudniu należałoby przeanalizować ogólny bilans energetyczny systemu PV, aby ocenić, czy stosowanie tych układów ma uzasadnienie ekonomiczne.

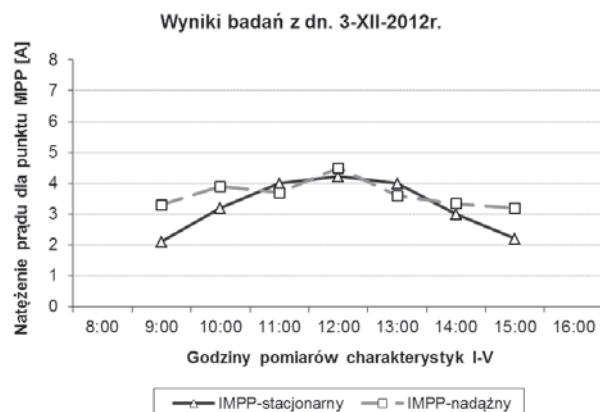
#### LITERATURA

- Chochowski A., Czekański D. 2005: Pomiary pyrometryczne na stanowisku SGGW-Ursynów. Polska Energetyka Słoneczna nr 2/2005, s. 15-19.



Rys. 6. Wyniki pomiarów natężeń prądu w punkcie mocy maksymalnej  $I_{MPP}$  modułu PV z dnia 3 listopada 2012 roku

Fig. 6. The results of measurements of currents at the maximum power point  $I_{MPP}$  PV module of 3 November 2012



Rys. 7. Wyniki pomiarów natężeń prądu w punkcie mocy maksymalnej  $I_{MPP}$  modułu PV z dnia 3 grudnia 2012 roku

Fig. 7. The results of measurements of currents at the maximum power point  $I_{MPP}$  PV module of 3 December 2012

- Chwieduk D. 2006: Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa.
- Instrukcja obsługi miernika charakterystyk I-V 400. 2012. Firma TOMTRONIX, Łódź.
- Instrukcja obsługi sterownika StxL-2: [http://xllabs.pl/aukcje\\_pliki/instrukcja\\_STxL-2.pdf](http://xllabs.pl/aukcje_pliki/instrukcja_STxL-2.pdf).
- Jarzębski Z. M. 1990: Energia Słoneczna, konwersja fotowoltaiczna. PWN, Warszawa.
- Kaiser H. 1995: Wykorzystanie energii słonecznej. Wydawnictwo AGH, Kraków.
- Kapica J. 2011: Application of a microcontroller in simulation of the photovoltaic generators. TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln. – OL PAN, v. 11, 173-180.
- Karta produktu modułu AEMF130. 2012. Active Energy: <http://www.actionenergy.pl>.
- Klugmann E. Klugmann-Radziemska E. 2005: Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Marecki J. 1995: Podstawy przemian energetycznych. WNT, Warszawa.

11. **Messenger R. A., Ventre J. 2010:** Photovoltaic Systems Engineering. Third Edition. CRC Press 2010 - 527 pp. ISBN: 978-1-4398-0292-2.
12. **Myczko A., Karłowski J., Lenarczyk J. 2010:** Porównanie efektywności energetycznej zestawu modułów fotowoltaicznych stacjonarnych i pracujących w układzie nadążnym w warunkach gospodarstwa rolnego. Problemy Inżynierii Rolniczej nr 4/2010.
13. **Nalepa K., Neugebauer M., Spłowiej P., Chmielewski R. 2009:** Wykorzystanie mikrokontrolera jednocukładowego do sterowania optymalnym ustawieniem płaszczyzny ogniwa fotowoltaicznego w stosunku do słońca. Inżynieria Rolnicza 8(117)/2009.
14. **Nowicki J. 1980:** Promieniowanie słoneczne jako źródło energii. Arkady, Warszawa.
15. **Pluta Z. 2000:** Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
16. **Sarniak M. 2008:** Podstawy fotowoltaiki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.
17. **Sarniak M. 2012:** The method of selection of optimum fitting parameters for stationary photovoltaic systems and optimum control parameters for tracking photovoltaic systems. TEKA COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE. Vol.12, No. 1, 243-246. Lublin-Lugansk.
18. **Szymański B. 2013:** Małe instalacje fotowoltaiczne. Wydanie I. GLOBEnergia. Kraków.
19. **Tymiński J. 1997:** Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w Polsce do 2030 roku. Aspekt energetyczny i ekologiczny. Wydawnictwo IBMER, Warszawa.
20. PN-EN 60891: 2010: Postępowanie zapewniające korekcję temperatury i natężenia promieniowania do pomierzonych charakterystyk prądowo napięciowych krystalicznych urządzeń krzemowo-fotowoltaicznych.

INVESTIGATIONS INTO THE INFLUENCE  
OF THE SETTING OF A PHOTOVOLTAIC  
MODULE ON THE COURSES OF EXTERNAL  
CHARACTERISTICS

**Summary.** The paper presents investigations of the influence of the setting of a photovoltaic module on the courses of the external characteristics. The tests were performed on an AEMF130 monocrystalline module. The measurement of the characteristics was made on selected days in the months from September until December 2012. Days with direct sunlight were chosen for testing. The results were shown for the parameter characteristics: current at maximum power point. The variable parameter was the setting of the module in an optimum position for a given measurement period and the position set by the bi-axial tracking control system. **Key words:** photovoltaics, PV tracking system, PV module, current-voltage characteristics.

## Identyfikacja spektrum relaksacji materiałów lepkosprężystych przy silnie zakłóconych danych pomiarowych. Część I: Problem i przykład

*Anna Stankiewicz*

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Automatyki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,  
Doświadczalna 50 A, 20-280 Lublin, e-mail: anna.m.stankiewicz@gmail.com

**Streszczenie.** W pracy rozważa się problem wyznaczenia ciągłego spektrum relaksacji materiałów liniowo lepkosprężystych na podstawie dyskretnych silnie zakłóconych pomiarów modułu relaksacji. Problem identyfikacji spektrum relaksacji to problem źle uwarunkowany, w którym nawet niewielka zmiana danych doświadczalnych może powodować drastyczną zmianę uzyskanego rozwiązania. Klasycznym remedium jest regularyzacja problemu. Przedstawiono algorytmy aproksymacji spektrum relaksacji skończonymi szeregami funkcji specjalnych (Laguerre'a, Legendre'a, Hermite'a, Czebyszewa) optymalnej w sensie zregularyzowanej metody najmniejszych kwadratów. Podano przykład ilustrujący proces wyznaczenia spektrum relaksacji rzeczywistego materiału biologicznego (próbki buraka cukrowego badanego w stanie jednoosiowego odkształcenia) przy silnie zakłóconych pomiarach siły reakcji próbki. Zastosowano algorytmy Laguerre'a i Legendre'a. Pokazano, że zastosowanie wstępnej filtracji danych pomiarowych nie wpływa istotnie na wynik identyfikacji. Analiza teoretyczna odporności badanych algorytmów identyfikacji spektrum relaksacji na zakłócenia pomiarowe jest przedmiotem drugiej części pracy.

**Słowa kluczowe:** lepkosprężystość, spektrum relaksacji, identyfikacja, szeregi funkcyjne, odporność na zakłócenia, burak cukrowy.

### WPROWADZENIE

Zdobycie szczegółowej wiedzy o zjawiskach dynamicznych zachodzących w materiałach jest istotnym etapem projektowania inżynierskiego oraz wstępem do budowy układów sterowania obiektami przemysłowymi [3, 9, 14]. Wiele materiałów posiada zarówno cechy sprężystych ciał stałych jak i cechy lepkich płynów. Nazywamy je materiałami lepkosprężystymi [2, 3, 8, 10]. Jedną z podstawowych cech materiałów sprężystych jest zdolność gromadzenia energii mechanicznej podczas deformacji pod obciążeniem i pełnego uwalniania tej energii po odjęciu obciążenia. Natomiast w lepkich płynach energia mechaniczna zużyta na wywołanie odkształcenia ulega dys-

sypacji. W materiałach o własnościach lepkosprężystych energia mechaniczna jest w różnym stopniu gromadzona i rozpraszana podczas cykli obciążania i odciążania materiału. Do modelowania matematycznego materiałów, w których zachodzą zjawiska gromadzenia i dysypacji energii skutecznie stosowane są modele reologiczne [3, 8, 10]. Modele lepkosprężyste stosuje się do opisu własności wielu materiałów konstrukcyjnych: betonów [10], drewna [4], materiałów kompozytowych [8, 10], metali i ich stopów [10], a przede wszystkim różnorodnych polimerów [2, 8, 10]. Badania prowadzone w ciągu ostatnich kilkadziesiąt lat wykazały, iż są one także skutecznym narzędziem modelowania własności mechanicznych gleby [10, 24] oraz materiałów pochodzenia biologicznego [1, 6, 7, 15, 18, 24].

Wielu autorów [10, 12] zwraca uwagę, że pełną informację o własnościach mechanicznych materiałów lepkosprężystych niesie ich spektrum relaksacji. Na jego podstawie można wyznaczyć dowolne inne liniowe charakterystyki opisujące materiały [10, 12]. Spektrum relaksacji nie jest jednak wprost dostępne pomiarowo, musi więc być wyznaczane w oparciu o charakterystyki dostępne pomiarowo. Zadanie identyfikacji spektrum relaksacji jest źle uwarunkowanym problemem odwrotnym [12, 18, 21]. Jego rozwiązanie (jeśli istnieje) jest nieciągłe względem danych zadania. Oznacza to, że nawet bardzo małe wahania danych mogą powodować bardzo duże fluktuacje rozwiązania (p. przykłady 3 i 4 w [21]). Identyfikacja spektrum relaksacji wymaga więc stosowania specjalnych metod. W ciągu ostatnich kilku lat powstało kilka metod i algorytmów identyfikacji spektrum częstotliwości i czasów relaksacji bazujących na rozwinięciu nieznanego spektrum w skończony szereg funkcyjny, przykładowo [16, 17, 18, 20, 22] i starsze prace tam cytowane. Algorytmy te wykorzystują pomiary zgromadzone w przeprowadzonym w dziedzinie czasu teście relaksacji naprężeń [10, 11].

Celem pracy, złożonej z dwu części, jest przeanalizowanie wpływu zakłóceń pomiarowych na wyznaczony model spektrum relaksacji. W tej pracy przedstawiono i krótko scharakteryzowano klasę metod aproksymacji spektrum relaksacji szeregami funkcji specjalnych (Laguerre'a, Legendre'a, Hermite'a, Czebyszewa). Przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych dla próbki rzeczywistego materiału roślinnego – buraka cukrowego odmiany Janus. Spektrum relaksacji badanej próbki wyznaczono na podstawie oryginalnych, silnie zakłóconych, danych pomiarowych oraz danych poddanych wstępnej filtracji. Zastosowano algorytmy Laguerre'a i Legendre'a. Wszystkie obliczenia wykonano w programie Mathcad 7 Professional, filtrację danych przeprowadzono w programie Catman 1.2. Niewielkie rozbieżności pomiędzy wyznaczonymi modelami spektrum relaksacji wskazują na odporność rozważanych algorytmów identyfikacji na silne zakłócenia pomiarowe. Analiza teoretyczna odporności algorytmów na deterministyczne addytywne zakłócenia pomiarów siły reakcji próbki badanej w teście relaksacji naprężeń jest przedmiotem drugiej części pracy.

#### SPEKTRUM RELAKSACJI I JEJ MODELE

W reologii przyjmuje się, że liniowy moduł relaksacji (jednoosiowa funkcja relaksacji naprężeń)  $G(t), t \geq 0$ , jest w pełni scharakteryzowany poprzez spektrum częstotliwości relaksacji  $H(\nu)$  zgodnie z całkowym modelem Maxwella postaci [10, 12]:

$$G(t) = \int_0^{\infty} H(\nu) e^{-t\nu} d\nu, \quad (1)$$

gdzie:  $\nu$  oznacza częstotliwość relaksacji,  $\nu \geq 0$ . Spektrum relaksacji charakteryzuje frakcje elementów modelu (1) o częstotliwościach relaksacji zawierających się pomiędzy  $\nu$  a  $\nu + d\nu$ . Będziemy zakładać, że rzeczywiste spektrum relaksacji  $H(\nu)$  jest całkowicie nieznane, natomiast moduł relaksacji  $G(t)$  jest dostępny pomiarowo.

Niech  $H(\nu) \in L_2(0, \infty)$ , gdzie  $L_2(0, \infty)$  oznacza przestrzeń funkcji całkowalnych z kwadratem w przedziale  $(0, \infty)$ . Zbiór liniowo niezależnych funkcji  $\{h_1(\nu), h_2(\nu), h_3(\nu), \dots\}$  tworzy zupełny układ bazowy w przestrzeni  $L_2(0, \infty)$ . Spektrum relaksacji  $H(\nu)$  przybliża się modelem postaci [17, 18, 19, 20, 22]:

$$H_K(\nu) = \sum_{k=1}^K g_k h_k(\nu). \quad (2)$$

Przyjęcie modelu (2) oznacza przybliżenie modułu relaksacji  $G(t)$  szeregiem funkcyjnym:

$$G_K(t) = \int_0^{\infty} H_K(\nu) e^{-t\nu} d\nu = \sum_{k=1}^K g_k \phi_k(t), \quad (3)$$

gdzie funkcje:

$$\phi_k(t) = \int_0^{\infty} h_k(\nu) e^{-t\nu} d\nu. \quad (4)$$

Funkcje bazowe  $h_k(\nu)$  w opracowanych algorytmach dobrano tak, aby składowe  $\phi_k(t)$  modelu modułu relaksacji (3) były dane formułami analitycznymi lub rekurencyjnymi. Pozwala to uniknąć błędów kwadratur występujących przy numerycznym obliczaniu całek (4). Jako funkcje bazowe  $h_k(\nu)$  przyjęto: funkcje Laguerre'a [18, 20], funkcje Legendre'a [17, 18], funkcje Czebyszewa [19], funkcje Hermita [22].

Dla wielu materiałów  $\lim_{t \rightarrow \infty} G(t) = G_{\infty} > 0$  [3, 8, 10, 12, 18], gdzie  $G_{\infty}$  jest wartością ustaloną modułu relaksacji (ang. *long-term modulus*). Jest tak również dla próbki buraka cukrowego badanej poniżej. Zamiast klasycznego modelu (3) dogodnie jest więc rozpatrywać model rozszerzony (ang. *augmented model*) postaci:

$$\bar{G}_K(t) = \int_0^{\infty} H_K(\nu) e^{-t\nu} d\nu + G_{\infty}. \quad (5)$$

Model spektrum relaksacji ma wówczas postać:

$$\bar{H}_K(\nu) = H_K(\nu) + G_{\infty} \delta(\nu), \quad (6)$$

gdzie:  $\delta(\nu)$  oznacza deltę Diraca. Nieograniczona składowa  $G_{\infty} \delta(\nu)$  spektrum relaksacji  $\bar{H}_K(\nu)$  (6) odpowiada zerowej częstotliwości relaksacji.

#### ALGORYTMY IDENTYFIKACJI SPEKTRUM RELAKSACJI

Założmy, że przeprowadzono skończony eksperyment dyskretny (test relaksacji naprężeń [10, 11]), którego rezultatem jest zbiór pomiarów modułu relaksacji  $\bar{G}(t_i) = G(t_i) + z(t_i)$  w chwilach czasu  $t_i \geq 0$ ,  $i = 1, \dots, N$ , gdzie  $z(t_i)$  oznacza zakłócenie. Problem optymalnej identyfikacji spektrum relaksacji w klasie modeli (2), (6) polega na takim doborze wektora parametrów  $\mathbf{g}_K^T = [g_1 \dots g_K G_{\infty}]$  modelu  $\bar{G}_K(t)$  (3), (5), aby model ten przybliżał dane eksperymentalne  $\{\bar{G}(t_i)\}$  jak najlepiej w sensie wskaźnika:

$$Q_N(\mathbf{g}_K) = \sum_{i=1}^N [\bar{G}(t_i) - G_K(t_i)]^2. \quad (7)$$

Tak sformułowane zadanie optymalnej identyfikacji spektrum relaksacji jest klasycznym liniowym problemem najmniejszej sumy kwadratów postaci  $\min_{\mathbf{g}_K \in R^{K+1}} Q_N(\mathbf{g}_K)$ . Jednak już dla niewielkich wartości  $K$  problem ten jest wciąż zadaniem źle postawionym



[18, 21]. Stabilizację jego rozwiązania uzyskuje się stosując technikę regularyzacji Tichonowa [12, 18]. Prowadzi to do następującego algorytmu identyfikacji wektora parametrów modelu optymalnego [16, 18, 19, 20, 22]:

$$\mathbf{g}_K = (\Phi_{N,K}^T \Phi_{N,K} + \lambda \mathbf{I}_{K+1,K+1})^{-1} \Phi_{N,K}^T \bar{\mathbf{G}}_N, \quad (8)$$

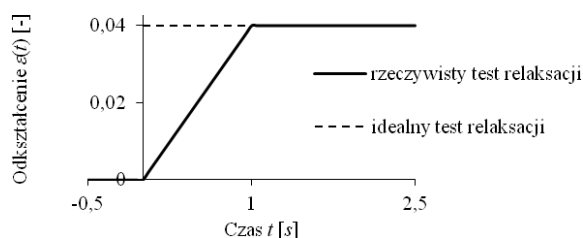
gdzie:

$$\Phi_{N,K} = \begin{bmatrix} \phi_1(t_1) & \dots & \phi_K(t_1) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \phi_1(t_N) & \dots & \phi_K(t_N) & 1 \end{bmatrix} \quad i \quad \bar{\mathbf{G}}_N = \begin{bmatrix} \bar{G}(t_1) \\ \vdots \\ \bar{G}(t_N) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

natomiast  $\lambda > 0$  jest parametrem regularyzacji, a  $\mathbf{I}_{K+1,K+1}$  oznacza  $K+1$  wymiarową macierz jednostkową. Skuteczność stosowania regularyzacji zależy od metody doboru parametru regularyzacji. W rozważanych algorytmach najczęściej stosowano dwie reguły doboru parametru  $\lambda$ , obie nie wymagają wiedzy apriorycznej o własnościach stochastycznych zakłóceń:

1. uogólnioną metodę sprawdzania krzyżowego (ang. *Generalized Cross Validation* [12]) w pracach [18, 19, 20],
2. nową, zaproponowaną po raz pierwszy w pracy autorki [16] dla zadania identyfikacji spektrum czasów relaksacji, regułę doboru współczynnika regularyzacji, w której parametr  $\lambda$  dobiera się tak, aby zagwarantować założoną dokładność aproksymacji modułu relaksacji (ang. *Guaranteed Model Approximation*) w pracach [18, 22].

Oryginalny problem identyfikacji spektrum relaksacji jest zadaniem źle postawionym. Przybliżenie spektrum skończonym szeregiem funkcji bazowych oraz odpowiednia regularyzacja problemu pozwoliły na sprowadzenie oryginalnego problemu do zadania dobrze postawionego o jednoznacznym i ciągłym względem danych zadania rozwiązaniu [18]. Często jednak, szczególnie w warunkach obciążeń udarowych, pomiary modułu relaksacji rejestrowane dla rzeczywistych materiałów są silnie zakłócone. W takim przypadku naturalnym podejściem wydaje się poddanie danych pomiarowych wstępnej filtracji. W pracy pokazano, że w przypadku rozważanych algorytmów aproksymacji spektrum relaksacji szeregiem funkcyjnymi nie jest to niezbędne. Ilustruje to przykład przedstawiony poniżej.



**Rys. 1.** Przebieg odkształcenia w rzeczywistym teście relaksacji (10);  $t_R = 1$  [s],  $\varepsilon_0 = 0,04$  [-]

**Fig. 1.** Strain in the ramp-test (10);  $t_R = 1$  [s],  $\varepsilon_0 = 0,04$  [-]

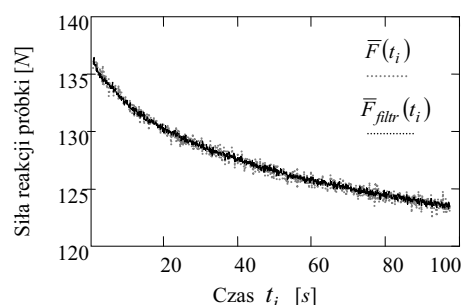
## MATERIAŁ BADAWCZY I EKSPERYMENT

Klasycznym sposobem wyznaczania charakterystyk lepkospężystych jest, złożony z dwu faz, test relaksacji naprężeń [10, 11, 23]. W pierwszej fazie testu relaksacji badana próbka poddawana jest odkształceniu ze stałą prędkością aż do osiągnięcia założonej wartości odkształcenia utrzymywanego w drugiej fazie testu. Odkształcenie w takim teście relaksacji (ang. *ramp-test* [11]) opisane jest funkcją:

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t < 0 \\ \varepsilon_0 t / t_R & \text{dla } 0 \leq t \leq t_R \\ \varepsilon_0 & \text{dla } t > t_R \end{cases}, \quad (10)$$

gdzie:  $t_R$  to czas narastania odkształcenia, a  $\varepsilon_0$  to stałe odkształcenie utrzymywane w drugiej fazie testu (p. rys. 1).

Walcową próbkę buraka cukrowego odmiany Janus o średnicy i wysokości 20 mm poddano testowi relaksacji naprężeń w warunkach stanu jednoosiowego odkształcenia [6]. Próbkę umieszczono w stalowym cylindrze uniemożliwiającej jej boczne odkształcenie i odkształcano poprzez przesuwanie tłoka. Test relaksacji przeprowadzono w warunkach obciążeń udarowych na stanowisku do badań dynamicznych opisanym w pracy [5] w Zakładzie Teorii Maszyn i Automatyki Akademii Rolniczej w Lublinie [6]. Próbkę ściskano wzdłuż osi o 0,8 mm ( $\varepsilon_0 = 0,04$  [-]), stosując prędkość odkształcania  $\varepsilon_0 / t_R = 25 \text{ s}^{-1}$ . Oznacza to, że ruch tłoka powodującego odkształcanie próbki odbywał się z prędkością  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ . Siłę reakcji próbki rejestrowano przez 100 [s]. Punkty pomiarowe  $t_i$  dobrano ze stałym krokiem próbkowania  $\Delta t = 0,0025$  [s] [6,18]. Przebieg siły reakcji próbki  $\bar{F}(t)$  zarejestrowano w 40000 punktach pomiarowych. Do identyfikacji spektrum relaksacji wybrano 1164 punkty pomiarowe, pierwsze 200 co  $\Delta t = 0,0025 \text{ s}$  na odcinku czasu  $0 \leq t \leq 0,5$  [s], kolejne 964 punktów z okresem próbkowania  $\Delta t_1 = 0,1 \text{ s}$  na odcinku  $0,5 \leq t \leq 97$  [s]. Ich przebieg przedstawia rys. 2 (szare punkty), ilustrujący także silne zakłócenia pomiarowe.



**Rys. 2.** Siła reakcji próbki buraka cukrowego Janus zarejestrowana doświadczalnie [s] (szare punkty) oraz pomiary odfiltrowane (czarne punkty) dla  $0,85 \leq t_i \leq 97$

**Fig. 2.** The force induced in the cylindrical sample of root of sugar beet Janus variety recorded experimentally during ramp-test (grey points) and the filtered measurements (black points) for sampling instants  $0,85 \leq t_i \leq 97$

## WYZNACZENIE MODUŁU RELAKSACJI

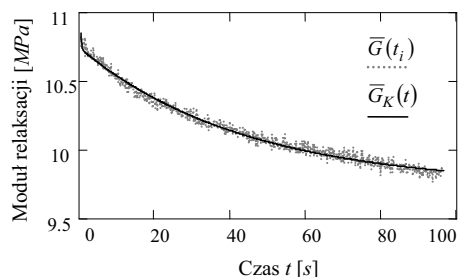
Zastosowanie modeli reologicznych do opisu mechanicznych własności próbki badanego materiału uzasadniają wyniki badań prezentowane w wielu pracach, np. [1, 6, 18]. Danymi dla algorytmów identyfikacji spektrum relaksacji są pomiary modułu relaksacji. Wielkością bezpośrednio dostępną pomiarowo w teście relaksacji jest siła reakcji badanej próbki. Wynikiem eksperymentu jest zbiór pomiarów siły reakcji próbki  $F(t_i)$  zgromadzonych dla  $t_i \geq 0$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Wobec tego naprężenie  $\bar{\sigma}(t_i) = F(t_i)/p$ , gdzie  $p$  oznacza pole przekroju poprzecznego próbki. Naprężenie  $\sigma(t)$  i moduł relaksacji  $G(t)$  wiąże równanie całkowe [8, 10]:

$$\sigma(t) = \int_{-\infty}^t G(t-\tau) \dot{\varepsilon}(\tau) d\tau. \quad (11)$$

W literaturze znanych jest kilka algorytmów wyznaczania modułu relaksacji na podstawie pomiarów naprężenia uwzględniających niezerowy czas odkształcania próbki. Ich przegląd podaje praca [23]. W obliczeniach zastosowano regułę Zapasa-Crafta [11, 23]:

$$\bar{G}(t - t_R/2) = \frac{\bar{\sigma}(t)}{\varepsilon_0} \quad \text{dla } t \geq t_R/2. \quad (12)$$

O jej wyborze zdecydowała nie tylko dobra odporność na zakłócenia i prosta formuła obliczeniowa, ale także doskonała jakość przybliżenia modułu relaksacji dla niewielkich czasów  $t_R$  - w przeprowadzonym eksperymencie  $t_R = 0,0016$  [s]. W porównaniu z tradycyjną prostą formułą  $\bar{G}(t) = \bar{\sigma}(t)/\varepsilon_0$ , słuszną dla idealnego testu relaksacji o stałym odkształceniu  $\varepsilon_0$  (p. rys. 1), zastosowanie formuły (12) oznacza wprowadzenie składowej korekcyjnej równej  $t_R/2$ . Dla uproszczenia notacji punkty pomiarowe  $t_i$  oraz ich wartości skorygowane  $t_{i\_corr} = t_i - t_R/2$  będziemy dalej oznaczać tym samym symbolem.



**Rys. 3.** Pomiary modułu relaksacji  $\bar{G}(t_i)$  dla  $0,85 \leq t_i \leq 95$  [s] (szare punkty) oraz model modułu relaksacji  $\bar{G}_K(t)$  (czarna linia) wyznaczony metodą Laguerre'a - próbka buraka cukrowego Janus

**Fig. 3.** The relaxation modulus measurements  $\bar{G}(t_i)$  for  $0,85 \leq t_i \leq 95$  [s] (grey points) and the model  $\bar{G}_K(t)$  (solid black line) determined by using Laguerre method; sample of the sugar beet Janus root

WYZNACZENIE SPEKTRUM RELAKSACJI  
BEZ WSTĘPNEJ FILTRACJI  
DANYCH POMIAROWYCH

Na podstawie pomiarów siły reakcji badanej próbki  $\{\bar{F}(t_i)\}$  wyznaczono pomiary naprężenia  $\{\bar{\sigma}(t_i)\}$ , a następnie stosując formułę (12) pomiary modułu relaksacji  $\{\bar{G}(t_i)\}$  przedstawione na rys. 3, który pozwala ocenić intensywność zakłóceń „pomiarów” modułu  $G(t)$ . Na podstawie  $\{\bar{G}(t_i)\}$  wyznaczono spektrum relaksacji stosując algorytmy Laguerre'a [18, 20] i Legendre'a [17, 18]. Model spektrum relaksacji  $H_K(\nu)$  wyznaczony metodą Laguerre'a przedstawia rys. 4, a metodą Legendre'a - rys. 5. Dokładność dopasowania modelu  $\bar{G}_K(t)$  (5), (3) do pomiarów ilustruje rys. 3. Na równie dobre jak w przypadku algorytmu Laguerre'a dopasowanie do danych pomiarowych modelu modułu relaksacji wyznaczonego algorytmem Legendre'a wskazują wartości wskaźników:

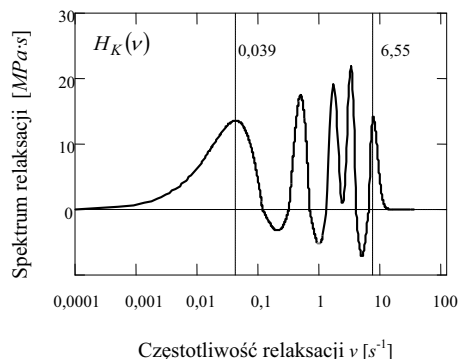
1. średniokwadratowego błędu aproksymacji pomiarów modułu relaksacji (p. wzór (7)):

$$QLS = \frac{1}{N} Q_N(\mathbf{g}_K) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\bar{G}(t_i) - G_K(t_i)]^2, \quad (13)$$

2. średniokwadratowego względnego błędu aproksymacji pomiarów modułu relaksacji:

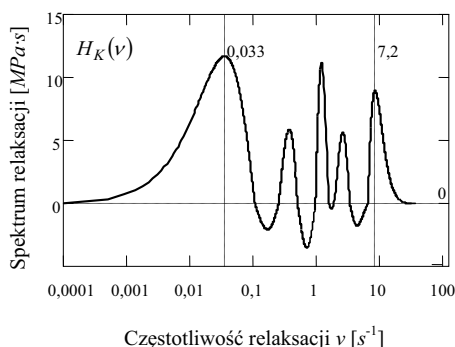
$$QLSR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\bar{G}(t_i) - G_K(t_i)]^2 / [\bar{G}(t_i)]^2, \quad (14)$$

podane w Tabeli 1. W tabeli tej zestawiono także przyjęte parametry  $\alpha$  (współczynniki skali czasu [17,18,20]) i  $K$ , współczynniki regularyzacji  $\lambda_{GCV}$  wyznaczone metodą uogólnionego sprawdzania krzyżowego, oraz normy z rozwiązania normalnego oryginalnego zadania najmniejszych kwadratów  $\|\mathbf{g}_K^N\|_2$  i rozwiązania zregularyzowanego (8)  $\|\mathbf{g}_K\|_2$ ;  $\|\cdot\|_2$  oznacza tu normę euklidesową w przestrzeni  $R^{K+1}$ .



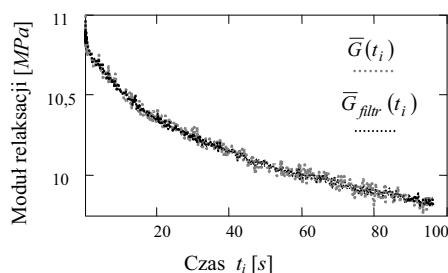
**Rys. 4.** Model spektrum relaksacji  $H_K(\nu)$  próbki buraka cukrowego Janus - algorytm Laguerre'a

**Fig. 4.** The approximate model  $H_K(\nu)$  of the relaxation spectrum of the sample of the sugar beet Janus root - Laguerre algorithm



**Rys. 5.** Model spektrum relaksacji  $H_K(v)$  próbki buraka cukrowego Janus algorytm Legendre'a

**Fig. 5.** The approximate model  $H_K(v)$  of the relaxation spectrum of the sample of the sugar beet Janus root – Legendre algorithm



**Rys. 6.** Pomiary modułu relaksacji  $\bar{G}(t_i)$  (szare punkty) oraz  $\bar{G}_{filtr}(t_i)$  (czarne punkty) dla  $0,85 \leq t_i \leq 95$  [s] – próbka buraka cukrowego Janus

**Fig. 6.** The relaxation modulus measurements  $\bar{G}(t_i)$  (grey points) and  $\bar{G}_{filtr}(t_i)$  (black points) for  $0,85 \leq t_i \leq 95$  [s]; sample of the sugar beet Janus root

#### WYZNACZENIE SPEKTRUM RELAKSACJI ZE WSTĘPNĄ FILTRACJĄ DANYCH POMIAROWYCH

W tym punkcie wyznaczono spektrum relaksacji dla danych pomiarowych  $\{\bar{F}(t_i)\}$  poddanych wstępnej filtracji klasyczną metodą Savitzky'ego-Golay'a [13]. Do identyfikacji modelu wykorzystano 1164 punkty pomiarowe wybrane powyżej. Przebieg oryginalnych pomiarów siły reakcji próbki  $\bar{F}(t_i)$  i sygnału przefiltrowanego  $\bar{F}_{filtr}(t_i)$  przedstawia rys. 2. Na podstawie zbioru pomiarów  $\{\bar{F}_{filtr}(t_i)\}$  wyznaczono naprężenia  $\{\bar{\sigma}_{filtr}(t_i)\}$ , a następnie pomiary modułu relaksacji  $\{\bar{G}_{filtr}(t_i)\}$  zgodnie z formułą (12). Sygnały  $\{\bar{G}(t_i)\}$  i  $\{\bar{G}_{filtr}(t_i)\}$  zestawiono na rys. 6, co pozwala ocenić skuteczność filtracji. Na podstawie  $\{\bar{G}_{filtr}(t_i)\}$  wyznaczono spektrum relaksacji  $H_{K,filtr}(v)$  stosując algorytmy Laguerre'a i Legendre'a. Parametry  $\alpha$ ,  $K$  i  $\lambda_{GCV}$ , normy z rozwiązywania normalnego i zregulowanego oraz wartości wskaźników  $QLS$  i  $QLSR$  podano w dwu ostatnich wierszach Tabeli 1. Mniejsza wartość współczynnika regularyzacji jest naturalna wobec słabszych zakłóceń. Modele  $H_K(v)$  i  $H_{K,filtr}(v)$  wyznaczone metodą Laguerre'a zestawiono na rys. 7, metodą Legendre'a na rys. 8.

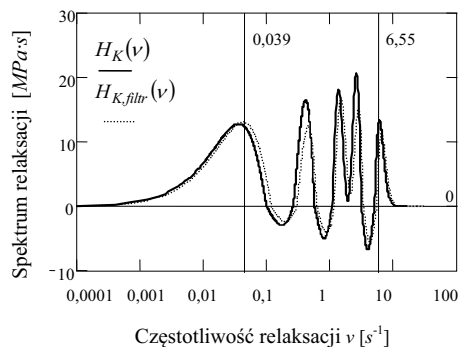
#### UWAGA KOŃCOWA

W pracy wyznaczono spektrum relaksacji próbki rzeczywistego materiału biologicznego – buraka cukrowego odmiany Janus – na podstawie danych zgromadzonych w dziedzinie czasu w teście relaksacji naprężeń. Zarówno rejestrowana doświadczalnie siła, jak i wyznaczony moduł relaksacji, obciążone są silnymi zakłóceniami. Zastosowanie filtracji częściowo te zakłócenia niweluje. Stosowanie wstępnej filtracji nie jest jednak niezbędne, gdyż rozbieżności pomiędzy spektrami  $H_K(v)$  i  $H_{K,filtr}(v)$  nie są istotne, a lokalizacja (zaznaczonych na rys. 4 i 5 dla modeli  $H_K(v)$ , a na rys. 7 i 8 dla modeli  $H_{K,filtr}(v)$ ) pierwszego  $v_{min}$  i ostatniego  $v_{max}$  maksimum jest zbliżona, zbliżone są również ich intensywności  $H_K(v_{min})$  i  $H_{K,filtr}(v_{min})$  oraz  $H_K(v_{max})$  i  $H_{K,filtr}(v_{max})$ . Filtracja wstępna nie wpływa więc istotnie na wynik identyfikacji. Dzieje się tak dlatego, że jak pokazano w drugiej części pracy algorytmy optymalnej aproksymacji spektrum relaksacji materiałów liniowo lepkospężystych skończonymi szeregami funkcyjnymi rozpatrywane jako liniowe systemy dyskretne posiadają własności filtru dolnoprzepustowego.

**Tabela 1.** Parametry  $\alpha$ ,  $K$  i  $\lambda$  oraz wartości wskaźników jakości modelu; próbka buraka cukrowego Janus

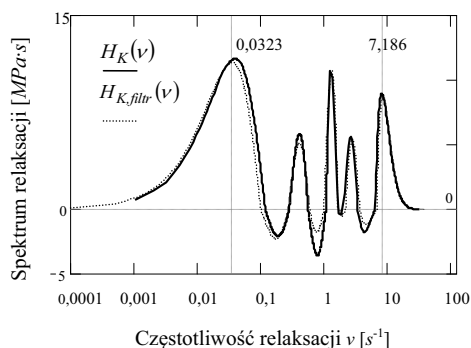
**Table 1.** Parameters  $\alpha$ ,  $K$ ,  $\lambda$  and the values of the model quality indices; sample of the sugar beet Janus root

Algorytm	$K$	$\alpha$	$\lambda_{GCV}$	$\ g_K^N\ _2$	$\ g_K\ _2$	$G_\infty$ [MPa]	$QLS$ (13)	$QLSR$ (14)
Laguerre'a	10	5,104	3,5E-3	4,12E+3	92,06516	9,81212	0,63224	0,00136
Legendre'a	10	0,388	0,022	1,095E+3	71,75919	9,76799	0,59594	0,00134
Laguerre'a z filtracją	10	6,531	4E-4	2,85E+3	147,5758	9,76166	0,30464	0,00073
Legendre'a z filtracją	10	0,395	0,0012	3,77E+2	50,21287	9,71011	0,53484	0,00051



**Rys. 7.** Modele spektrum relaksacji:  $H_K(\nu)$  (linia ciągła) i  $H_{K,filtr}(\nu)$  (linia przerywana) próbki buraka cukrowego Janus – algorytm Laguerre'a

**Fig. 7.** Models:  $H_K(\nu)$  (solid line) and  $H_{K,filtr}(\nu)$  (dash line) of the relaxation spectrum of the sample of the sugar beet Janus root – Laguerre algorithm



**Rys. 8.** Modele spektrum relaksacji:  $H_K(\nu)$  (linia ciągła) i  $H_{K,filtr}(\nu)$  (linia przerywana) próbki buraka cukrowego Janus – algorytm Legendre'a

**Fig. 8.** Models:  $H_K(\nu)$  (solid line) and  $H_{K,filtr}(\nu)$  (dash line) of the relaxation spectrum of the sample of the sugar beet Janus root – Legendre algorithm

#### LITERATURA

- Bzowska-Bakalarz M. 1989.** Comparison of rheological models determining the physical properties of sugar beet roots. *Proceedings of the 4th International Conference Physical Properties of Agricultural Materials*, Rostock, 109-112.
- Dealy J., Larson R.G. 2006.** Structure and rheology of molten polymers-from structure to flow behaviour and back again. Hanser, Munich.
- Domone P., John Illston J. (Eds) 2010.** Construction Materials: Their Nature and Behaviour. Spon Press, New York.
- Eitelberger J., Bader T.K., De Borst K., Jäger A. 2012.** Multiscale prediction of viscoelastic properties of softwood under constant climatic conditions. *Computational Materials Science*, 55, 303-312.
- Gołacki K., Graboś A., Stropek Z. 1999.** Test relaksacji naprężeń w materiale biologicznym w warunkach obciążenia dynamicznego-realizacja techniczna. *Inżynieria Rolnicza*, 2, 55-61.
- Gołacki K., Kołodziej P., Stankiewicz A., Stropek Z. 2003.** Report of KBN Grant No 5P06F00619: "Charakterystyka odporności mechanicznej buraków cukrowych w aspekcie spotykanych w praktyce obciążeń mechanicznych", 1-214.
- Kobus Z., Kusińska E. 2010.** Effect of temperature and concentration on rheological properties of tomato juice. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 10, 170-178.
- Kontopoulou M. (Ed) 2012.** Applied Polymer Rheology: Polymeric Fluids with Industrial Applications. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Kusińska E., Kornacki A. 2008.** Testing of a mathematical model of grain porosity. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 8A, 112-117.
- Lakes R. S. 2009.** Viscoelastic Materials. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lee S., Knauss W.G. 2000.** A note on the determination of relaxation and creep data from ramp tests. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 4, 1-7.
- Malkin A.Y., Isayev A.I. 2011.** Rheology: Concepts, Methods and Applications. ChemTec Publishing, Toronto.
- Persson P.-O., Strang G. 2003.** Smoothing by Savitzky-Golay and Legendre filters. *Mathematical systems theory in biology, communications, computation, and finance (Notre Dame, IN, 2002)*, IMA Vol. Math. Appl., 134, 301-315, Springer, New York.
- Petryszak P., Grzegorz Wcisło G., Koloczek H. 2011.** Wyznaczenie wybranych własności fizyko-chemicznych biodiesli PME oraz RME wyprodukowanych z zużytych olejów oraz określenie skuteczności neutralizacji metanolu w ściekach powstałych po ich produkcji. *MOTROL*, 13, 258-268.
- Prorok B.C., Barthelat F., Korach Ch.S., Grande-Al-len J.J., Lipke E., Lykofatitits G., Zavattieri P. (Eds) 2013.** Mechanics of Biological Systems and Materials, Volume 5. *Proceedings of the 2012 Annual Conference on Experimental and Applied Mechanics*, Springer, New York London.
- Stankiewicz A. 2003.** Algorytm identyfikacji ciągłego spektrum czasów relaksacji biologicznych materiałów lepkosprężystych. *Acta Scientiarum Polonorum, Seria Technica Agraria*, 2(2), 77-91.
- Stankiewicz A. 2004.** Metoda identyfikacji spektrum relaksacji materiałów lepkosprężystych. *Problemy Eksploatacji*, 52(1), 121-133.
- Stankiewicz A. 2007.** Identyfikacja spektrum relaksacji lepkosprężystych materiałów roślinnych. Rozprawa doktorska, Akademia Rolnicza, Lublin.
- Stankiewicz A. 2010.** Identification of the relaxation and retardation spectra of plant viscoelastic materials using Chebyshev functions. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 10, Part I. 363-371; Part II. 372-378; Part III. 396-404.
- Stankiewicz A. 2010.** Jak dobrze postawić problem identyfikacji spectrum relaksacji roślinnych materiałów lepkosprężystych. *Acta Agrophysica*, 16(1), 117-227.

21. **Stankiewicz A. 2010.** O źle i dobrze postawionych problemach identyfikacji modeli roślinnych materiałów lepkospężystych. *Acta Agrophysica* 16(1), 189-206.
22. **Stankiewicz A. 2012.** On determination of the relaxation spectrum of viscoelastic materials from discrete-time stress relaxation data. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 12(2), 201-206.
23. **Tscharnuter D., Jerabek M., Major Z., Lang R.W. 2011.** On the determination of the relaxation modulus of PP compounds from arbitrary strain histories. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 15, 1-14.
24. **Vicente J. (Ed) 2012.** Viscoelasticity - From Theory to Biological Applications. InTech, Rijeka.

IDENTIFICATION OF THE RELAXATION SPECTRUM  
OF VISCOELASTIC MATERIALS UNDER STRONG  
NOISE MEASUREMENT DATA.  
PART I. PROBLEM AND EXAMPLE

**Summary.** The two-part paper deals with the problem of recovery of continuous relaxation spectrum of linear viscoelastic materials from discrete-time noise corrupted measurements of

relaxation modulus obtained in stress relaxation test. This problem is known to be severely Hadamard ill-posed. Thus even small changes in measurement data can lead to arbitrarily large changes in the relaxation spectrum. In remedy, respective regularization of the original problem can be used. Noise robustness issues are studied. A class of identification algorithms based on the least-squares approximation of relaxation modulus by finite series of some special functions (Laguerre, Legendre, Hermite, Chebyshev) and using Tikhonov regularization to guarantee the stability of the scheme is considered. An example of the relaxation spectrum identification of the beet sugar root sample in the state of the uniaxial deformation based on the strong-noise corrupted measurements of the time-varying force induced in the specimen is given. The Laguerre and Legendre algorithms are applied. The relaxation spectrum models determined for original noise data and the filtered one are congruent. Thus the initial filtering of noise measurements is not necessary when the considered algorithms are used. Theoretical analysis of the noise robustness of the relaxation spectrum identification schemes is the subject of the second part of the paper.

**Key words:** viscoelasticity, relaxation spectrum, identification, special functions series, noise robustness, sugar beet root.



## Identyfikacja spektrum relaksacji materiałów lepkosprężystych przy silnie zakłóconych danych pomiarowych. Część II: Algorytm identyfikacji jako filtr SOI

Anna Stankiewicz

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Automatyki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Doświadczalna 50A, 20-280 Lublin, e-mail: anna.m.stankiewicz@gmail.com

**Streszczenie.** W pracy rozważa się problem wyznaczania spektrum relaksacji materiałów liniowo lepkosprężystych na podstawie dyskretnych pomiarów modułu relaksacji zgromadzonych w teście relaksacji naprężeń. Celem pracy jest analiza odporności algorytmów optymalnej aproksymacji spektrum relaksacji skończonymi szeregami funkcji bazowych na silne addytywne zakłócenia pomiarów modułu relaksacji. W pierwszej części pracy wyznaczono spektra relaksacji próbek rzeczywistego materiału biologicznego (buraka cukrowego odmiany Janus) na podstawie oryginalnych, silnie zakłóconych, pomiarów modułu relaksacji oraz danych poddanych filtracji. Zastosowanie wstępnej filtracji danych pomiarowych nie wpłynęło istotnie na wynik identyfikacji. W tej pracy pokazano, że badane algorytmy identyfikacji traktowane jako liniowe systemy dyskretne posiadają własności filtru dolnoprzepustowego. Zapewnia to ich odporność nawet na silne szybkozmiennie deterministyczne zakłócenia pomiarowe. Podano widma amplitudowe algorytmów Laguerre’a i Legendre’a. Odporność algorytmów na zakłócenia pomiarów modułu relaksacji potwierdza analiza algebraiczna oparta o rozkład SVD macierzy.

**Słowa kluczowe:** lepkosprężystość, spektrum relaksacji, identyfikacja, odporność na zakłócenia, filtr dyskretny SOI.

### WPROWADZENIE

W reologii przyjmuje się, że moduł relaksacji  $G(t)$  materiałów o własnościach liniowo lepkosprężystych posiada całkowitą reprezentację postaci [7]:

$$G(t) = \int_0^{\infty} H(\nu) e^{-t\nu} d\nu, \quad (1)$$

gdzie: funkcja  $H(\nu)$  opisuje spektrum częstotliwości relaksacji  $\nu \geq 0$ . Znajomość spektrum relaksacji ma fundamentalne znaczenie dla modelowania zachowań mechanicznych materiałów podczas deformacji i płynięcia [5, 7].

W ciągu ostatnich kilku lat powstały metody optymalnej aproksymacji spektrum relaksacji skończonymi szeregami [13, 14, 15, 16]:

$$H_K(\nu) = \sum_{k=1}^K g_k h_k(\nu), \quad (2)$$

wybranych funkcji specjalnych  $\{h_1(\nu), h_2(\nu), h_3(\nu), \dots\}$  na podstawie pomiarów modułu relaksacji  $\bar{G}(t_i) = G(t_i) + z(t_i)$  w chwilach czasu  $t_i \geq 0$ ,  $z(t_i)$  oznacza tu zakłócenie,  $i = 1, \dots, N$ . Jako funkcje bazowe  $h_k(\nu)$  przyjęto funkcje: Laguerre’a [14], Legendre’a [13, 14], Czebyszewa [15] i Hermita [16]. Pomiarów modułu relaksacji, gromadzone w dziedzinie czasu, obciążone są często silnymi zakłóceniami - por. przykład w pierwszej części pracy. Analiza odporności algorytmów identyfikacji spektrum relaksacji na zakłócenia pomiarowe jest przedmiotem tej dwuczęściowej pracy. W pierwszej części pracy wyznaczono spektra relaksacji próbki buraka cukrowego odmiany Janus badanego w teście relaksacji naprężeń. Modele wyznaczono na podstawie oryginalnych, silnie zakłóconych, pomiarów siły reakcji badanej próbki oraz na podstawie danych poddanych wstępnej filtracji. Niewielkie rozbieżności pomiędzy uzyskanymi modelami wskazują na własności filtracyjne algorytmów identyfikacji spektrum relaksacji.

Celem tej pracy jest analiza teoretyczna odporności algorytmów na deterministyczne zakłócenia pomiarów modułu relaksacji. Stosując rozkład macierzy podstawowej liniowo-kwadratowego zadania identyfikacji spektrum relaksacji względem jej wartości szczególnych (ang. *singular value decomposition* SVD [4]) pokazano, że dokładność aproksymacji zależy zarówno od zakłóceń w pomiarach, jak i współczynnika regularyzacji oraz własności przyjętych funkcji bazowych algorytmu. Analizę algebraiczną uzupełniono analizą w dziedzinie częstotliwości.

Pokazano, że rozważane algorytmy traktowane jako liniowe systemy dyskretne posiadają własności filtra dolno-przepustowego; zapewnia to ich odporność na szybkozmienne zakłócenia pomiarowe. Podano widma amplitudowe algorytmów Laguerre'a i Legendre'a.

#### PRELIMINARIA MATEMATYCZNE

Przyjęcie modelu (2) oznacza przybliżenie modułu relaksacji  $G(t)$  modelem postaci:

$$\bar{G}_K(t) = \int_0^{\infty} H_K(v) e^{-tv} dv + G_{\infty} = \sum_{k=1}^K g_k \phi_k(t) + G_{\infty}, \quad (3)$$

gdzie: funkcje  $\phi_k(t) = \int_0^{\infty} h_k(v) e^{-tv} dv$ , natomiast  $G_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} G(t)$  jest wartością ustaloną modułu relaksacji [5, 7, 11, 14]. Problem optymalnej identyfikacji spektrum relaksacji polega na takim doborze wektora parametrów  $\mathbf{g}_K^T = [g_1 \dots g_K \ G_{\infty}]$  modelu (3), aby model ten jak najlepiej przybliżał w dane eksperymentalne  $\{\bar{G}(t_i)\}$ . Zastosowanie kwadratowego wskaźnika jakości modelu oraz regularyzacji Tichonowa prowadzi do następującego algorytmu identyfikacji wektora parametrów modelu optymalnego [14, 15]:

$$\mathbf{g}_K = (\Phi_{N,K}^T \Phi_{N,K} + \lambda \mathbf{I}_{K+1,K+1})^{-1} \Phi_{N,K}^T \bar{\mathbf{G}}_N, \quad (4)$$

gdzie:  $\lambda > 0$  jest parametrem regularyzacji,  $\mathbf{I}_{K+1,K+1}$  oznacza  $K+1$  wymiarową macierz jednostkową, natomiast macierz  $\Phi_{N,K}$  i wektor pomiarów modułu relaksacji  $\bar{\mathbf{G}}_N$  zdefiniowane są formułą (9) w pierwszej części pracy. Niech rozkład SVD macierzy  $\Phi_{N,K}$  przyjmuje postać  $\Phi_{N,K} = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T$ , gdzie  $\mathbf{\Sigma} = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_r, 0, \dots, 0) \in R^{N,K+1}$  jest macierzą utworzoną z niezerowych wartości szczególnych  $\sigma_1, \dots, \sigma_r$  macierzy  $\Phi_{N,K}$ ,  $\mathbf{V} \in R^{K+1,K+1}$  i  $\mathbf{U} \in R^{N,N}$  są macierzami ortogonalnymi, a  $r = \text{rank}(\Phi_{N,K})$  to rząd macierzy  $\Phi_{N,K}$ . Wektor parametrów  $\mathbf{g}_K$  (4) dany jest wówczas wzorem [14]:

$$\mathbf{g}_K = \mathbf{V} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T \mathbf{U}^T \bar{\mathbf{G}}_N, \quad (5)$$

gdzie:  $(K+1) \times (K+1)$  wymiarowa macierz:

$$\mathbf{A}_{\lambda} = \text{diag}(1/(\sigma_1^2 + \lambda), \dots, 1/(\sigma_r^2 + \lambda), 1/\lambda, \dots, 1/\lambda).$$

#### ODPORNOŚĆ NA ZAKŁÓCENIA

Aby przeanalizować wpływ zakłóceń  $z(t_i)$  na wektor parametrów modelu wystarczy zauważyć, że na podstawie wzoru (5), uwzględniając addytywność zakłóceń, mamy:

$$\mathbf{g}_K = \tilde{\mathbf{g}}_K + \mathbf{V} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T \mathbf{U}^T \mathbf{z}_N,$$

gdzie:  $\tilde{\mathbf{g}}_K = \mathbf{V} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T \mathbf{U}^T \mathbf{G}_N$  jest rozwiązaniem zregularizowanym, jakie uzyskalibyśmy dla idealnych (niezakłóconych) pomiarów modułu relaksacji, a  $\mathbf{G}_N = [G(t_1) \dots G(t_N)]^T$  i  $\mathbf{z}_N = [z(t_1) \dots z(t_N)]^T$ . Stąd, uwzględniając ortogonalność macierzy  $\mathbf{V}$ , mamy:

$$\|\mathbf{g}_K - \tilde{\mathbf{g}}_K\|_2 = \|\mathbf{V} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T \mathbf{U}^T \mathbf{z}_N\|_2,$$

gdzie:  $\|\cdot\|_2$  oznacza normę kwadratową w przestrzeniach  $R^N$  i  $R^{K+1}$ , a dalej także w przestrzeni  $L_2(0, \infty)$  oraz normę spektralną macierzy. Stąd natychmiast otrzymujemy oszacowanie:

$$\|\mathbf{g}_K - \tilde{\mathbf{g}}_K\|_2 \leq \|\mathbf{V} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T\|_2 \|\mathbf{U}^T \mathbf{z}_N\|_2. \quad (6)$$

Norma spektralna  $\|\mathbf{V} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T\|_2 = \sqrt{\lambda_{\max}(\mathbf{\Sigma}^T \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T)}$ , gdzie  $\lambda_{\max}(\mathbf{\Sigma}^T \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T)$  oznacza największą wartość własną macierzy  $\mathbf{\Sigma}^T \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{V}^T \mathbf{V} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T = \mathbf{\Sigma}^T \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T$ , wobec jej diagonalnej struktury spełnia oszacowanie:

$$\|\mathbf{V} \mathbf{A}_{\lambda} \mathbf{\Sigma}^T\|_2 = \max_{1 \leq i \leq r} \frac{\sigma_i}{(\sigma_i^2 + \lambda)} \leq \frac{\sigma_1}{(\sigma_r^2 + \lambda)}. \quad (7)$$

Wobec ortogonalności macierzy  $\mathbf{U}$  z (6) oraz (7) wynika następująca własność.

**Własność 1.** Niech  $K \geq 1$ ,  $r = \text{rz}(\Phi_{N,K}) < N$  i  $\lambda > 0$ .

Dla  $\mathbf{g}_K$  (4) zachodzą oszacowania:

$$\|\mathbf{g}_K - \tilde{\mathbf{g}}_K\|_2 \leq \max_{1 \leq i \leq r} \frac{\sigma_i}{(\sigma_i^2 + \lambda)} \|\mathbf{z}_N\|_2 \leq \frac{\sigma_1}{(\sigma_r^2 + \lambda)} \|\mathbf{z}_N\|_2, \quad (8)$$

czyli rozwiązanie zregularizowane  $\mathbf{g}_K$  dąży do rozwiązania zregularizowanego, jakie uzyskalibyśmy dla pomiarów idealnych liniowo ze względu na zakłócenia  $\mathbf{z}_N$ , gdy  $\|\mathbf{z}_N\|_2 \rightarrow 0$ .

Funkcje bazowe  $h_k(v)$  Laguerre'a, Legendre'a i Czebyszewa są ortogonalne w przestrzeni  $L_2(0, \infty)$ . Wobec tego dla dowolnego modelu postaci (2) zachodzi równość  $\|H_K\|_2 = \|\mathbf{g}_K\|_2$  [14, 15]. Funkcje bazowe Hermita są ortogonalne w przestrzeni  $L_2(-\infty, \infty)$ , zachodzi więc nierówność (p. [16; wzór (11)])  $\|H_K\|_2 \leq \|\mathbf{g}_K\|_2$ . Model spektrum relaksacji z parametrem  $\mathbf{g}_K$  (4) stanowi jedynie przybliżenie spektrum, jakie uzyskalibyśmy dla pomiarów idealnych  $\mathbf{G}_N$ :

$$\tilde{H}_K(v) = \sum_{k=1}^K \tilde{g}_k h_k(v),$$

gdzie:  $\tilde{g}_k$  są składowymi wektora  $\tilde{\mathbf{g}}_K$ . Ponieważ  $H_K(v) - \tilde{H}_K(v) = \sum_{k=1}^K (g_k - \tilde{g}_k) h_k(v)$  dla dowolnego  $v \geq 0$  z ortogonalności funkcji  $h_k(v)$  oraz Własności 1 wynika kolejny rezultat.



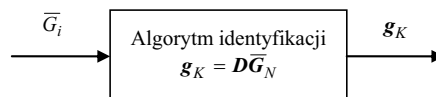
**Własność 2.** Niech  $K \geq 1$  i  $r = rz(\Phi_{N,K}) < N$  i  $\lambda > 0$ .

Zachodzą oszacowania:

$$\|H_K - \tilde{H}_K\|_2 \leq \max_{1 \leq i \leq r} \frac{\sigma_i}{(\sigma_i^2 + \lambda)} \|z_N\|_2 \leq \frac{\sigma_1}{(\sigma_r^2 + \lambda)} \|z_N\|_2, \quad (9)$$

czyli spektrum relaksacji  $H_K(v)$  dąży do spektrum  $\tilde{H}_K(v)$  jakie uzyskalibyśmy dla pomiarów idealnych liniowo ze względu na zakłócenia  $z_N$ , gdy  $\|z_N\|_2 \rightarrow 0$ .

Z nierówności (9) wynika, że dokładność aproksymacji spektrum  $\tilde{H}_K(v)$  zależy od zakłóceń w pomiarach modułu relaksacji oraz wartości szczególnych  $\sigma_1, \dots, \sigma_r$  macierzy  $\Phi_{N,K}$ , które z kolei zależą od doboru funkcji bazowych  $h_1(v), \dots, h_K(v)$ . Nierówności (8) i (9) oceniają wpływ zakłóceń na wyznaczony model spektrum relaksacji globalnie. Zapewniają skuteczne oszacowanie dla niewielkich zakłóceń ( $\|z_N\|_2 \rightarrow 0$ ). Zakłócenia pomiarowe rejestrowane dla rzeczywistych materiałów są jednak, szczególnie w warunkach obciążeń udarowych, często dość znaczne (por. rys. 2 i 3 w pierwszej części pracy). Przykład podany w pierwszej części pracy wskazał na własności filtracyjne rozważanych algorytmów identyfikacji spektrum relaksacji. Przeprowadzona poniżej analiza potwierdza te własności.



**Rys. 1.** Algorytm identyfikacji spektrum relaksacji jako wielowymiarowy dyskretny system liniowy

**Fig. 1.** The relaxation spectrum identification algorithm as a multi-output discrete linear system

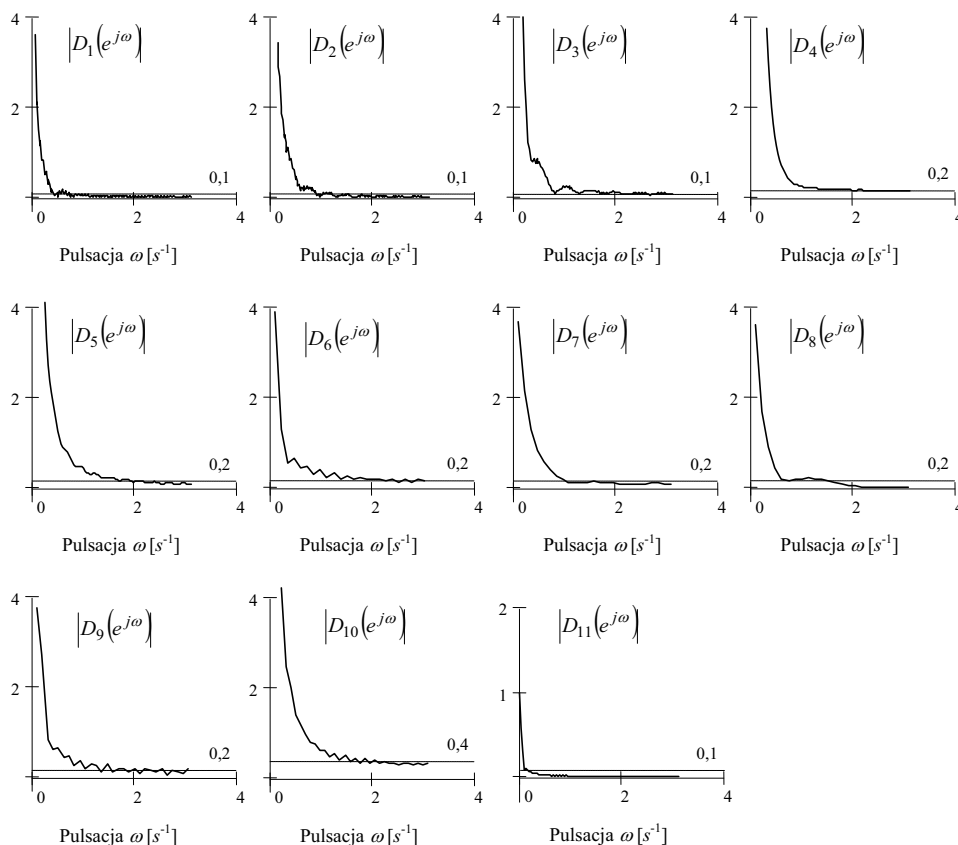
#### ALGORYTM IDENTYFIKACJI SPEKTRUM RELAKSACJI JAKO FILTR LINIOWY SOI

Rozważmy algorytm (4) lub równoważnie (5), czyli schemat:

$$g_K = V A_\lambda \Sigma^T U^T \bar{G}_N = D \bar{G}_N, \quad (10)$$

jako  $K+1$  wymiarowy liniowy system dyskretny o ciągu wejściowym  $\bar{G}_1, \dots, \bar{G}_N$ , gdzie  $\bar{G}_i = \bar{G}(t_i)$  i  $N$ -tej wartości wyjściowej  $g_K$  (p. rys. 1), gdzie  $D$  jest  $(K+1) \times N$  wymiarową macierzą o elementach  $d_{k,i}$ . Zgodnie z (10) składowe wektora  $g_K$  są równe:

$$g_k = \sum_{i=1}^N d_{k,i} \bar{G}_i = \sum_{i=1}^N \bar{d}_{k,N-i} \bar{G}_i, \quad (11)$$



**Rys. 2.** Widma amplitudowe  $|D_k(e^{j\omega})|$  algorytmu Laguerre'a,  $k = 1, \dots, 11$

**Fig. 2.** The amplitude spectra  $|D_k(e^{j\omega})|$  of the Laguerre algorithm,  $k = 1, \dots, 11$

gdzie:  $\bar{d}_{k,N-i} = d_{k,i}$  dla  $k=1, \dots, K+1$  i  $i=1, \dots, N$ . Skończona odpowiedź impulsowa systemu (11) dla ustalonego  $1 \leq k \leq K+1$  jest dana ciągiem  $\{\bar{d}_{k,1}, \bar{d}_{k,2}, \dots, \bar{d}_{k,N}\}$ . System (11) jest więc stabilny asymptotycznie w sensie BIBO (ang. *Bounded Input Bounded Output*) [8] dla każdego  $1 \leq k \leq K+1$ , a jego charakterystyka częstotliwościowa jest następująca:

$$D_k(e^{j\omega}) = \sum_{i=1}^N \bar{d}_{k,i} e^{-j\omega i} = \sum_{i=1}^N d_{k,N-i+1} e^{-j\omega i}, \quad (12)$$

gdzie: oznacza pulsację  $\omega$  (częstotliwość kątową). Wykorzystując znane własności funkcji trygonometrycznych można pokazać, że kwadrat modułu charakterystyki częstotliwościowej  $k$ -tego wyjścia systemu (11) jest dla  $1 \leq k \leq K+1$  następujący:

$$|D_k(e^{j\omega})|^2 = \sum_{n=1}^N \sum_{r=1}^N d_{k,n} d_{k,r} \cos[(n-r)\omega]. \quad (13)$$

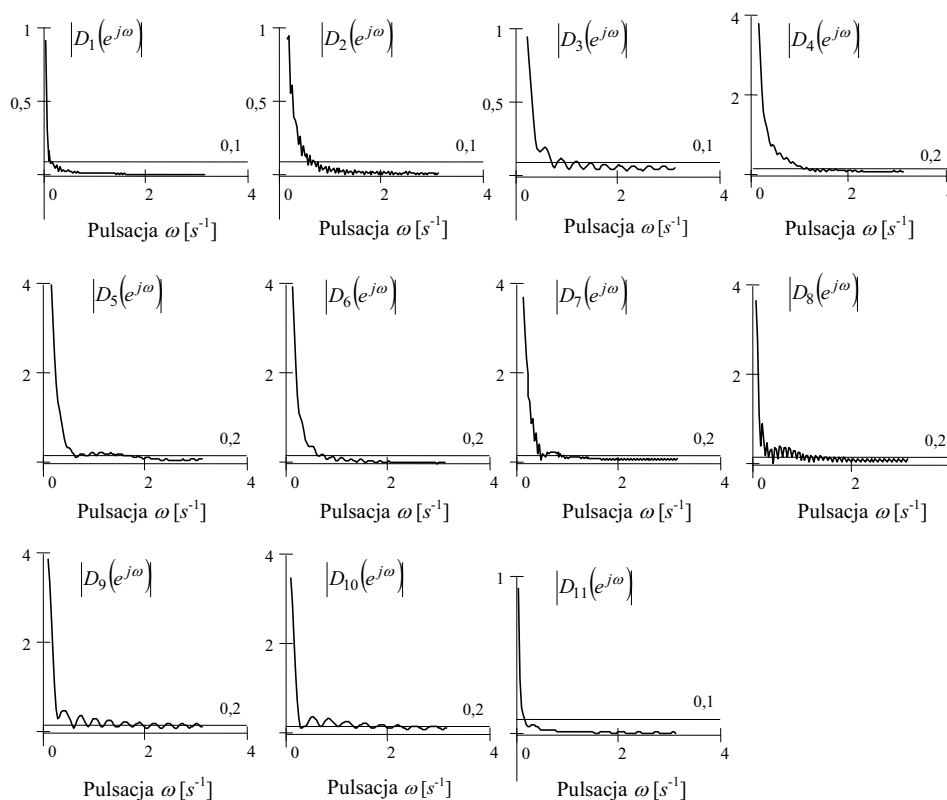
Widmo amplitudowe  $|D_k(e^{j\omega})|$  algorytmu Laguerre'a dla  $K=10$ , parametrów  $\alpha=5,104$  i  $\lambda=0,0035$  oraz punktów pomiarowych  $t_i$  z przykładu rozważanego w pierwszej części pracy przedstawia rys. 2, a widmo algorytmu Legendre'a dla  $K=10$ ,  $\alpha=0,3882$  i  $\lambda=0,022$  oraz tych samych punktów pomiarowych przedstawia rys. 3. Dla dowolnego  $1 \leq k \leq K+1$  systemy dyskretne

postaci (11) zdefiniowane przez algorytmy Laguerre'a i Legendre'a posiadają więc własności filtru dolnoprzepustowego.

Przykładową charakterystykę filtru dyskretnego o skończonej odpowiedzi impulsowej SOI (ang. *finite impulse response FIR* [8]) przedstawia rys. 4. Dla klasycznego filtru dolnoprzepustowego charakterystyka amplitudowa dla małych pulsacji  $\omega$  jest rzędu jedności. Własności tej nie posiada oczywiście algorytm (10), w tym przypadku oznaczałoby to bowiem nieuzasadnione w kontekście zadania identyfikacji wymaganie  $|D_k(e^{j\omega})| \approx 1$  dla  $\omega \approx 0$ , czyli wobec (13), równoważnie  $|\sum_{r=1}^N d_{k,r}| \approx 1$  dla każdego  $1 \leq k \leq K+1$ . Poziom charakterystyki w paśmie zaporowym (ang. *stopband* [8]) zazwyczaj nie przekracza  $\gamma_2 = 0,1$  (czyli  $-20\text{dB}$ ) jej wartości dla  $\omega = 0$ . Pasma to ogranicza pulsacja  $\omega_s$ . Pasma przepustowe, dla którego charakterystyka amplitudowa mieści się w dopuszczalnym zakresie zafalowań, ogranicza pulsacja graniczna  $\omega_c$  (ang. *cutoff frequency* [8]) określona przez punkt spadku charakterystyki amplitudowej o  $3\text{dB}$  (czyli  $\gamma_1 \approx 0,708$ ) względem jej wartości początkowej.

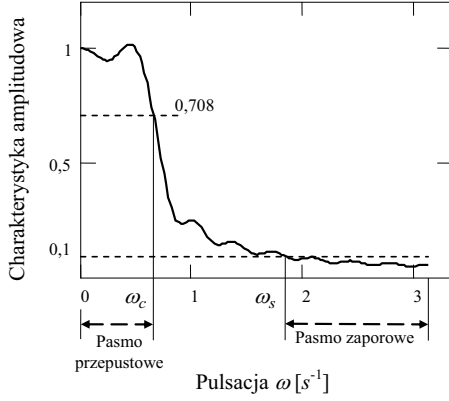
Oszacujemy pulsacje graniczne  $\omega_c$  i  $\omega_s$ , czyli także szerokości pasma przenoszenia i zaporowego, dla algorytmu (10). Definiując  $N \times N$  wymiarową macierz Toeplitza [10]:

$$\mathbf{\Omega}(\omega) = [\cos[(n-r)\omega]]_{\substack{n=1, \dots, N \\ r=1, \dots, N}}, \quad (14)$$



Rys. 3. Widmo amplitudowe  $|H_k(e^{j\omega})|$  algorytmu Legendre'a

Fig. 3. The amplitude spectrum  $|H_k(e^{j\omega})|$  of the Legendre algorithm



Rys. 4. Widmo amplitudowe dolnoprzepustowego filtru cyfrowego SOI; [8; rys. F.2]

Fig. 4. The amplitude spectrum of low-pass FIR filter; following [8; Fig. F.2]

charakterystykę (13) można zapisać jako  $|D_K(e^{j\omega})|^2 = \mathbf{d}_k \mathbf{\Omega}(\omega) \mathbf{d}_k^T$ , gdzie  $\mathbf{d}_k$  jest  $k$ -tym wierszem macierzy  $\mathbf{D}$  w (10). Stąd kwadrat modułu charakterystyki częstotliwościowej systemu (11) o  $K+1$  wyjściach jako całosci jest następujący:

$$|D_K(e^{j\omega})|^2 = \sum_{k=1}^{K+1} |D_k(e^{j\omega})|^2 = \sum_{k=1}^{K+1} \mathbf{d}_k \mathbf{\Omega}(\omega) \mathbf{d}_k^T = \text{tr}[\mathbf{D} \mathbf{\Omega}(\omega) \mathbf{D}^T], \quad (15)$$

gdzie:  $\text{tr}[\mathbf{D}]$  oznacza ślad macierzy  $\mathbf{D}$ . Wobec (10), ortogonalności macierzy  $\mathbf{V}$  oraz tożsamości macierzowej  $\text{tr}(\mathbf{XY}) = \text{tr}(\mathbf{YX})$  [4], mamy:

$$|D_K(e^{j\omega})|^2 = \text{tr}[\mathbf{\Omega}(\omega) \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{A}_\lambda \mathbf{A}_\lambda^T \mathbf{\Sigma}^T \mathbf{U}^T] = \text{tr}[\mathbf{\Omega}(\omega) \mathbf{U} \mathbf{\Xi} \mathbf{U}^T], \quad (16)$$

gdzie:  $N \times N$  wymiarowa macierz  $\mathbf{\Xi} = \mathbf{\Sigma} \mathbf{A}_\lambda \mathbf{A}_\lambda^T \mathbf{\Sigma}^T$  ma diagonalną strukturę. Symetryczna macierz  $\mathbf{\Omega}(\omega)$  jest dodatnio półokreślona, więc na podstawie znanej nierówności [4]:

$$\text{tr}(\mathbf{Y}) \lambda_{\max}(\mathbf{X}) \geq \text{tr}(\mathbf{XY}) \geq \text{tr}(\mathbf{Y}) \lambda_{\min}(\mathbf{X})$$

gdz  $\mathbf{X} = \mathbf{X}^T \geq \mathbf{0}, \mathbf{Y} = \mathbf{Y}^T \geq \mathbf{0}$ , (17)

gdzie:  $\lambda_{\min}(\mathbf{X})$  jest najmniejszą wartością własną macierzy  $\mathbf{X}$ , z (15) natychmiast wynika:

$$|D_K(e^{j\omega})|^2 \leq \lambda_{\max}[\mathbf{\Omega}(\omega)] \text{tr}[\mathbf{U} \mathbf{\Xi} \mathbf{U}^T] = \lambda_{\max}[\mathbf{\Omega}(\omega)] \text{tr}[\mathbf{\Xi}]. \quad (18)$$

Nierówność (18) oznacza w szczególności, że w paśmie przenoszenia, czyli dla małych pulsacji  $\omega$ , im większy jest parametr regularyzacji, tym mniejsze jest górne oszacowanie charakterystyki amplitudowej  $|D_K(e^{j\omega})|^2$ , a więc tym silniejsze tłumienie. Jest to zgodne z oszacowaniem globalnym danym nierównością (9). Macierze  $\mathbf{\Omega}(\omega)$  oraz  $\mathbf{\Xi}$  są niepełnego rzędu, nierówność (17) nie

pozwała więc na oszacowanie widma amplitudowego od dołu. Wykorzystując rozkład spektralny [10] macierzy  $\mathbf{\Omega}(\omega)$  i przedstawiając wektory własne  $\mathbf{\Omega}(\omega)$  jako kombinacje liniowe ortogonalnych kolumn macierzy  $\mathbf{U}$  można wprowadzić oszacowanie:

$$|D_K(e^{j\omega})|^2 \geq \lambda_{\min}^+[\mathbf{\Omega}(\omega)] \gamma(\omega) \sum_{m=1}^r \frac{\sigma_m^2}{(\sigma_m^2 + \lambda)^2} = \lambda_{\min}^+[\mathbf{\Omega}(\omega)] \gamma(\omega) \text{tr}[\mathbf{\Xi}], \quad (19)$$

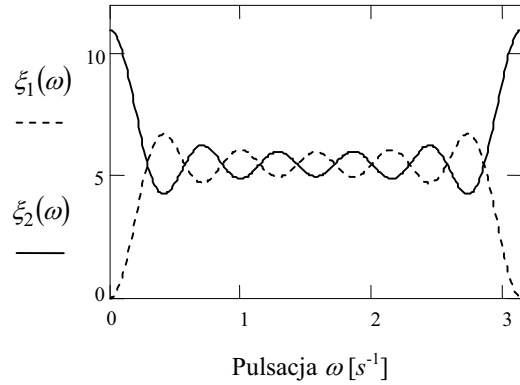
gdzie:  $\lambda_{\min}^+[\mathbf{\Omega}(\omega)] = \min\{\xi_i(\omega) > 0 : i = 1, \dots, N\}$  oznacza najmniejszą spośród dodatnich wartości własnych  $\xi_i(\omega)$  macierzy  $\mathbf{\Omega}(\omega)$ , a stała  $0 < \gamma(\omega) \leq 1$ . Można także pokazać, że  $\text{rank}[\mathbf{\Omega}(\omega)] \leq 2$ , a wartości własne macierzy  $\mathbf{\Omega}(\omega)$  są dla  $N$  parzystych postaci:

$$\xi_1(\omega) = N/2 - \eta_1(\omega) \quad i \quad \xi_2(\omega) = N/2 + \eta_1(\omega), \quad (20)$$

gdzie:  $\eta_1(\omega) = \sum_{n=1}^{N-1} \cos[n\omega]$ , natomiast dla  $N$  nieparzystych:

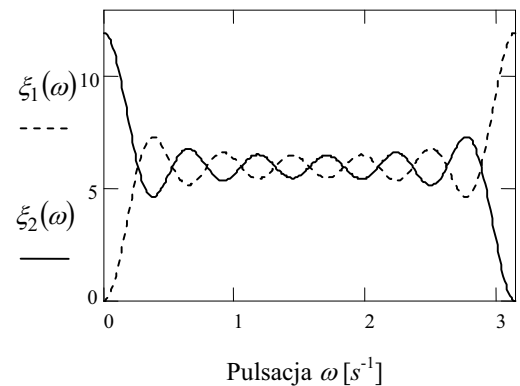
$$\xi_1(\omega) = \lfloor N/2 \rfloor - \eta_2(\omega) \quad i \quad \xi_2(\omega) = \lfloor N/2 \rfloor + 1 + \eta_2(\omega), \quad (21)$$

gdzie:  $\eta_2(\omega) = \sum_{n=2,4}^{N-1} \cos[n\omega]$ , zaś  $\lfloor N/2 \rfloor$  oznacza funkcję entier (część całkowita) z  $N/2$ . Przebieg wartości własnych dla  $N = 11$  ilustruje rys. 5, a dla  $N = 12$  – rys. 6.



Rys. 5. Wartości własne macierzy  $\mathbf{\Omega}(\omega)$ ,  $N = 11$

Fig. 5. The eigenvalues of the matrix  $\mathbf{\Omega}(\omega)$ ,  $N = 11$



Rys. 6. Wartości własne macierzy  $\mathbf{\Omega}(\omega)$ ,  $N = 12$

Fig. 6. The eigenvalues of the matrix  $\mathbf{\Omega}(\omega)$ ,  $N = 12$

Pulsacja graniczna pasma przepustowego  $\omega_c$  spełnia warunek  $|D_K(e^{j\omega_c})| = \gamma_1 |D_K(e^{j\omega=0})|$  (por. rys. 4). Ponieważ na podstawie (16)  $|D_K(e^{j\omega=0})|^2 = \text{tr}[\Theta U \Xi U^T]$ , gdzie wobec definicji (14)  $\Theta = \Omega(\omega=0)$  jest  $N \times N$  wymiarową macierzą o wszystkich elementach równych jedności, dla pulsacji granicznej  $\omega_c$  zachodzi równość:

$$|D_K(e^{j\omega_c})| = \gamma_1 \text{tr}[\Theta U \Xi U^T]^{1/2}. \quad (22)$$

Dla oszacowania pulsacji  $\omega_c$  wykorzystamy nierówność (18). W tym celu zauważmy, że dla małych częstotliwości, w szczególności gdy  $\omega \rightarrow 0^+$  [2], na podstawie (20) oraz (21) dla dowolnego  $N$  mamy  $\lambda_{\max}[\Omega(\omega)] = \xi_2(\omega)$ . Ponieważ dla małych częstotliwości zachodzi przybliżenie (od góry)  $\cos[n\omega] \cong \cos[\omega]^n$ , na podstawie wzoru (20) dla  $N$  parzystych mamy:

$$\lambda_{\max}[\Omega(\omega)] \leq \frac{N}{2} + \cos[\omega] \frac{\cos[\omega]^{N+2} - 1}{\cos[\omega]^2 - 1}, \quad (23)$$

a dla  $N$  nieparzystych na podstawie (21) otrzymujemy:

$$\lambda_{\max}[\Omega(\omega)] \leq \lfloor N/2 \rfloor + 1 + \cos[\omega]^2 \frac{\cos[\omega]^{N-2} - 1}{\cos[\omega]^2 - 1}. \quad (24)$$

Stąd, dla  $N$  parzystych na podstawie nierówności (18) i (23), warunek (22) możemy zastąpić mniej restrykcyjnym wymaganiem:

$$|D_K(e^{j\bar{\omega}_c})| \leq \left( \frac{N}{2} + \cos[\bar{\omega}_c] \frac{\cos[\bar{\omega}_c]^{N+2} - 1}{\cos[\bar{\omega}_c]^2 - 1} \right) \text{tr}[\Xi] = \gamma_1 \text{tr}[\Theta U \Xi U^T]^{1/2},$$

skąd wynika:

$$\cos[\bar{\omega}_c] \frac{\cos[\bar{\omega}_c]^{N+2} - 1}{\cos[\bar{\omega}_c]^2 - 1} = \gamma_1 \frac{2 \text{tr}[\Theta U \Xi U^T]^{1/2}}{N \text{tr}[\Xi]} - \frac{N}{2}. \quad (25)$$

Podobnie dla  $N$  nieparzystych na podstawie (18) i (24) w miejsce (22) otrzymujemy:

$$\cos[\bar{\omega}_c]^2 \frac{\cos[\bar{\omega}_c]^{N-2} - 1}{\cos[\bar{\omega}_c]^2 - 1} = \gamma_1 \frac{2 \text{tr}[\Theta U \Xi U^T]^{1/2}}{N \text{tr}[\Xi]} - 1 - \lfloor N/2 \rfloor. \quad (26)$$

Oczywiście pulsacja  $\omega_c \leq \bar{\omega}_c$ , wyznaczenie pulsacji granicznej  $\bar{\omega}_c$  w oparciu o (25) albo (26) zapewnia więc oszacowanie pasma przepustowego od góry.

Pulsację graniczną pasma zaporowego  $\omega_s$  określa warunek (por. rys. 4):

$$|D_K(e^{j\omega_s})| = |D_K(e^{j\omega=0})| = \gamma_2 \text{tr}[\Theta U \Xi U^T]^{1/2}. \quad (27)$$

Dla oszacowania pulsacji  $\omega_s$  wykorzystamy nierówność (19). Dla wielkich częstotliwości, w szczególności, gdy  $\omega \rightarrow \pi^-$  [2], dla  $N$  parzystych na podstawie (20)  $\lambda_{\min}^+[\Omega(\omega)] = \xi_2(\omega)$ , zaś wobec (21) dla  $N$  nieparzystych  $\lambda_{\min}^+[\Omega(\omega)] = \xi_1(\omega)$ . Dla wielkich częstotliwości przybliżenie  $\cos[n\omega] \cong \cos[\omega]^n$  zapewnia dobre oszacowanie  $\cos[n\omega]$  od dołu. Stąd na podstawie (20) i (21) można wyznaczyć oszacowania  $\lambda_{\min}^+[\Omega(\omega)]$  od dołu, w oparciu o które, osłabiając warunek (27), można podobnie jak wyżej uzyskać oszacowanie  $\omega_s \geq \bar{\omega}_s$  pulsacji granicznej pasma zaporowego. Dla  $N$  parzystych pulsacja graniczna  $\bar{\omega}_s$  spełnia równość:

$$\cos[\bar{\omega}_s] \frac{\cos[\bar{\omega}_s]^{N+2} - 1}{\cos[\bar{\omega}_s]^2 - 1} = \gamma_2 \frac{2 \text{tr}[\Theta U \Xi U^T]^{1/2}}{N \text{tr}[\Xi] \gamma(\bar{\omega}_s)} - \frac{N}{2},$$

natomiast dla  $N$  nieparzystych warunek:

$$\lfloor N/2 \rfloor - \gamma_2 \frac{2 \text{tr}[\Theta U \Xi U^T]^{1/2}}{N \text{tr}[\Xi] \gamma(\bar{\omega}_s)} = \cos[\bar{\omega}_s]^2 \frac{\cos[\bar{\omega}_s]^{N-2} - 1}{\cos[\bar{\omega}_s]^2 - 1}.$$

Ponieważ  $\omega_s \geq \bar{\omega}_s$ , pulsacja graniczna  $\bar{\omega}_s$  zapewnia oszacowanie pasma zaporowego od dołu.

Pulsacje graniczne  $\bar{\omega}_c$  i  $\bar{\omega}_s$  zależą od parametru regularyzacji i macierzy  $\Phi_{N,K}$  (wzór (9) pierwszej części pracy), a więc punktów pomiarowych  $t_i$  oraz funkcji bazowych  $h_k(v)$  modelu (2). Wybór konkretnych funkcji bazowych modelu zależy zarówno od wiedzy apriorycznej o badanym materiale jak i od informacji, którymi dysponujemy *a posteriori* po zgromadzeniu i wstępnej analizie wyników eksperymentu (p. wskazówki w [14-16]). Charakterystykę widmową algorytmu – filtru SOI (10) – można więc kształtować już po przeprowadzeniu eksperymentu.

## PODSUMOWANIE

Pokazano, że algorytmy optymalnej aproksymacji spektrum relaksacji materiałów lepkospężystych skończonymi szeregami odpowiednio dobranych funkcji bazowych rozpatrywane jako liniowe systemy dyskretne posiadają własności filtru dolnoprzepustowego. Zapewnia to ich odporność na silne szybkozmienne deterministyczne zakłócenia pomiarów siły reakcji badanej próbki i potwierdza wyniki badań przeprowadzonych dla próbki buraka cukrowego odmiany Janus podane w pierwszej części pracy. Szerokość pasma przenoszenia i pasma zaporowego jak również dokładność aproksymacji spektrum relaksacji (Własność 2) zależy zarówno od zakłóceń pomiarowych i współczynnika regularyzacji, jak i umiejętności doboru funkcji bazowych oraz punktów pomiarowych. Wybór modelu zależy bowiem od dwu podstawowych kryteriów: od możliwości jego skutecznego wyznaczenia w postaci ilościowej (co zapewnia odpowiednia metoda identyfikacji) oraz od jego przeznaczenia, które determinuje typ i postać modelu. Zakres stosowności rozważanych algorytmów identyfikacji spektrum relaksacji wyznaczają te materiały, których własności mechaniczne opisują liniowe modele reologiczne [1, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12].

## LITERATURA

1. **Antoun B., Qi H.J., Hall R., G.P., Lu H., Lu Ch. (Eds) 2013.** Challenges in Mechanics of Time-Dependent Materials and Processes in Conventional and Multifunctional Materials. Proceedings of the 2012 Annual Conference on Experimental and Applied Mechanics. Springer, New York London.
2. **Borodziejewicz W., Jaszczak K. 1987.** Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: wybrane zagadnienia. WNT, Warszawa.
3. **Gulyi A., Kobyzska A. 2012.** Pumping equipment effectiveness increase by means of ejector application as preliminary stage for high-speed pump units. *MOTROL*, 14(1), 158-163.
4. **Kaczorek T. 1998.** Wektory i macierze w automatyce i elektrotechnice. WNT, Warszawa.
5. **Kontopoulou M. (Ed) 2012.** Applied Polymer Rheology: Polymeric Fluids with Industrial Applications. John Wiley & Sons, New Jersey.
6. **Kozub Y. 2012.** Deformation of rubber-metal vibration and seismic isolators. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 12(4), 96-100.
7. **Lakes R. S. 2009.** Viscoelastic Materials. Cambridge University Press, Cambridge.
8. **Lyons R.G. 2010.** Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa.
9. **Ловейкин В., Бортух В. 2012.** Improved mathematical model of the bucket elevator's movement dynamics. *MOTROL*, 14(3), 87-95.
10. **Maćkiewicz A. 2002.** Algorytmy algebry liniowej. Metody bezpośrednie. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
11. **Owens R. G., Phillips T. N. 2002.** Computational Rheology. Imperial College Press, London.
12. **Skukis E., Akishin P., Barkanov E. 2012.** Inverse Technique for the Viscoelastic Material Properties Characterisation. *Construction Science*, 13, 47-52.
13. **Stankiewicz A. 2004.** Metoda identyfikacji spektrum relaksacji materiałów lepkospężystych. *Problemy Eksploatacji*, 52(1), 121-133.
14. **Stankiewicz A. 2007.** Identyfikacja spektrum relaksacji lepkospężystych materiałów roślinnych. Rozprawa doktorska, Akademia Rolnicza, Lublin.
15. **Stankiewicz A. 2010.** Identification of the relaxation and retardation spectra of plant viscoelastic materials using Chebyshev functions. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 10, Part I. 363-371; Part II. 372-378; Part III. 396-404.
16. **Stankiewicz A. 2012.** An algorithm for identification of the relaxation spectrum of viscoelastic materials from discrete-time stress relaxation noise data. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 12(2), 187-192.

IDENTIFICATION OF THE RELAXATION SPECTRUM OF VISCOELASTIC MATERIALS UNDER STRONG NOISE MEASUREMENT DATA.  
PART II. IDENTIFICATION ALGORITHM AS FIR FILTER

**Summary.** The paper deals with the problem of continuous relaxation spectrum of linear viscoelastic materials identification based on discrete-time noise corrupted observations of relaxation modulus obtained in stress relaxation test. A class of relaxation spectrum models given by finite series of some special functions (Laguerre, Legendre, Hermite, Chebyshev) is considered. Noise robustness issues of the optimal regularized least-squares approximation of relaxation spectrum are studied. The frequency domain analysis is combined with the algebraic analysis. In result the upper and lower estimates of the amplitude spectrum of the scheme in terms of the smallest and largest eigenvalues of some symmetric nonnegative definite Toeplitz matrix are derived. Then the estimations of the stopband and passband are obtained. By studying the amplitude spectra and model error it is shown how the choice of the regularization parameter and the model basis functions as well as the measurement points will affect the resulting relaxation spectrum estimate in the case of strong additive noises. It is also proved, in particular, that the accuracy of the spectrum approximation depends linearly on measurement noises. The Laguerre and Legendre amplitude spectra are given.

**Key words:** viscoelasticity, relaxation spectrum, identification, noise robustness, discrete FIR filter.



## Wybrane uwarunkowania dla gospodarki energetycznej Polski wynikające z projektu ustawy o odnawialnych źródłach energii

Arleta Stefaniak

Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego,  
Zakład Analiz Regionalnych i Lokalnych  
arleta.stefaniak@uni.wroc.pl

**Streszczenie.** Celem pracy jest przedstawienie nowych założeń jakie zostały przedstawione w ustawie o odnawialnych źródłach energii i próba udzielenia odpowiedzi czy będą one miały wpływ na rozwój polskiej gospodarki. Ponadto przedstawiono główne problemy w gospodarce energetycznej, dotyczących braku sieci przesyłowych, wpływu negatywnego elektrowni wykorzystujących odnawialne źródła energii na środowisko, ekologii oraz protestów społeczeństwa spowodowanych obawą przed powstawaniem elektrowni w pobliżu miejsca ich zamieszkania. Sprawdzono jakie rozwiązania dla tych problemów zostały przedstawione w nowej ustawie. Jednym z wniosków jakie wyciągnięto na podstawie analizy ustawy, jest to, że nie rozwiązano wszystkich problemów w gospodarce energetycznej. Mało uwagi poświęcono pojedynczym inwestorom i odbiorcom energii. Zwrócono uwagę że ustawa zawiera najwięcej uregulowań i informacji dotyczących mikroinstalacji i małych instalacji, co może pozytywnie wpłynąć na rozwój rozproszonych źródeł energii w Polsce. Przytoczono przykłady pozycji literatury dotyczące także poprawy efektywności energetycznej gospodarki żywnościowej.

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, elektrownie, prawo energetyczne, gospodarka energetyczna, polityka klimatyczno-energetyczna.

### WPROWADZENIE

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym rosnące zapotrzebowanie na energię oraz coraz mniejsze zasoby niekonwencjonalnych źródeł energii a także przyspieszenie zmian klimatu a wraz z nim pojawiające się uboczne skutki, wpływają na zwiększenie zainteresowania wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych wśród przedsiębiorców jak i użytkowników [23]. Wielu autorów zwraca uwagę na konieczność wzrostu efektywności energetycznej w różnych działach gospodarki [20, 29, 33, 35] jak też wykorzystywanie energii ze źródeł alternatywnych a zwłaszcza odnawialnych i zmniejszanie emisji zanieczyszczeń do atmosfery [1, 2,

9, 30]. Źródłem odnawialnym jest energia wiatru, energia promieniowania słonecznego, energia aerothermalna, energia geothermalna, energia hydrothermalna, hydroenergia, fal, prądów i pływów morskich, energia otrzymywana z biopłynów, z biomasy zarówno w formie nieprzetworzonej z roślin energetycznych, jak i przetworzonej na przykład w postaci biocarbonu oraz energia otrzymywana z biogazu, energia otrzymywana z biogazu rolniczego. [6, 7, 10, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 24]. Zgodnie z obowiązującą definicją biogaz to paliwo gazowe otrzymywane procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej, z wyłączeniem gazu pozyskanego z surowców pochodzących z oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów [4]. Powyższa definicja ogranicza możliwości wykorzystania innych produktów ubocznych lub odpadów, które mogą stanowić cenny substrat do produkcji biogazu takich, jak np. biodegradowalna frakcja odpadów komunalnych (projekt nowej ustawy o OZE zakłada stworzenie szczegółowej listy substratów). W tabeli 1 przedstawiono strukturę zapotrzebowania na energię ze źródeł odnawialnych.

W pracach Wojdalskiego i in. [35, 36, 37, 38] można odnaleźć przykłady określania energochłonności różnych zakładów produkcyjnych i zapotrzebowania na energię ze źródeł odnawialnych. Nowe inwestycje oparte na odnawialnych źródłach energii w Polsce też mogą wpłynąć na rozwój gospodarki, w tym rolnictwa i gospodarki żywnościowej (w odniesieniu do biomasy zagadnienia rozpatrywała Kowalska [8]). Za takim kierunkiem rozwoju energetyki przemawiają liczne zalety, chociażby stworzenie nowych miejsc pracy w rejonach lokalizacji zakładów zajmujących się wytwarzaniem energii [25] a także tworzenie lobby proekologicznego oraz aktywizacja ekonomiczna, przemysłowa i handlowa lokalnych społeczności wiejskich [11]. Aktualnym głównym dokumentem w zakresie roz-

**Tabela 1.** Zapotrzebowanie na energię finalną brutto z OZE w podziale na rodzaje energii [ktoe]**Table 1.** Demand for final energy from OZE (gross) classified in to kinds of energy [ktoe]

	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Energia elektryczna	370,6	715,0	1516,1	2686,6	3256,3	3396,3
Biomasa stała	159,2	298,5	503,2	892,3	953,0	994,9
Biogaz	13,8	31,4	140,7	344,5	555,6	592,6
Wiatr	22,0	174,0	631,9	1178,4	1470,0	1530,0
Woda	175,6	211,0	240,3	271,4	276,7	276,7
Fotowoltaika	0,0	0,0	0,0	0,1	1,1	2,1
Ciepło	4 312,7	4 481,7	5 046,3	6 255,9	7 048,7	7 618,4
Biomasa stała	4 249,8	4 315,1	4 595,7	5 405,9	5 870,8	6 333,2
Biogaz	27,1	72,2	256,5	503,1	750,0	800,0
Geotermia	32,2	80,1	147,5	221,5	298,5	348,1
Słoneczna	3,6	14,2	46,7	125,4	129,4	137,1
Biopaliwa transportowe	96,9	549,0	884,1	1 444,1	1 632,6	1 881,9
Bioetanol cukro-skrobiowy	61,1	150,7	247,6	425,2	443,0	490,1
Biodiesel z rzepaku	35,8	398,3	636,5	696,8	645,9	643,5
Bioetanol II generacji	0,0	0,0	0,0	210,0	240,0	250,0
Biodiesel II generacji	0,0	0,0	0,0	112,1	213,0	250,0
Biowodór	0,0	0,0	0,0	0,0	90,8	248,3
OGÓŁEM Energia finalna brutto z OZE	4 780	5 746	7 447	10 387	11 938	12 897
Energia finalna brutto	61815	61316	63979	69203	75480	80551
% udziału energii odnawialnej	7,7	9,4	11,6	15,0	15,8	16,0

Źródło: „Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”, załącznik 2. do projektu „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki

woju energetyki państwa jest Polityka energetyczna Polski do 2030 r., uchwalona przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 r. Najważniejszym celem tego dokumentu jest zapewnienie osiągnięcia przez Polskę w 2020 r. co najmniej 15% udziału energii z odnawialnych źródeł w zużyciu energii końcowej, które wynika z dyrektywy 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającej i w następstwie uchylającej dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE [32]. Obecnie w krajach Unii Europejskiej ok. 12% całkowitego zużycia energii pierwotnej pochodzi ze źródeł energii odnawialnej, a w naszym kraju wskaźnik ten ocenia się na zaledwie 2,5 % [11] co jest wynikiem przewagi wytwarzania energii w Polsce ze źródeł nieodnawialnych. Według Michalskiego i Krasowskiego [14] w przyjętej dla Polski strategii rozwoju źródeł odnawialnych dominująca rola została przypisana biomase. Mając na uwadze zobowiązania międzynarodowe Polski uznano za najbardziej właściwe będzie opracowanie ustawy o odnawialnych źródłach energii, której celem będzie doprowadzenie do przyspieszenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Do chwili obecnej nie ma w Polsce aktu prawnego który dotyczyłby wyłącznie szeroko pojętej problematyki energetyki odnawialnej.

Celem pracy jest analiza projektu ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 26 lipca 2012 r. pod kątem nowych uregulowań mogących wpłynąć na rozwój inwestycji w energetyce. Wśród celów pracy jest uwzględnienie wybranych aspektów użytkowania nośników energii które mogą być przydatne w przedsiębiorstwach gospodarki żywnościowej.

## GLÓWNE PROBLEMY I OGRANICZENIA INWESTYCYJNE W POLSCE

Pierwszym z problemów jest zbyt duża liczba urzędów administracyjnych pomiędzy którymi nie ma spójnej koordynacji. Dodatkowym problemem jest długi okres oczekiwania na uzyskanie wymaganych zezwoleń oraz długotrwałe procedury zmiany planu zagospodarowania przestrzennego [26]. Warto jednak zaznaczyć, że te procedury są istotne ponieważ, zgodnie z ustawą z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane budowę danego obiektu można rozpocząć w momencie uzyskania decyzji pozwalającej na budowę, wydaną przez odpowiedni dla danego terenu Urząd Gminy lub Urząd Miasta. Takie pozwolenie jest wydawane po wcześniejszym przeprowadzeniu oceny oddziaływania danego przedsięwzięcia na środowisko. Kolejnym ograniczeniem jest jednakowe wsparcie dla wszystkich instalacji. Należy wziąć pod uwagę, że maksymalne moce pozyskiwania energii elektrycznej lub cieplnej są różne dla poszczególnych odnawialnych źródeł, dlatego jednakowe wsparcie powoduje, że dana inwestycja dla przedsiębiorcy staje się mało opłacalna. W momencie uzyskania zezwolenia na prowadzenie działalności gospodarczej, inwestor musi znaleźć miejsce gdzie może przyłączyć się odnawialnego źródła energii. W Polsce nie ma publicznie dostępnych informacji na temat sieci przesyłowych, co powoduje spowolnienie a nawet ograniczenie procesu inwestycyjnego. Problemem jest również nieprzewidywalność wysokości cen światowych pochodzenia zielonej energii elektrycznej, co powoduje, że przedsiębiorcy niechętnie inwestują w odnawialne źródła energii. Problem jest również brak należytego udokumento-



wania zasobów energetycznych poszczególnych źródeł oraz brak znajomości administracyjnych procedur postępowania przy lokalizacji inwestycji [26]. Innym problemem jest brak unormowania prawnego w dziedzinie energii odnawialnej. Niestannie zmieniają się uregulowania prawne dotyczące pośrednio lub bezpośrednio sektora energetyki odnawialnej co wpływa na ich niejednoznaczność [26]. Brakuje odpowiednich instrumentów finansowych i prawnych ułatwiających proces wdrażania energetyki odnawialnej [14]. Jednym z warunków o którym wspomniano wcześniej jest ocena oddziaływania danego przedsięwzięcia na środowisko. Chociaż nie można definitywnie stwierdzić, czy energia odnawialna jest przyjazna dla środowiska, to na pewno nie szkodzi w takim stopniu jak energia pozyskiwana z paliw kopalnianych [28]. Wśród negatywnego oddziaływania na środowisko istotną rolę odgrywa import biomasy z całego świata komunikacją morską lub samochodową, który powoduje emisję dwutlenku węgla i zwiększenie problemów ekologicznych. Warto zaznaczyć, że w Polsce nie ma dużej ilości biomasy, stąd jest ona importowana z innych krajów. Część biomasy jest produkowana w Polsce na glebach często skażonych metalami ciężkimi, co oznacza, że podczas jej spalania lub produkcji energii wydziela się dwutlenek węgla wzbogacony w te metale, skutkiem tego jest negatywne oddziaływanie na środowisko [34]. Według Michalskiego i Krasowskiego [14] kolejnym z problemów jest rozproszony potencjał badawczy i technologiczny oraz niekompletne laboratoria oraz brak jest połowych autoryzowanych stanowisk badawczych umożliwiających prowadzenie badań energetycznych. Oprócz barier administracyjno – prawnych i środowiskowych mogą pojawić się również bariery społeczne w postaci sprzeciwu na budowę elektrowni lokalnej społeczności. Jedną z głównych przyczyn socjologicznych jest obawa społeczeństwa przed negatywnymi skutkami i oddziaływaniem na ich zdrowie danej inwestycji, co jest związane z brakiem informacji na temat poszczególnych elektrowni odnawialnych. Lokalna społeczność rzadko ma dostęp do programów edukacyjno – szkoleniowych dotyczących odnawialnych źródeł energii. Warto też zwrócić uwagę, że jedynym źródłem informacji są massmedia, które poprzez sposób przekazywania informacji, kształtują opinię społeczeństwa [13]. Kolejnym problemem jest brak akceptacji lokalnego społeczeństwa wobec władz centralnych, regionalnych i lokalnych, które same podejmują decyzje o budowie danej inwestycji na danym obszarze, która nie jest oparta na konsultacji ze społeczeństwem zamieszkującym dany region. Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 27 marca 2003 roku i ustawa – prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 roku nakładają na władze gminne obowiązek konsultowania ze społeczeństwem miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego i założeń planu energetycznego [12]. Zatem wpływ społeczeństwa na nowe innowacje związane z energią odnawialną jest znaczny, dlatego ważne jest aby społeczeństwo miało dostęp do informacji odnośnie polityki energetycznej proponowanej przez rząd, jak i do innych informacji. Społeczeństwo tworząc opinię publiczną kieruje się dwoma pobudkami. Pierwsza w kontekście ogólnokrajowym dotyczącym energii odnawialnej jako szansy na rozwój nowych źródeł energii,

oraz druga odnosząca się do kontekstu lokalnego, opartego często na doświadczeniach użytkowników, często niezgadzającą się z opinią rządu i protestującą przeciw nowym inwestycjom w danym regionie [27]. Natomiast w kontekście lokalnym pojawia się kolejny problemem tzw. syndrom NIMBY (*not in my backyard* – nie na moim podwórku). Zjawisko to polega na tym, że realizacja projektów w jakiś sposób uciążliwych dla otoczenia odbywa się z dużymi trudnościami, albo w ogóle nie dochodzi do realizacji wskutek sprzeciwu i oporu społeczeństwa [13].

Należy zaznaczyć, że odnawialne źródła energii powodują często drugorzędne lub trzeciorzędne, niekorzystne zmiany środowiskowe, co może być przyczyną braku ich akceptacji przez społeczeństwo. Zmiany jakie powstają w środowisku w wyniku oddziaływania elektrowni odnawialnych są jednak znacznie mniejsze niż w przypadku źródeł konwencjonalnych [28].

## ZAŁOŻENIA I CELE USTAWY O ODNAWIALNYCH ŹRÓDŁACH ENERGII

### CELE USTAWY

Jednym z celów projektowanej ustawy jest zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego i ochrony środowiska, między innymi w wyniku efektywnego wykorzystania odnawialnych źródeł energii, a także racjonalne wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii, uwzględniające realizację długofalowej polityki rozwoju gospodarczego Rzeczypospolitej Polskiej, wypełnienie zobowiązań wynikających z zawartych umów międzynarodowych, oraz podnoszenie innowacyjności i konkurencyjności gospodarki Rzeczypospolitej Polskiej. Kolejnym z założeń nowej ustawy jest kształtowanie mechanizmów i instrumentów wspierających wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła lub chłodu lub biogazu rolniczego w instalacjach odnawialnych źródeł energii oraz wypracowanie optymalnego i zrównoważonego zaopatrzenia odbiorców końcowych w energię elektryczną, ciepło lub chłód lub w biogaz rolniczy z instalacji odnawialnych źródeł energii. Ustawa o odnawialnych źródłach energii zakłada również tworzenie innowacyjnych rozwiązań w zakresie wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu, lub biogazu rolniczego w instalacjach odnawialnych źródeł energii oraz tworzenie nowych miejsc pracy w wyniku przyrostu liczby oddawanych do użytkowania nowych instalacji odnawialnych źródeł energii [32].

### GLÓWNE REGULACJE PRAWNE ZAWARTE W USTAWIE

Nowa ustawa o odnawialnych źródłach energii zakłada głównie zasady wykonywania działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu w mikroinstalację, małej instalacji oraz wytwarzania biogazu rolniczego lub wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z biogazu rolniczego. Według projektu ustawy mikroinstalacja jest to instalacja odnawialnego źródła energii o zainstalowanej łącznej mocy elektrycznej do 40

kW lub zainstalowanej łącznej mocy cieplnej lub chłodniczej do 70 kW, z wyłączeniem instalacji służącej do wytwarzania biogazu rolniczego, lub wytwarzania energii elektrycznej, cieplnej lub chłodu z biogazu rolniczego natomiast małą instalację zdefiniowano jako instalację odnawialnego źródła energii o zainstalowanej łącznej mocy elektrycznej powyżej 40 kW do 200 kW lub zainstalowanej łącznej mocy cieplnej lub chłodniczej powyżej 70 kW do 300 kW, z wyłączeniem instalacji służącej do wytwarzania biogazu rolniczego lub wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z biogazu rolniczego. Ustawa ta normuje także zasady i warunki przyłączania do sieci instalacji odnawialnego źródła energii oraz mechanizmy i instrumenty wspierające wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła lub chłodu w instalacji odnawialnego źródła energii oraz wytwarzania biogazu rolniczego lub wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z biogazu rolniczego. Biogazem rolniczym według projektu ustawy o odnawialnych źródłach energii jest paliwo gazowe otrzymywane w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych, odpadów lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej, z wyłączeniem paliwa gazowego pozyskanego z surowców pochodzących z oczyszczalni ścieków lub składowisk odpadów. Celem ustawy jest również wprowadzenie zasad dotyczących gwarancji pochodzenia dla energii elektrycznej wytworzonej w instalacji odnawialnego źródła energii oraz warunki i tryb nabywania uprawnień instalatora mikroinstalacji. Ustawa o odnawialnych źródłach energii reguluje zasady współpracy międzynarodowej w zakresie odnawialnych źródeł energii oraz wspólnych projektów energetycznych a także zasady opracowania i realizacji krajowego planu działania oraz monitorowania rynku energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z odnawialnych źródeł energii, rynku biogazu rolniczego lub rynku energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z biogazu rolniczego, rynku biopłynów czyli paliw ciekłych, wytworzonych wyłącznie z biomasy, wykorzystywanych w celach energetycznych innych niż w transporcie, w tym do wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu [21].

#### ROZWIĄZANE PROBLEMY

We wcześniejszym rozdziale przedstawiono główne bariery na jakie napotykają inwestorzy podczas tworzenia działalności gospodarczej wykorzystującej odnawialne źródła energii. Ustawa ta zawiera wiele ułatwień i uregulowań mających pomóc inwestorom w otwarciu działalności gospodarczej. Pierwszym z ułatwień administracyjnych jakie wprowadza nowa ustawa jest możliwość uzyskania pozwolenia na działalność gospodarczą w zakresie odnawialnych źródeł bez koncesji. Z takiej ulgi mogą skorzystać działalności gospodarcze w zakresie wytwarzania mikroinstalacji, małej instalacji i wytwarzania biogazu rolniczego. Wprowadzono również unormowania dotyczące osób, które produkują energię elektryczną lub ciepłą na potrzeby własne wytworzonych z mikroinstalacji. Uznano, że w takim przypadku nie prowadzą oni działalności gospodarczej. Kolejnym ułatwieniem dla inwestorów i osób fizycznych jest wprowadzenie

jawnego, internetowego rejestru wytwórców energii, dzięki czemu zwykły użytkownik, będzie mógł mieć dostęp do informacji odnośnie instalacji energetycznych znajdujących się w pobliżu jego miejsca zamieszkania. Kolejnym problemem, który został unormowany jest przyłączenie do sieci instalacji odnawialnych źródeł energii. Wprowadzono, że instalacje te będą miały pierwszeństwo do podłączenia do sieci przesyłu przed innymi instalacjami, pod warunkiem, że realizacja przyłączenia spełnia warunki techniczne i ekonomiczne przyłączenia, a żądający zawarcia umowy akceptuje warunki przyłączenia. Kolejnym rodzajem ulgi jest brak opłat za przyłączenie mikroinstalacji do sieci dystrybucyjnej. Następnym problemem był brak jednakowego wsparcia dla wszystkich systemów instalacji, dlatego wprowadzono współczynniki korelacyjne zależne od kosztów danej technologii (biomasy, wiatru i wody) i od wielkości instalacji. Każda uzyskana MWh jest mnożona przez współczynnik, który ma wyrównać różnicę pomiędzy tymi instalacjami. Kolejnym udogodnieniem dla przedsiębiorców jest wprowadzenie zobowiązań wobec sprzedawców z urzędu do zakupu energii elektrycznej lub paliw gazowych wytworzonych z odnawialnych źródeł energii od przedsiębiorstwa, które zostało wpisane do rejestru. Unormowano również kwestię cen zakupu energii elektrycznej lub paliw gazowych, które ma określić w drodze rozporządzenia minister właściwy do spraw gospodarki. Kwestia związana z ceną jest bardzo istotna, ponieważ to od niej zależy czy dany przedsiębiorca lub rolnik (w przypadku produkcji biomasy) zainwestuje w odnawialne źródła energii [18]. Cena zakupu energii elektrycznej i paliwa gazowego nie może być niższa niż suma ceny zakupu energii elektrycznej. W projekcie ustawy o odnawialnych źródłach energii cena ta wynosi 198,90 zł z 1 MWh. Cena zakupu musi zostać ogłoszona przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w Biuletynie Urzędu Regulacji Energetyki.

Ważną kwestią jest również wydanie świadectwa pochodzenia energii elektrycznej lub ciepła, chłodu. Świadectwo pochodzenia przysługuje dla instalacji odnawialnych źródeł energii przez okres 15 lat liczony od dnia oddania tej instalacji do użytkowania a także dla jednostek, które zostały zmodernizowane. Z opłat skarbowych zwolnione są przedsiębiorstwa energetyczne zajmujące się wytwarzaniem energii elektrycznej w instalacji odnawialnych źródeł energii o łącznej mocy nie przekraczającej 5MW. Minister właściwy do spraw gospodarki w celu optymalnego zwiększenia stopnia wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz zwiększenia świadomości społecznej w zakresie odnawialnych źródeł energii tworzy elektroniczną bazę danych dotyczącą wykorzystania energii wytworzonej z odnawialnych źródeł energii i udostępnia ją w Biuletynie Informacji Publicznej. Wprowadzono również warunki i tryb akredytowania organizatorów szkoleń oraz certyfikowania instalatora małych instalacji i mikroinstalacji. Certyfikat jest dokumentem potwierdzającym posiadanie kwalifikacji przez instalatora w zakresie instalowania kotłów i pieców na biomasę, systemów fotowoltaicznych, słonecznych systemów grzewczych, pomp ciepła oraz płytowych systemów geotermalnych. W zakresie posiadanego certyfikatu instalator może dokonywać modernizacji oraz utrzymywania w należyłym stanie technicznym instalacji [21].

## PROBLEMY NIE ROZWIĄZANE

Nowa ustawa o odnawialnych źródłach energii nie reguluje jednak wszystkich problemów z jakimi borykają się przedsiębiorstwa energetyczne lub osoby chcące otworzyć nowe inwestycje oparte na odnawialnych źródłach energii. W dalszym ciągu nie rozwiązano kwestii związanej z importem biomasy z całego świata, który wpływa negatywnie na środowisko, powodując emisję dwutlenku węgla i problemy ekologiczne. Podobnie nie uregulowano kwestii związanej z jakością produkowanej biomasy. Jeżeli jest ona produkowana na glebach skażonych metalami ciężkimi, podczas jej przetwarzania w energię elektryczną lub ciepłą do atmosfery przedostają się również negatywne związki powodujące zanieczyszczenie powietrza. Jednak warto zaznaczyć, że po spalaniu biomasy zanieczyszczonej glebą pozostaje więcej popiołu, ale można go wykorzystać jako nawóz mineralny [15]. Według Redlarskiego i in. [23] biomasa jest najbardziej skutecznym nośnikiem energii spośród wszystkich odnawialnych zasobów energii i może wpłynąć na zmniejszenie zapotrzebowania na energię aż o 83 %, co może okazać się bardzo dobrym rozwiązaniem dla gospodarstw domowych znacznie oddalonych od miejsc występowania odnawialnych źródeł energii. Dodatkowo, technologia produkcji biomasy jest coraz bardziej zaawansowana i zapobiega dostawaniu się do atmosfery negatywnych związków powstałych podczas procesu spalania biomasy i stanowi szansę dla rozwoju rolnictwa co wpłynie jednocześnie na rozwój gospodarki [8]. Problematykę tę porusza także Upton i in. [31]. Nie uregulowano również wysokości cen światowych pochodzenia zielonej energii elektrycznej certyfikat. Najlepszą propozycją byłoby wprowadzenie stałej ceny za MWh wytworzoną przez instalację energetyczną opartą na odnawialnym źródle energii. Problemem jest również brak wsparcia dla starych i importowanych urządzeń (przywożonych np. z Niemiec) lub zakazu importowania takich urządzeń. Polacy kupują i remontują te urządzenia. Jednak warto zaznaczyć, że nie każde urządzenie, które sprawdziło się w innym kraju musi się sprawdzić w naszym, gdyż istnieją inne uwarunkowania klimatyczne, glebowe, geologiczne, ukształtowania powierzchni i surowcowe. Sprawą dość istotną którą można by uregulować jest brak wyczerpujących informacji kierowanych do społeczeństwa, skutkiem czego powstają konflikty społeczne a także brak dofinansowania stanowisk badawczych umożliwiających prowadzenie badań energetycznych. W poszczególnych regionach dofinansowanie wymienionych stanowisk badawczych powinny w większym stopniu przejmować Wojewódzkie Fundusze Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

## PODSUMOWANIE

Przedstawiono założenia jakie zostały zawarte w projekcie ustawy o odnawialnych źródłach energii i przeanalizowano czy będą one miały wpływ na polepszenie i rozwój polskiej gospodarki. W artykule przedstawiono główne problemy z jakimi boryka się gospodarka energetyczna. Dotyczą one braku sieci przesyłowych, wpływu elektrowni

na środowisko powodując jego zanieczyszczenie, ekologii oraz protestów społeczeństwa spowodowanych powstaniem elektrowni w pobliżu miejsca ich zamieszkania. Sprawdzono jakie rozwiązanie dla tych problemów zostały przedstawione w nowej ustawie. Problemami, które w nowej ustawie jeszcze nie zostały rozwiązane są: import biomasy z całego świata powodujących emisję CO<sub>2</sub> i problemy ekologiczne, nieprzewidywalność wysokości cen świadectw pochodzenia zielonej energii elektrycznej w tym certyfikatów oraz problem z nieefektywnymi, starymi urządzeniami, importowanymi przeważnie z Niemiec. Polscy przedsiębiorcy nabywają je i remontują, przy czym powinni zainwestować w nowe technologie, ponieważ nie każde urządzenie, które się sprawdziło w produkcji energii w innych krajach, może działać i sprawdzać się w Polsce. Natomiast ustawa OZE wprowadza nowe regulacje rozwiązujące problem dotyczący wsparcia dla elektrowni zamortyzowanych, poprzez ograniczenie wsparcia do 15 lat. Następnym problemem były niewystarczająco rozwinięte sieci na potrzeby przyłączenia OZE. Ustawa wprowadza zasadę pierwszeństwa przyłączenia dla sieci OZE przed innymi źródłami. Kolejnym problemem była budowa głównie dużych OZE, który rozwiązano poprzez wprowadzenie preferencji dla mikro i małych instalacji nie potrzebujących rozwoju sieci. Uchwalenie ustawy o odnawialnych źródłach energii umożliwi realizację celów krajowych, a także zrównoważonego wykorzystania energii odnawialnej oraz może przyczynić się także do ożywienia międzynarodowej współpracy, wymiany doświadczeń oraz badań w kwestiach związanych z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Zapewni tym samym lepsze warunki do rozwoju krajowej energetyki odnawialnej i gospodarki energetycznej.

## LITERATURA

1. **Baumgartner R. J., Zielowski C., 2007:** Analyzing zero emission strategies regarding impact on organizational culture and contribution to sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 13-14, 15, 1321-1327.
2. **Dodić S.N., Popov S.D., Dodić J. M., Ranković J.A., Zavargo Z.Z., 2010:** Biomass energy in Vojvodina: Market conditions, environment and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2, 14, 862-867.
3. Dz.U.2003.80.717.2003: Ustawa z dnia 27 marca 2003 roku o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym
4. Dz.U.2006.89.625.1997: Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 roku – Prawo energetyczne
5. Dz.U.06.156.1118.1994: Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku – Prawo budowlane
6. **Izdebski W. Osiak J., Skudlarski J., 2010a:** Economical aspects of straw briquettes production. *TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 10, 101-10.
7. **Izdebski W. Osiak J., Skudlarski J. 2010b:** The organizational and economical aspects of thermal production from grain biomass for the needs of individual farms. *TEKA Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 10, 112-117.

8. **Kowalska A., 2010:** Overview of technological methods of energy production from biomass, TEKA. Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa,10,209-215
9. **Kupczyk A., Borowski P., Powalka M., Ruciński D. 2011.** Biopaliwa transportowe w Polsce :stan aktualny i perspektywy. Wyd. WEMA. Warszawa .
10. **Ledakowicz S., Krzystek L., 2005:**Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów przemysłu rolno-spożywczego. Biotechnologia, 3,70,165-183.
11. **Lipski R., Orliński S., Tokarski M., 2006:** Energetyczne wykorzystanie biomasy na przykładzie kotłowni opalanej słomą we Fromborku, MOTROL. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, 8a, 202-209.
12. **Łakomiec L., Śmilgiewicz T., 1999:** Planowanie energetyczne jako narzędzie wspomagające rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii na szczeblu gminy [w:] Materiały seminaryjne Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii na szczeblu lokalnym, Fundacja Partnerstwo dla Środowiska, Poznań – Kraków – Warszawa, 18-32 .
13. **Łucki Z., Misiak W., 2010:** Energetyka a społeczeństwo. Aspekty socjologiczne, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
14. **Michalski R., Krasowski E., 2008:** Koncepcja rozwoju energetyki odnawialnej w ramach współpracy naukowej i gospodarczej Polski Wschodniej z Ukrainą (temat opracowano w ramach strategii VIII, priorytet 8.4 MNiSW), MOTROL. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa,10,78-95.
15. **Niedziółka I., Zuchniarz A., 2006:** Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego, MOTROL. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, 8A, 232-237.
16. **Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A., Zawisła K., 2008:** Characteristics of pellets produced from selected plant mixes. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa,8,157-162.
17. **Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A., 2006.** Energetic evaluation of postharvest corn mass for heating purposes. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa ,6A, 145-150.
18. **Osiak J., Skudlarski J., Izdebski W., 2009:** Assessment of farmers potential decisions on setting up perennial plantations of energy plants, TEKA. Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 9, 199-204
19. **Osiak J., Skudlarski J., Izdebski W., 2009:** Assessment of profitability levels of agricultural biomass production for purposes of the professional energy sector. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa ,9, 205-210.
20. **Patterson M.G., 1996:**What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. Energy Policy,24,5,377-390.
21. **Projekt ustawy o odnawialnych źródłach energii, 2012:** <http://www.nowe-pe-pg-i-ustawa-o-oze.cire.pl/pokaz-pdf-%252Fpliki%252F6%252Fustawa-OZE-27072012.pdf>.
22. Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku, załącznik 2. do projektu „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”, 2007, Ministerstwo Gospodarki, <http://www.mg.gov.pl/NR/rdonlyres/AC0AF2CE-748F-4BD7-9DC9-10E94257B732/48364/MozliwosciwykorzystaniaOZE2020.pdf>.
23. **Redlarski G., Wojdalski J., Kupczyk A., Piechocki J., 2012:** Efficiency of biomass energy used for heating purposes in a residential building in comparison with other energy sources. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa,12, 1, 211-218.
24. **Rosiński M., Furtak L., Łuksa A., Stepień A., 2006:** Wykorzystanie olejów roślinnych i urządzeń do ich spalania w procesach suszarniczych. MOTROL, 8A, 243-250.
25. **Roszkowski A., 2003:** Perspektywy wykorzystania biomasy jako źródła paliw silnikowych, MOTROL. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa,5,143-151.
26. **Soliński I., Ostrowski J., Soliński B., 2010:** Energia wiatru. Komputerowy system monitoringu, Wydawnictwo AGH, Kraków, ISBN 978-83-74-64246-0
27. **Stefaniak A., 2012a:** Oddziaływanie elektrowni opartych na odnawialnych źródłach energii na środowisko – opinia wybranych respondentów Dolnego Śląska a rzeczywistość [w:] Środowisko Dolnego Śląska oczami przyrodników, pod red. E. Szczęśniak, T. Tymiński, Wydawnictwo Przygotowalnia Pracownia DTP i Grafiki, Kraków, 113-126
28. **Stefaniak A., 2012b:** Wpływ wykorzystania odnawialnych źródeł energii na stan środowiska naturalnego [w:] Dylematy współczesnej gospodarki i administracji publicznej, pod red. K. Malczyk, Wydawnictwo Rady Kół Naukowych Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków, 7-17.
29. **Tassou S.A., Chaer I., Sugiarta N., Ge Y.-T., Marriott D., 2007:**Application of tri-generation systems to the food retail industry. Energy Conversion and Management, 48, 2988-2995.
30. **Thompson H., 2006:**The applied theory of energy substitution in production. Energy Economics, 28, 410-425.
31. **Upton B. Miner R., Spinney M., Heath L.S., 2008:** The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. Biomass and Bioenergy, 32. 1-10.
32. Uzasadnienie do ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 27. 07.2012 roku, [http://www.mg.gov.pl/files/Upload/16573/2012.07.26\\_Uzasadnienie%20OZE%20wersja%20na%20konferencje%20w%20dniu%2027%20lipca%202012%20r.%20-%20ostateczny.pdf](http://www.mg.gov.pl/files/Upload/16573/2012.07.26_Uzasadnienie%20OZE%20wersja%20na%20konferencje%20w%20dniu%2027%20lipca%202012%20r.%20-%20ostateczny.pdf).
33. **Wilhite H., 2008:**New thinking on the agentive relationship between end-use technologies and energy-using practices. Energy Efficiency, 2, (1), 121-130.
34. **Wiśniewska B., Kalembasa S., 2011:**Wpływ dawek osadu ściekowego na zawartość i pobranie Zn, Cu i Cr przez biomasę życicy wielokwiatowej oraz na akumulację tych metali w glebie . Inżynieria Ekologiczna,27, 229-239; <http://www.ineko.net.pl/pdf/27/26.pdf>.
35. **Wojdalski J., Drózd B., 2012:**Efektywność energetyczna zakładów przemysłu spożywczego. Zarys problematyki i podstawowe definicje. Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego, 3 (3), 37-49.
36. **Wojdalski J., Drózd B., Brocki H., 2008:** Effectiveness of electrical energy and water consumption in

a small-size dairy processing plant. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. PAN Oddział w Lublinie, 8, 303-309.

37. **Wojdalski J., Drózd B., Lubach M., 2007:** Factors influencing energy consumption in fruit and vegetable processing plants. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. PAN Oddział w Lublinie, 7, 277-285.
38. **Wojdalski J., Drózd B., Grochowicz J., Magryś A., Ekielski A., 2012:** Assessment of Energy Consumption in a Meat – Processing Plant – a Case Study. Food and Bioprocess Technology, doi:10.1007/s11947-012-0924-4 9.

#### SELECTED CONDITIONS FOR THE POLISH ENERGY SECTOR ARISING FROM THE DRAFT LAW ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Summary.** The aim paper is to present new assumptions which have been set out in the draft law on renewable ener-

gy sources and attempt to answer whether they will have an impact on the development of the Polish economy. Furthermore are the main problems in the energy sector, the lack of transmission networks, the impact of negative energy plants using renewable energy sources on the environment, ecology and society due to fear of protests against the formation of power plant in the vicinity of their residence. Verified the solutions for these problems are presented in the new law. One of the conclusions drawn on the basis of the analysis of the Act, is that it has not resolved all the problems in the energy sector. Not enough attention was paid to individual investors and energy consumers. Attention was paid that the Act contains many provisions and information about micro installations and small installations, which may positively affect the development of distributed energy sources in Poland. Provides examples items of literature on the energy efficiency of the food economy.

**Key words:** renewable energy, power, energy law, energy management, energy and climate policy.



## Symulacja układów bezpieczeństwa czynnego pojazdów samochodowych z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego

*Sebastian Styła, Artur Boguta, Andrzej Sumorek, Marek Horyński, Marcin Buczaj*

Katedra Inżynierii Komputerowej i Elektrycznej, Politechnika Lubelska,  
20-618 Lublin, Nadbystrzycka 38a; e-mail: s.styla@pollub.pl

**Streszczenie.** Symulacja elektronicznych obwodów występujących we współczesnych pojazdach jest niezwykle trudna ze względu na ich złożony charakter. Odzworowanie rzeczywistych zależności i procesów występujących w danym układzie jest ważne z punktu widzenia przeprowadzania badań modelowych oraz w procesie dydaktycznym.

W artykule zaprezentowano wirtualne modele laboratoryjne symulujące działanie systemów bezpieczeństwa czynnego pojazdów samochodowych. Przedstawiono budowę modeli: przeciwblokowania kół pojazdu ABS, przeciwpoślizgowego ASR oraz stabilizacji toru jazdy ESP. Do budowy modeli wykorzystano oprogramowanie komputerowe LabView firmy National Instruments. **Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo czynne, ABS, ASR, ESP, symulacja komputerowa, modelowanie.

### WPROWADZENIE

Obecnie nikt nie wyobraża sobie życia bez komputerów. Zawładnęły one praktycznie wszystkimi dziedzinami życia. Od kilku lat można zaobserwować ich znaczącą rolę w badaniach naukowych oraz dydaktyce. Nowe podejście do tworzenia modeli laboratoryjnych maszyn, urządzeń lub nawet całych procesów technologicznych sprawiło, że coraz częściej tworzone jest specjalistyczne oprogramowanie dedykowane dla konkretnych zastosowań. Obecnie wiele prac badawczych dotyczących opracowywania nowych technologii oraz rozwiązań konstrukcyjnych oparte jest na modelach wirtualnych [5, 9, 10, 11, 14, 18, 19, 23, 24, 26]. Takie podejście charakteryzuje się możliwością odzworowania wielu zmiennych bez konieczności ponoszenia olbrzymich kosztów związanych z wykonaniem symulacji oraz tworzeniem fizycznych modeli laboratoryjnych. Ponadto wykorzystanie techniki komputerowej odgrywa znaczącą rolę w procesie dydaktycznym. Zastosowanie symulacji komputerowej przyczynia się do podniesienia jakości i efektywności kształcenia przyszłych absolwentów. Obecnie coraz więcej

jednostek naukowo-dydaktycznych wykorzystuje ten rodzaj tworzenia modeli laboratoryjnych poszerzając swoją ofertę edukacyjną [1, 13, 20, 25]. Ze względu na wierne odzwierciedlenie poszczególnych zależności i powiązania między elementami danego urządzenia, maszyny lub procesu ważne jest odpowiednie przygotowanie takiego modelu laboratoryjnego. W procesie przygotowawczym można wyróżnić trzy etapy: projektowania, budowy i walidacji modelu [6].

Właśnie takie podejście dosyć często wykorzystywane jest w badaniach elementów bardzo złożonych. Przedstawione w niniejszej pracy rozwiązania są tylko przykładowym podejściem do problemu tworzenia wirtualnych stanowisk symulujących złożone systemy bezpieczeństwa czynnego pojazdów samochodowych. Modele te wykorzystywane są w obecnej chwili w procesie badawczo-dydaktycznym na uczelni wyższej i zostały wykonane z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego Lab View firmy National Instruments [22].

Mianem bezpieczeństwa czynnego pojazdów określa się zespół urządzeń oraz czynników wpływających na zmniejszenie ryzyka kolizji lub wypadku. Systemy te należą do tzw. grupy systemów Advanced Vehicle Control Systems, czyli systemów zaawansowanego sterowania pojazdem, które wspomagają decyzje kierowcy i korygują jego błędy. Należą do nich m. in. takie układy jak: ABS, ASR, ESP. Ze względu na swoją popularność są one szeroko opisane w pozycjach literaturowych [3, 4, 8, 12, 16, 17]. Do ich poprawnego działania wymagana jest duża liczba sygnałów dostarczanych m. in. przez czujniki: prędkości obrotowej, przyspieszeń poprzecznych, kąta obrotu, itp [2, 7]. Mimo wielu różnic konstrukcyjnych opracowanych przez poszczególnych producentów samochodów zasada działania wszystkich systemów jest podobna.

### UKŁAD PRZECIWBLOKOWANIA KÓŁ ABS

ABS (ang. Anti-lock Braking System) jest systemem zapobiegającym blokowaniu kół podczas procesu hamowania.

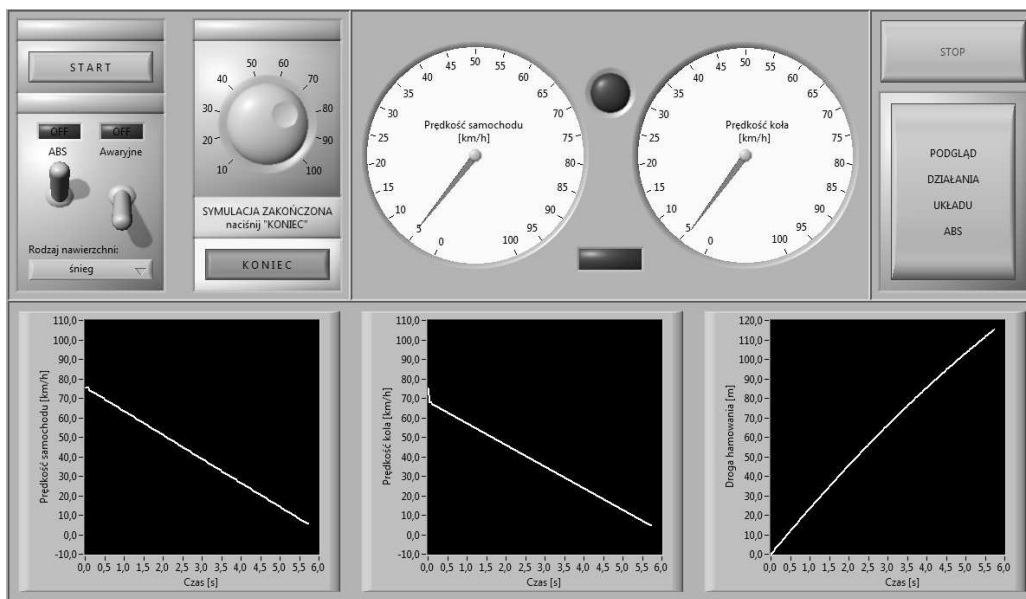
Daje to możliwość manewrowania pojazdem podczas wciśnięcia pedału hamulca i omijania przeszkód znajdujących się na drodze, z jednoczesnym wyhamowywaniem pojazdu.

Przedstawiony model symulujący działanie układu przeciwblokującego koła ABS daje możliwość obserwacji wpływu rodzaju nawierzchni, rodzaju hamowania oraz dynamicznie zmieniających się warunków drogowych na prędkość samochodu, a także czas i drogę hamowania. Dane te są wyświetlane w postaci charakterystyk czasowych. W programie uwzględnione zostały rzeczywiste współczynniki przyczepności opon pojazdu do nawierzchni. Zakres działania układu ABS zawiera się w granicach 10-30% wartości poślizgu, tak jak występuje to w samochodzie.

Program symulacyjny (rys. 1) umożliwia obserwację wyników w zależności od dynamicznie zmieniających się

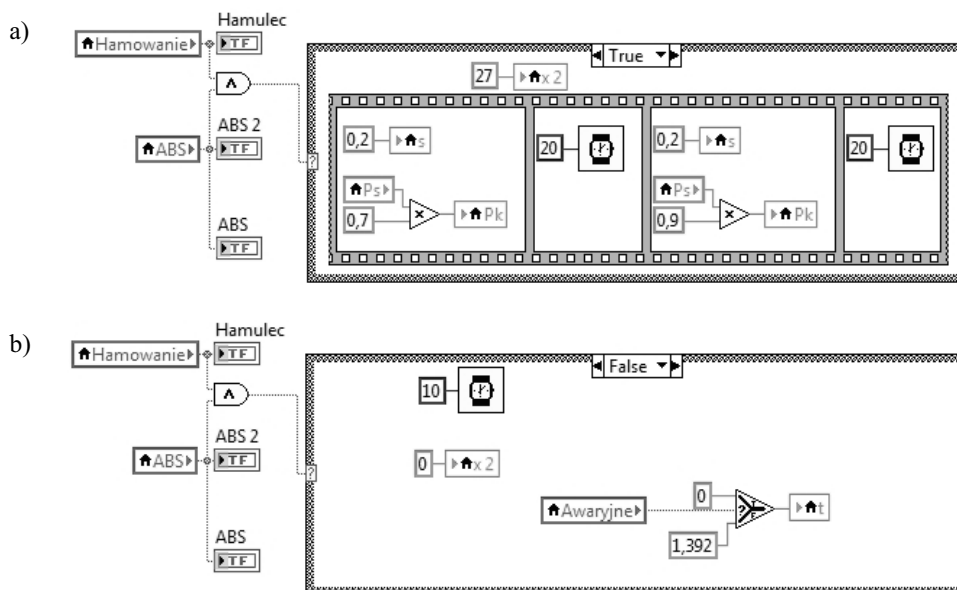
warunków jazdy: rodzaju nawierzchni (asfalt suchy lub mokry, śnieg, lód). Funkcja ta została zrealizowana poprzez wprowadzenie do programu charakterystyk uwzględniających różną przyczepność opon samochodu do nawierzchni drogi. Użyto w tym celu strukturę wyboru *case* zbudowaną z czterech ramek. Każda ramka posiada blok *Scaling And Mapping* z odpowiednią charakterystyką przyczepności.

Model umożliwia również porównanie parametrów hamowania z układem ABS i bez niego. Tak jak uprzednio użyta została w tym celu struktura wyboru *case* (rys. 2). Ramka *True* (rys. 2a), czyli hamowanie z aktywnym układem ABS, zawiera strukturę sekwencyjną *Flat Sequence*, która odpowiedzialna jest za hamowanie pulsacyjne. To dzięki tej strukturze uwzględniona została wartość poślizgu koła w granicach 10-30%.



Rys. 1. Panel czołowy układu ABS [18]

Fig. 1. The front panel of the ABS system [18]



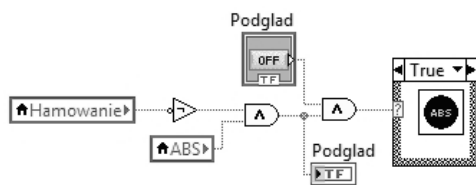
Rys. 2. Struktura programu wyboru rodzaju hamowania: a) hamowanie z ABS, b) hamowanie bez ABS [18]

Fig. 2. The structure of program select the type of braking: a) braking with ABS, b) braking without ABS [18]



Ramka *false* (rys. 2b) odpowiedzialna jest za hamowanie bez ABS. Można tutaj wyróżnić hamowanie zwykłe (prędkość koła podczas hamowania 5 km/h) oraz awaryjne (prędkość koła podczas hamowania 0 km/h).

W modelu uwzględniono także możliwość podglądu działania układu ABS. Rozwiązane to zostało wykonane dzięki zastosowaniu „skoku” do podprogramu. Wykonuje to prosta funkcja przedstawiona na rysunku 3. Z wykorzystaniem podprogramu można obserwować działanie modulatora układu ABS w trzech podstawowych trybach pracy: wzrostu, utrzymania i spadku ciśnienia w układzie hamulcowym.

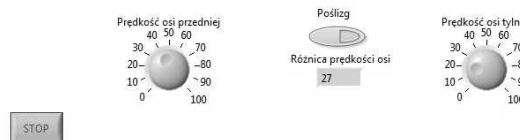
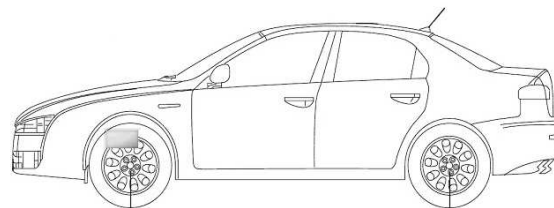


Rys. 3. Odwołanie do podprogramu [18]  
Fig. 3. A reference to the subroutine [18]

UKŁAD PRZECIWPOŚLIZGOWY  
KÓŁ NAPĘDOWYCH ASR

ASR (ang. Anti Skid Regulation) jest systemem, który aktywowany jest podczas utraty przyczepności kół napędowych pojazdu. Wykorzystywany jest przede wszystkim podczas ruszania na śliskiej nawierzchni lub nadmiernym przyspieszaniu. Różni producenci pojazdów mogą stosować inne nazwy handlowe tego systemu: TCS (ang. Traction Control System), TC (ang. Traction Control) lub ATC (ang. Automatic Traction Control).

Na rysunku 4 został przedstawiony stworzony panel czołowy służący do symulacji działania układu ASR. Program wykrywa różnicę prędkości kół osi napędzanej porównując ją z prędkością kół osi nienapędzanej. Różnica prędkości jest miarą poślizgu. Jest to duże uproszczenie modelu, jednak takie rozwiązanie ma na celu przedstawienie jedynie głównej funkcji układu ASR bez zagłębiania się w strukturę wewnętrzną tego obwodu.



Rys. 4. Panel czołowy układu ASR [13]  
Fig. 4. The front panel of the ASR system [13]

Struktura wewnętrzna programu symulacyjnego składa się z dwóch części (rys. 5).

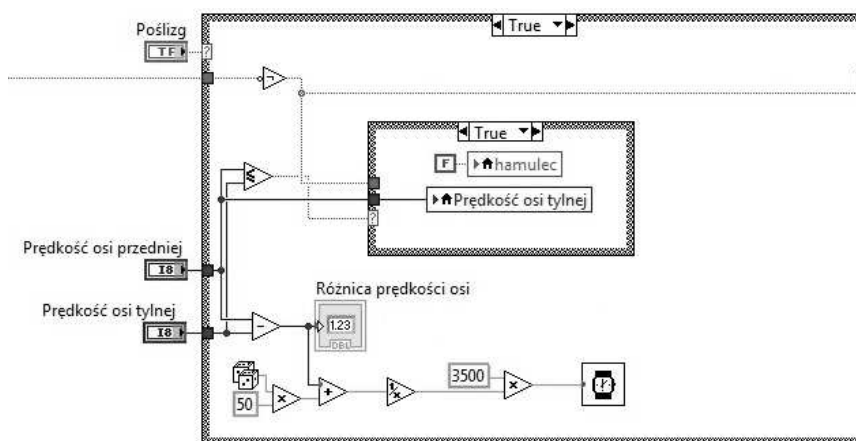
Pierwszą jest blok odpowiedzialny za częstotliwość działania systemu. Podobne rozwiązanie zastosowane zostało w modelu symulującym działanie układu ESP (rys. 8).

Drugi człon wykorzystujący funkcję wyboru *case* oblicza różnicę między prędkością obu osi. Jeżeli jest ona różna od zera, wtedy zaczyna pulsować dioda umieszczona przy kole, symulująca aktywację systemu ASR. Im większa różnica tym większa częstotliwość migania diody co w rzeczywistym układzie oznacza zwiększenie siły oddziaływania układu ASR.

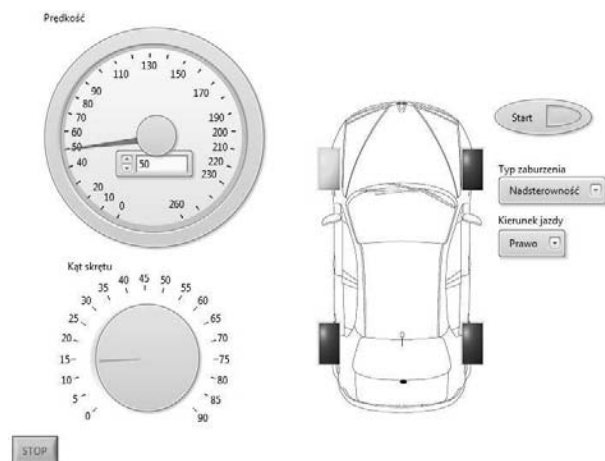
UKŁAD STABILIZACJI TORU JAZDY ESP

ESP (ang. Electronic Stability Program) jest zaawansowanym systemem, który zapobiega zbcoczeniu pojazdu z zamierzonego toru jazdy. Zmniejsza to ryzyko zarzucenia lub przewrócenia samochodu.

Rysunek 6 przedstawia utworzony panel sterujący układem ESP. Podstawowymi parametrami regulacyjnymi są prędkość pojazdu oraz kąt skrętu kierownicy. Dodatkowo brana pod uwagę jest podsterowność lub nadsterowność pojazdu oraz kierunek ruchu. Na podstawie tych parametrów układ ESP dokonuje przyhamowywania odpowiedniego z kół samochodu.



Rys. 5. Struktura programu symulującego działanie układu ASR [13]  
Fig. 5. The structure simulates the operation of the ASR system [13]



Rys. 6. Panel czołowy układu ESP [13]

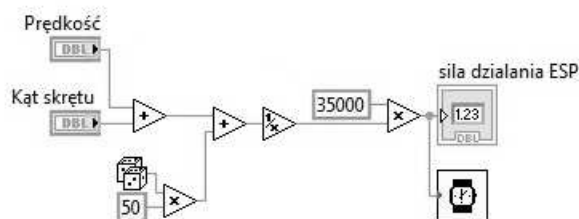
Fig. 6. The front panel of the ESP system [13]

Wybór rodzaju zaburzenia jakim poddawany jest pojazd w sytuacjach awaryjnych został wykonany za pomocą dwóch funkcji wyboru *case* umieszczonych jedna wewnątrz drugiej, według procedury przedstawionej na rysunku 7. Siła z jaką oddziałuje układ ESP na poszczególne koła pojazdu zależy od jego prędkości oraz kąta skrętu kierownicy i została opisana prostą funkcją przedstawioną na rysunku 8. Siła ta symulowana jest w modelu przez częstotliwość migania diody umieszczonej przy danym kole pojazdu.

Wybór koła - (x,y)	
x:	0 - prawy, 1 - lewy;
y:	0 - nadsterowność, 1 - podsterowność
(0,0)	- Lewy - Przód - 1
(0,1)	- Prawy - Tył - 2
(1,0)	- Prawy - Przód - 0

Rys. 7. Tabela wyboru zaburzenia oraz kierunku jazdy

Fig. 7. Table selection of the disorder and the direction of travel



Rys. 8. Struktura programu odpowiedzialna za siłę hamowania odpowiednich kół w systemie ESP [13]

Fig. 8. The structure of program answered for braking the appropriate wheels in the ESP system [13]

## PODSUMOWANIE

Odpowiednio zaprojektowane i wykonane modele wirtualne powinny odzwierciedlać rzeczywiste warunki pracy poszczególnych urządzeń czy maszyn. Muszą one odwzorowywać rzeczywiste zależności i procesy panujące wewnątrz badanego układu. Daje to możliwość dokładnej analizy badanego obwodu oraz obserwacji szeregu zależności panujących między poszczególnymi elementami.

Przedstawione w niniejszym artykule modele symulujące działanie układów bezpieczeństwa czynnego ABS, ASR i ESP dają możliwość szybkiego zapoznania się przez studentów z zasadą działania, budową oraz sposobami badania w/w obwodów. Ważne jest aby modele wirtualne nie zastępowały modeli fizycznych, co jest coraz częściej widoczne w szkolnictwie technicznym. Powinny one jedynie wspomagać proces dydaktyczny rozszerzając zdolności analityczne abiturientów poprzez umiejętność posługiwania się różnego rodzaju oprogramowaniem. W przeciwieństwie do modeli fizycznych, dzięki modelom komputerowym, słuchacze mają dostęp do struktury wewnętrznej układów, przez co mogą je korygować i sprawdzać wpływ tych zmian na pracę całego systemu sterowania.

Opisane modele dają możliwość wykonania szeregu badań naukowych w celu opracowania nowych procedur sterujących i diagnostycznych dotyczących układów bezpieczeństwa czynnego samochodów. Przyczynia się to do ich rozwoju oraz zwiększenia niezawodności.

## LITERATURA

1. **Buczaj M., Walusiak St., Sumorek A., Pietrzyk W., 2004:** Zastosowanie komputerowych programów symulacyjnych do tworzenia wirtualnych stanowisk laboratoryjnych. IX Konferencja Naukowo-Techniczna pod patronatem Komitetu Elektrotechniki PAN „Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice”, Poznań/Kiekrz, Materiały Tom II, 651-654.
2. **Brzeźański M., 2009:** Czujniki w pojazdach samochodowych, Informator techniczny Bosch WKŁ, Warszawa.
3. **Chalecki M., 2006:** Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe, Informator techniczny Bosch, WKŁ, Warszawa.
4. **Dziubiński M., 2003:** Elektroniczne układy pojazdów samochodowych, Wydawnictwo Naukowe Gabriel Boroński, Lublin.
5. **Dziubiński M., Walusiak S., 1997:** Analiza komputerowa stanu technicznego wybranych elementów rozrusznika, Teza Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji PAN o/Kraków, zeszyt 11, 177-182.
6. **Flasza J., Drab M., 2010:** Systemy mechatroniczne w przemyśle w aspekcie stanowiska laboratoryjnego wspomaganego komputerowo, Logistyka nr. 6/2010, 801-811.
7. **Gajek A., Juda Z., 2009:** Czujniki. Mechatronika samochodowa, WKŁ. Warszawa.
8. **Herner A., Riehl H. J., 2011:** Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych, WKŁ, Warszawa.
9. **Jamrozik A., 2011:** Numerical optimization of the ignition angle of SI engine, TEKA Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa PAN o/Lublin, tom XI, 157-165.
10. **Kamiński Z., 2003:** Badania symulacyjne instalacji pneumatycznej ciągnika rolniczego, MOTROL – Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa PAN o/Lublin, tom V, 73-79.
11. **Karwiński A., Pysz S., Krokosz J., 2006:** Komputerowe projektowanie wykonania odlewów dla motoryzacji przy

- zastosowaniu nowej generacji ciekłych mas ceramicznych, MOTROL – Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa PAN o/Lublin, tom VIII, 101-109.
12. **Kierylak W., 2004:** ABS w samochodach Daewoo, Poradnik serwisowy nr. 3/2004, Instalator Polski, Warszawa.
  13. **Lachowski J., 2010:** Wykorzystanie modelowania komputerowego w realizacji zajęć dydaktycznych z mechaniki, Logistyka nr. 6/2010, 1837-1845.
  14. **Malesa W., 2011:** Modelling tire-soil interaction with the FEM application, TEKA Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa PAN o/Lublin, tom XI, 236-244.
  15. **Nowak Ł., 2013:** Komputerowy model symulujący działanie układów ASR/ESP, praca dyplomowa pod kierunkiem A. Boguty, Politechnika Lubelska, Lublin.
  16. **Polkowski S., 2001:** Układy bezpieczeństwa i komfortu jazdy, Informator techniczny Bosch, WKŁ, Warszawa.
  17. **Reński A., 2000:** Układy stabilizacji toru jazdy ESP, Informator techniczny Bosch, WKŁ, Warszawa.
  18. **Sarniak M., 2012:** The application of labview software for the control of a model of a tracking photovoltaic system, TEKA Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa PAN o/Lublin, vol. 12, no 1, 237-241.
  19. **Styla S., Pietrzyk W., 2011:** The identification of operational failures of the heating, ventilation and air-conditioning circuit in the car by means of thermovision methods. TEKA Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa PAN o/Lublin, tom XI, 354-362.
  20. **Styla S., Walusiak S., Pietrzyk W., 2008:** Computer simulation possibilities in modeling of ignition advance angle control in motor and agricultural vehicles. TEKA Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa PAN o/Lublin, tom VIII, 231-240.
  21. **Tarnowski K., 2011:** Symulacyjny model wybranego sterownika samochodowego wykorzystujący oprogramowanie LabView, praca dyplomowa pod kierunkiem W. Pietrzyka, Politechnika Lubelska, Lublin.
  22. **Tłaczała W., 2002:** Środowisko LabVIEW w eksperymencie wspomaganym komputerowo, WNT, Warszawa.
  23. **Tutak W., 2011:** Numerical analysis of the impact of EGR on the knock limit in SI test engine, Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa PAN o/Lublin, tom XI, 397-406.
  24. **Walusiak S., Dziubiński M., 1999:** Komputerowy model diagnostyczny alternatora samochodowego, TeKa Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji PAN o/Kraków, zeszyt 18, 435-441.
  25. **Walusiak S., Poldeśny M., 2006:** Symulacja procesów sterowania pracą silnika ZI z wykorzystaniem języka C+. Konferencja pod patronatem Komitetu Elektrotechniki PAN i Institute of Electrical and Electronics Engineers „Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice, Poznań, Materiały, 55-56.
  26. **Wróbel K., Styla S., Sumorek A., 2012:** Use of GIS systems in the construction of hydraulic model of networks. ECONTECHMOD – an international quarterly journal on economics of technology and modeling processes, Lublin-Lviv-Cracow 2012, Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, vol. 1, no. 2/2012, 63-67.

#### SIMULATION OF AUTOMOTIVE ACTIVE SAFETY SYSTEMS USE OF COMPUTER SOFTWARE

**Summary.** Simulation of electronic circuits that occur in modern vehicles is difficult due to their complex nature. Representation of the real relationships and processes occurring in the system is important for the model testing and teaching.

The paper presents a virtual laboratory models that simulate the action of vehicles active safety systems. The structure models: Anti-lock Braking System ABS, Anti Skid Regulation ASR and Electronic Stability Program ESP. To build the models used LabView software from National Instruments.

**Key words:** automotive active safety, ABS, ASR, ESP, computer simulation, modeling.



## Dobór podzespołów gruntowej pompy ciepła

Mariusz Szreder

Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii,  
Instytut Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Systemów Mechanicznych i Automatykacji,  
Al. Jachowicza 2/4, 09-402 Płock, e-mail: szreder@pw.plock.pl

**Streszczenie.** W pracy zostały zaprezentowane wybrane zagadnienia dotyczące projektowania gruntowej pompy ciepła na podstawie publikowanych wyników badań. W celu weryfikacji przyjętej metodyki doboru poszczególnych podzespołów pompy ciepła zostały przeprowadzone badania eksperymentalne na stanowisku badawczym wyposażonym w gruntową pompę ciepła z kolektorami pionowymi.

**Słowa kluczowe:** gruntowa pompa ciepła, kolektor pionowy, sprężarka spiralna, parownik, skraplacz, źródło dolne, współczynnik efektywności energetycznej.

### 1. WPROWADZENIE

Pompy ciepła są praktycznie stosowane w Europie od 25 lat, ale w ostatnich latach obserwuje się gwałtowny wzrost skali ich sprzedaży. Wynika to między innymi z wymogów Dyrektyw Unijnych, których głównym celem jest doprowadzenie do wzrostu wykorzystania OZE w finalnym zużyciu energii do 15% w 2020 r.

Niemal co drugi dom budowany w Niemczech, Szwecji, Szwajcarii i Austrii jest wyposażony w pompę ciepła. To właśnie te kraje mają najkorzystniejsze współczynniki w dziedzinie oszczędności energii i ekologii w budownictwie. Jest to wynik skutecznego promowania technologii pomp ciepła poprzez stosowanie specjalnych taryf energetycznych dedykowanych dla tych urządzeń, a także różnego rodzaju form dotacji, czy ulg podatkowych.

Gdyby w Polsce udało się uruchomić dobry mechanizm wsparcia inwestycji z pompami ciepła, korzystając z doświadczenia krajów Europy Zachodniej, w ciągu kilku lat, liczba inwestycji w pompy ciepła mogłaby wzrosnąć nawet 10-krotnie [5,15].

Technologia geotermii, znana i rozwijana na świecie już od ponad 50 lat, również w Polsce cieszy się coraz większym zainteresowaniem. Niestety nadal wynika to wyłącznie z wysiłków producentów i hobbystów, starających się po-

kazać jej wielkie zalety mimo relatywnie wysokich początkowych kosztów inwestycyjnych oraz poszerzającemu się gronu zadowolonych użytkowników pomp ciepła.

Spośród wszystkich instalowanych pomp ciepła główny udział przypada gruntowym pompom ciepła, które ze względu na chłodny klimat są preferowane przez mieszkańców naszego kraju. W Polsce, w segmencie gruntowych pomp ciepła najczęściej (41-43% w latach 2008-2009) instalowane są pompy o mocy do 10 kW, są one montowane w nowych domach jednorodzinnych o powierzchni użytkowej 150÷200 m<sup>2</sup>, które stanowią 80% wszystkich nowo budowanych domów jednorodzinnych. W ostatnich latach zanotowano także wzrost popytu na pompy ciepła o dużej mocy grzewczej na potrzeby ogrzewania budynków wielorodzinnych, biurowo-usługowych, turystyczno-rekreacyjnych oraz obiektów poddawanych termomodernizacji.

### 2. DOBÓR PODZESPOŁÓW GRUNTOWEJ POMPY CIEPŁA

#### CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

Instalacja ogrzewania z pompą ciepła typu solanka/woda została wykonana w domku jednorodzinny z poddaszem użytkowym o łącznej powierzchni użytkowej 156 m<sup>2</sup>. Z myślą o ogrzewaniu pompą ciepła zastosowano niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe na parterze i poddaszu użytkowym, jedynie w łazienkach zastosowano dodatkowo grzejniki drabinkowe. W poszczególnych pomieszczeniach ułożono ogrzewanie podłogowe z rozstawem rurek co 15 cm, jedynie w łazienkach zastosowano rozstaw co 10 cm. Średnia długość poszczególnych obwodów wynosiła średnio 60-65 m, co zapewniło równomierny rozkład oporów przepływu. Do zasilania obwodów grzewczych na parterze i poddaszu zastosowano oddzielne rozdzielacze zasilane niezależnie sterowanymi pompami obiegowymi,

co pozwala w łatwy sposób sterować dostarczaniem mocy grzewczej do pomieszczeń na parterze i poddaszu.

W dokumentacji projektowej budynku podane jest roczne zapotrzebowanie na energię użytkową  $E=16400 \text{ kWh/rok}$ . Zakładając średnioroczny czas pracy pompy ciepła na poziomie **1800 h** otrzymujemy przybliżone obciążenie cieplne budynku na poziomie **9,1 kW** [13, 23].

Z drugiej strony według dostępnych danych w literaturze zapotrzebowanie na energię cieplną dla budynków nowych z dobrze wykonaną izolacją cieplną wynosi na poziomie **50÷65 W/m<sup>2</sup>**. Przyjmując jednostkowe obciążenie cieplne na poziomie **55 W/m<sup>2</sup>** i powierzchni użytkowej budynku wynoszącej **140 m<sup>2</sup>** otrzymujemy orientacyjne przybliżone obciążenie cieplne budynku **7,7 kW**. Jeśli ta sama pompa ciepła nie tylko ogrzewa dom, ale również grzeje c.w.u., to zakłada się przy tym, że jedna osoba zużywa na dobę ok. **50l** wody o temperaturze **45°C**, do czego potrzebna jest moc grzewcza **0,25 kW**. Zatem dla rodziny 4-osobowej mamy dodatkowy **1kW**. Ostatecznie, dla domu o powierzchni **140 m<sup>2</sup>** otrzymujemy moc pompy ciepła **8,7 kW** [8, 24].

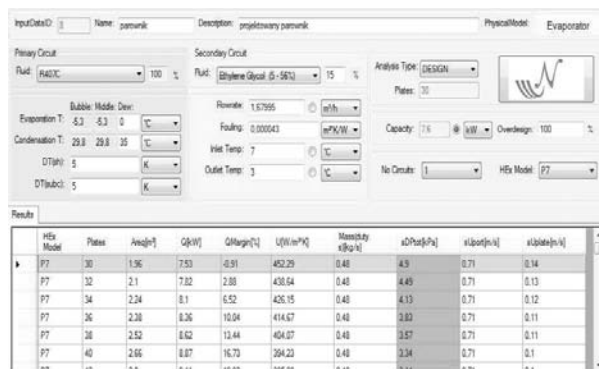
Zatem należy przyjąć do dalszych obliczeń wymaganą moc grzewczą pompy ciepła na poziomie **9 kW**.

#### DOBÓR PODSTAWOWYCH PODZESPOŁÓW POMPY CIEPŁA

Zastosowany czynnik chłodniczy **R407C** jest mieszaniną trójskładnikową. Każdy z tych składników ma inną temperaturę parowania, aby zagwarantować stuprocentowe odparowanie każdego składnika zastosowano przegrzewacz gazu zasysanego. Dzięki temu eliminuje się zasysanie cieczy do sprężarki i poprawia się współczynnik efektywności obiegu termodynamicznego. Sposób ten polega na przekazaniu części ciepła posiadanego jeszcze przez czynnik roboczy za skraplaczem poprzez dodatkowy wymiennik ciepła na stronę par czynnika (przed sprężarką). W ten sposób czynnik roboczy zostaje całkowicie odparowany. Takie przekazanie ciepła powoduje po stronie zimnej wzrost, a po stronie gorącej spadek ciśnienia. Zmniejszenie różnicy ciśnień między stronami powoduje zmniejszenie pracy, jaką musi wykonać sprężarka. Spada więc zużycie prądu, a współczynnik efektywności pompy ciepła wzrasta nawet o 5% [4, 12].

Do doboru wymienników płytowych wykorzystano dedykowane oprogramowanie Avogadro2 ver. 2.0.0.1 oferowane przez dostawcę firmę WTK. Standardowe parametry pracy solankowej pompy ciepła to **B0/W35**, co oznacza temperaturę parowania czynnika chłodniczego **0°C** i temperaturę skraplania czynnika równą **35°C**. Zakładając oczekiwaną różnicę temperatury w obiegu glikolowym  $\Delta T=4\text{K}$  oraz przegrzanie i przechłodzenie czynnika chłodniczego **5K** otrzymujemy dedykowany dla instalacji w domkach jednorodzinnych wymiennik **P7 30-płytowy** (rys. 1).

W obwodzie skraplacza dla oczekiwanej różnicy temperatur na wlocie i wylocie z ogrzewania podłogowego i założonego przepływu **1,2 m<sup>3</sup>/h** otrzymujemy dedykowany wymiennik **P7 16-płytowy**, którego parametry eksploatacyjne są wyższe od założonych, ale celowe przewymiarowanie skraplacza jest ekonomicznie uzasadnione (rys. 2).



Rys. 1. Dobór wymiennika płytowego dla obwodu parownika  
Fig. 1. The selection of plate exchanger for evaporation circuit



Rys. 2. Dobór wymiennika płytowego dla obwodu skraplacza  
Fig. 2. The selection of plate exchanger for condenser circuit

Z uwagi na równomierne obciążenie poszczególnych faz instalacji elektrycznej zastosowano sprężarkę z zasilaniem trójfazowym. Z katalogu dobrano najmniejszą z dostępnych sprężarek z zasilaniem trójfazowym o mocy grzewczej **9 kW**, która dla założonych parametrów pracy **B0/W35** uzyskuje współczynnik efektywności **COP=4,4**, oznaczenie katalogowe C-SBN263H8A.

Tabela 1. Fragment danych katalogowych dla sprężarki C-SBN-263H8A

Table 1. Fragment of catalog data for the compressor C-SBN-263H8A

C-SBN263H8A		400V/3f/50Hz / 400B/3f/50Hz		R407C		
Temperatura skraplania / Condensing temperature / Температура конденсации [°C]	Temperatura odparowania / Evaporating temperature / Температура кипения [°C]	-10	-5	0	+5	+10
	Wydajność / Capacity / Производитель, [W] [Bt]	6638	8081	9846	12005	-
	Moc / Power consumption / Потр.мощн. [W] [Bt]	1889	1890	1885	1873	-
	Pobór prądu / Rated current / Потр. ток, [A]	3,7	3,8	3,8	3,8	-
30	Współczynnik efektywności / COP / КПД	3,51	4,28	5,22	6,41	-
	Wydajność / Capacity / Производитель, [W] [Bt]	6127	7473	9123	11146	13614
	Moc / Power consumption / Потр.мощн. [W] [Bt]	2079	2080	2076	2064	2044
	Pobór prądu / Rated current / Потр. ток, [A]	4,0	4,1	4,2	4,2	4,2
35	Współczynnik efektywności / COP / КПД	2,95	3,59	4,39	5,40	6,66
	Wydajność / Capacity / Производитель, [W] [Bt]	5645	6901	8442	10338	12660
	Moc / Power consumption / Потр.мощн. [W] [Bt]	2310	2313	2309	2298	2279
	Pobór prądu / Rated current / Потр. ток, [A]	4,5	4,5	4,6	4,6	4,5
40	Współczynnik efektywności / COP / КПД	2,44	2,98	3,66	4,50	5,56
	Wydajność / Capacity / Производитель, [W] [Bt]	5192	6365	7805	9580	11762
	Moc / Power consumption / Потр.мощн. [W] [Bt]	2583	2587	2584	2574	2556
	Pobór prądu / Rated current / Потр. ток, [A]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
45	Współczynnik efektywności / COP / КПД	2,01	2,46	3,02	3,72	4,60

Z przedstawionych danych katalogowych wynika, że w zakresie temperatur odparowania ( $-15^{\circ}\text{C} \div +10^{\circ}\text{C}$ ) pobór prądu jest na tym samym poziomie, natomiast wydajność sprężarki wzrasta ze wzrostem temperatury, zatem współczynnik efektywności COP również proporcjonalnie jest większy dla wyższych temperatur. Z tego wynika, że należy dążyć do utrzymywania najwyższych możliwych wartości temperatury odparowania czynnika chłodniczego. Natomiast wzrost temperatury skraplania wywołuje znaczne spadki wartości współczynnika efektywności COP [6, 23].

### DOBÓR ŹRÓDŁA DOLNEGO

Sprawność pompy ciepła jest tym wyższa im mniejsza jest różnica temperatur źródła górnego i dolnego. Najefektywniejszym dolnym źródłem ciepła jest woda gruntowa, której temperatura, niezależnie od głębokości i pory roku, wynosi ok.  $10^{\circ}\text{C}$ . Jest to również rozwiązanie niedrogi inwestycyjnie, o ile lustro wody jest na poziomie nie głębszym niż 7 m, a studnie (czerpalna i zrzutowa) wiercone są na głębokość nie większą niż 15 m.

Najprostszym i najtańszym inwestycyjnie źródłem dolnym jest powietrze zasysane do pompy ciepła. Jednak w naszym klimacie zastosowanie powietrza zewnętrznego jako źródła ciepła do ogrzewania domu jest mało efektywne. W zimie sprawność takiego systemu, przy ujemnych temperaturach na zewnątrz, spada do wartości 2-3, jednocześnie maleje też moc grzewcza i pomieszczenia mogą być niedogrzone.

Ostatecznie pozostaje do wyboru **kolektor pionowy** lub **poziomowy** (płaski lub spiralny). Ten drugi jest tańszy, ale absorbuje dużą powierzchnię działki, dwa do czterech razy większą niż powierzchnia użytkowa domu.

Z uwagi na ograniczone możliwości zagospodarowania działki oraz niekorzystne warunki gruntowe (na głębokości  $1 \div 2$  m znajduje się piasek) zrezygnowano z wykonania dolnego źródła ciepła, jako kolektora poziomego. Z uwagi na wysokie koszty dodatkowe związane z określeniem wydajności ciepłej gruntu zrezygnowano z badania zdolności przekazywania ciepła przez sondy geotermalne.

Do doboru kolektora pionowego wykorzystano oprogramowanie **Energeo** dedykowane przez dostawcę sond wymiennika pionowego firmę Aspol.

Po wprowadzeniu parametrów pompy ciepła do programu doborowego źródła dolnego Energeo dla założonego współczynnika mocy ciepłej gruntu na poziomie **38 W/m** uzyskano wymaganą łączną długość wymiennika pionowego **186 m** przy zastosowaniu sond 2-rurowych wypełnionych 20% roztworem glikolu etylenowego. Zastosowano 3 sondy, po **62 m** podłączone do rozdzielacza ściennego umieszczonego w kotłowni, równoważonego hydraulicznie zaworami kulowymi [9,12].

### 3. PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ TESTOWYCH

W celu sprawdzenia poprawności doboru poszczególnych podzespołów pompy ciepła przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych.

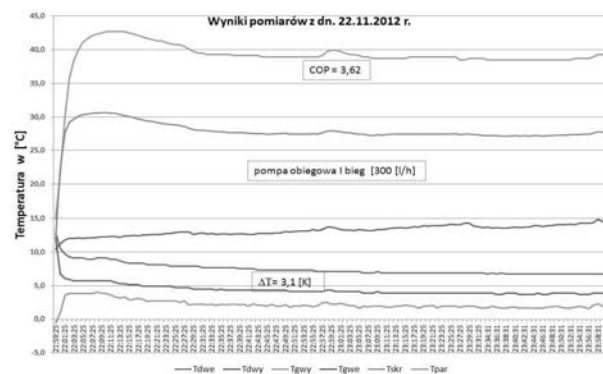
Po zmontowaniu stanowiska badawczego, napełniono obwód źródła dolnego roztworem glikolu etylenowego o stężeniu 20% z wykorzystaniem gotowego płynu o oznaczeniu Henock 20E15. Obwód źródła górnego został napełniony wodą. Po odpowietrzeniu poszczególnych obwodów, uruchomiono na czas 2 godzin pompy obiegowe źródła dolnego w celu uzyskania jednakowego stężenia płynu w całym obwodzie [13, 17].

Badania przeprowadzono w listopadzie i grudniu w sezonie grzewczym 2012/2013. Ze względów ekonomicznych badania eksperymentalne przeprowadzono w godzinach obowiązywania grupy taryfowej G12 tzw. taryfy nocnej.

W czasie badań dokonywano rejestracji podstawowych parametrów eksploatacyjnych, istotnych dla wyznaczenia bilansu energetycznego pompy ciepła.

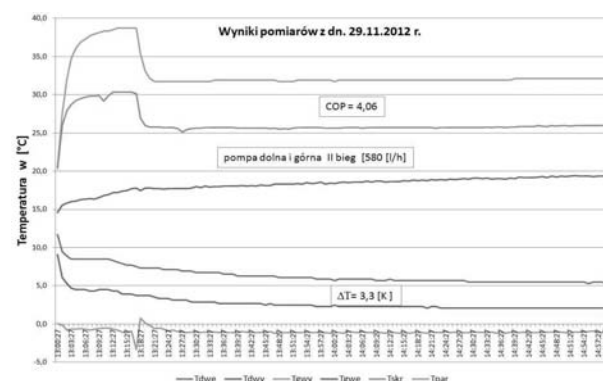
Symbolika przyjętych oznaczeń na wykresach:

- Tdwe – temperatura glikolu na wejściu ze źródła dolnego,
- Tdwy – temperatura glikolu na wyjściu z parownika,
- Tgwe – temperatura wody powrotnej z obiegu grzewczego,
- Tgwy – temperatura wody zasilającej obieg grzewczy,
- Tskr – temperatura skraplania czynnika chłodniczego,
- Tpar – temperatura parowania czynnika chłodniczego.



Rys. 3. Wykres zmian temperatur w obiegu podłogowym dla temperatury parowania na poziomie  $2^{\circ}\text{C}$

Fig. 3. Changes in the temperatures in the floor circuit for the evaporation temperature of  $2^{\circ}\text{C}$



Rys. 4. Wykres zmian temperatur w obiegu podłogowym dla temperatury parowania na poziomie  $-1^{\circ}\text{C}$

Fig. 4. Changes in the temperatures in the floor circuit for the evaporation temperature of  $-1^{\circ}\text{C}$

Z przedstawionych wykresów (rys. 3 i rys. 4) wynika, że dla stałej różnicy temperatur w obiegu glikolowym dolnego źródła ciepła dla ustawionej wyższej temperatury parowania spada zdolność odbioru mocy chłodniczej przez pompę ciepła.

Dodatkowo utrzymywanie wyższej wartości temperatury zasilania górnego źródła ciepła, spowodowało uzyskanie znacznie niższej wartości wskaźnika efektywności energetycznej.

Uzyskane dane pomiarowe dla rzeczywistego obiektu badań znacznie odbiegają od danych katalogowych podanych w tab. 1 dla zastosowanej sprężarki Sanyo.

#### 4. PODSUMOWANIE

Badania przeprowadzono w domku jednorodinnym, który nie jest jeszcze użytkowany. Ze względów czysto ekonomicznych w pomieszczeniach utrzymywano temperaturę na poziomie 16°C, wykorzystując do zasilania pompy ciepła wyłącznie taryfę nocną. W efekcie czego pompa ciepła w całym dotychczasowym zakresie badań nie pracowała w optymalnych warunkach pracy. Mimo to z przeprowadzonego wstępnego etapu badań, można wywnioskować, które parametry eksploatacyjne mają istotny wpływ na sprawność energetyczną pompy ciepła.

Wyznaczenie podstawowych zależności wpływu parametrów eksploatacyjnych pompy ciepła na wskaźnik efektywności energetycznej będzie możliwe po przeprowadzeniu badań w całym zakresie zmian parametrów eksploatacyjnych. Szczegółowa analiza uzyskanych wyników badań, pozwoli określić, który z podzespołów pompy ciepła znacząco ogranicza możliwość uzyskania wyższego współczynnika efektywności energetycznej. W efekcie czego możliwe będzie zweryfikowanie poprawności metodyki doboru poszczególnych podzespołów pompy ciepła.

#### LITERATURA

1. **Chochowski A., Czekalski D. 2005:** Badania eksploatacyjne hybrydowego systemu zasilania energią z wykorzystaniem układu archiwizacji, transmisji i przetwarzania danych. *Inżynieria Rolnicza*, Nr 14, Kraków, 45-53.
2. **Ciesielczyk W., Skoneczna J. 2009:** Analiza pracy pompy ciepła z czynnikiem roboczym R407C. *Wyd. Politechniki Krakowskiej, Zeszyt nr 4* 128-139.
3. **Jasiński B., Szreder M. 2008:** *Inżynieria mikroprocesorowych systemów monitorowania maszyn rolniczych. Wybrane zagadnienia mechaniki w budowie urządzeń technicznych.* Płock, 153-194.
4. **Horyński M. 2008:** Heating system control in an intelligent building. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 8, 83-88.
5. **Kapuściński J., Rodzoch A. 2010:** Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie – stan aktualny i perspektywy rozwoju. *Wyd. Borgis, Warszawa.*
6. **Knaga J. 2007:** Changeability of heat output of heat pump with scroll type compressor. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 7A, 41-45.
7. **Knaga J. 2008:** Energy efficiency of small compressor assisted air-water type heat pumps. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 8, 99-105.
8. **Kurpaska S. Latała H. 2006:** Analiza wydajności cieplnej gruntowego wymiennika ciepła w instalacjach wykorzystujących pompy ciepła. *Inżynieria Rolnicza*, Nr 6, Kraków, 251-259.
9. **Kurpaska S. Latała H. 2008:** Efektywność pracy pompy ciepła współpracującej z wymiennikami gruntowymi. *Inżynieria Rolnicza*, Nr 6, Kraków, 105-111.
10. **Kwaśniewski J. 2008:** Sterowniki PLC w praktyce inżynierskiej. *Wydawnictwo BTC.*
11. **Miara M. 2008:** Wyniki badań dolnych źródeł ciepła w pompach ciepła typu solanka/woda. *InstalReporter nr 6*, 11-14.
12. **Miara M. 2011:** Sprawność pomp ciepła w realnych warunkach użytkowania. *InstalReporter nr 2*, 12-16.
13. **Rubik M. 2006:** *Pompy ciepła – poradnik.* *Wyd. Ośr. Informacji „Technika Instalacyjna w budownictwie”, Warszawa.*
14. **Salat R., Korpysz K., Obstawski P. 2010:** Wstęp do programowania sterowników PLC. *Wydawnictwo WKiŁ.*
15. **Smuczyńska M. 2012:** Rynek pomp ciepła w Polsce. *Magazyn instalatora nr 11*, 31-33.
16. **Szreder M., Krzywosiński S. 2004:** Implementation of PID controller in the GE FANUC PLC. *V International Scientific Conference on „Microprocessor systems in agriculture”.* Płock, 201-205.
17. **Szreder M. 2012:** Hardware configuration of the Unifronics M90 controllers. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 12, 289-292.
18. **Zbrodowicz K., Dyakowski T. 1990:** *Pompy ciepła.* PWN, Warszawa.
19. [www.viessman.pl](http://www.viessman.pl). Pompy ciepła, Zeszyty fachowe.
20. [www.pompyciepła.danfoss.pl](http://www.pompyciepła.danfoss.pl). *Poradnik pomp ciepła Danfoss.*

#### THE SELECTION OF SUBASSEMBLIES FOR A GROUND SOURCE HEAT PUMP

**Summary.** The paper presents selected issues related to the design of a ground source heat pump based on published research results. In order to verify the adopted methodology of selection of the heat pump individual subassemblies experimental investigations were carried out on a test stand equipped with a ground source heat pump fitted with vertical collectors.

**Key words:** ground source heat pump, vertical collector, scroll compressor, evaporator, condenser, lower heat source, coefficient of performance.



## Modelowanie obciążenia bloku cylindrowego pompy wielotłoczkowej z wykorzystaniem programu fluent

Tadeusz Złoto, Damian Sochacki, Piotr Stryjewski

Instytut Technologii Mechanicznych Politechnika Częstochowska

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono model numeryczny obliczania ciśnienia w szczelinie klinowej rozrządu tarczowego pompy wielotłoczkowej osiowej z zastosowaniem pakietu CFD Fluent. Wykorzystując opracowany model wykonano analizę sił odciażających w zależności od zmiennego kąta pochylenia bloku cylindrowego.

**Słowa kluczowe:** pompa wielotłoczkowa, szczelina o zmiennej wysokości, siła hydrostatyczna odciażenia bloku cylindrowego

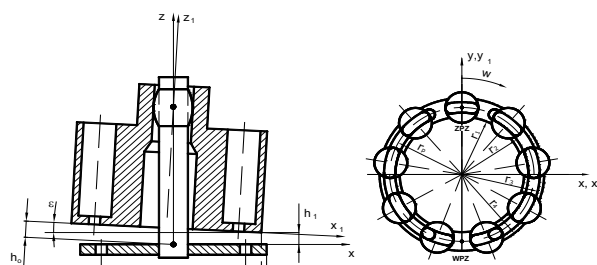
### WSTĘP

Pompy wielotłoczkowe, ze względu na możliwość pracy przy wysokich ciśnieniach a jednocześnie przy małych gabarytach znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu tj. lotnictwo, transport, przemysł ciężki [5, 6, 11, 12, 13]. Szeroki obszar zastosowań tego typu pomp wyporowych wymusza na producentach prowadzenie ciągłych prac badawczych i rozwojowych w kierunku poprawy sprawności oraz zwiększenia parametrów eksploatacyjnych tych maszyn [1, 2, 7, 14].

Znaczący wpływ na stratę energii w pompach wielotłoczkowych ma para kinematyczna blok cylindrowy – tarcza rozdzielacza związana z rozrządem cieczy roboczej. Jedną z przyczyn znaczących strat energii w tej parze jest niezrównoważenie momentów wypadkowych sił hydrostatycznych dociskających i odciażających bloku cylindrowego, w wyniku czego powstaje szczelina o zmiennej wysokości (rys.1) [2, 3, 8, 9, 10]. Powstanie szczeliny o zmiennej wysokości powoduje generowanie pików nadciśnienia i podciśnienia oleju oraz spadek sprawności wolumetrycznej pompy [4, 16, 17, 18].

W pracy zastosowano symulację numeryczną rozkładu ciśnienia oleju w szczelinie klinowej rozrządu tarczowego pompy wielotłoczkowej osiowej z wykorzystaniem pakietu CFD Fluent. Na bazie opracowanego modelu rozkładu ciśnienia oleju w szczelinie czołowej przeprowadzono

analizę sił odciażających bloku cylindrowego oraz współczynnika odciażenia w zależności od zmiennego kąta pochylenia bloku.

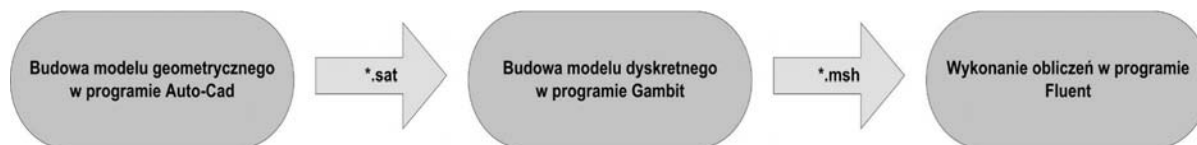


**Rys. 1.** Widok ukosowania bloku cylindrowego i powstanie szczeliny klinowej

**Fig. 1.** View of the cylinder block beveling and the formation of wedge gap

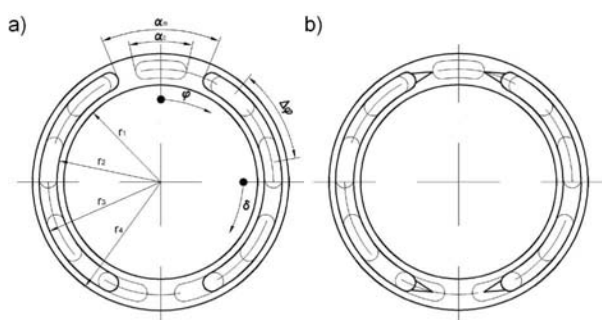
### MODELOWANIE ROZKŁADU CIŚNIENIA OLEJU I SIŁY ODCIAŻAJĄCEJ W SZCELINIE KLINOWEJ ROZRZĄDU TARCZOWEGO Z WYKORZYSTANIEM PAKIETU CFD FLUENT

Utrudniona dostępność do strefy rozrządu pompy wielotłoczkowej oraz bardzo mała wysokość szczeliny klinowej nie przekraczająca  $65\mu\text{m}$  [9] sprawia, że badania zjawisk zachodzących w szczelinie są utrudnione. Z tych powodów do badania zjawisk zachodzących w strefie rozrządu pompy wielotłoczkowej stosuje się symulacje numeryczne. Symulacje numeryczne zjawisk zachodzących w strefie rozrządu pompy przeprowadzono na modelu szczeliny klinowej, którego opracowano w pakiecie CFD Fluent. Poszczególne etapy budowy modelu obliczeniowego dla szczeliny klinowej w pakiecie CFD Fluent przedstawiono na rysunek 2.



**Rys. 2.** Etapy budowy modelu obliczeniowego dla szczeliny klinowej w pakiecie CFD Fluent  
**Fig. 2.** Stages of construction of the calculation model for the wedge gap in Fluent CFD package

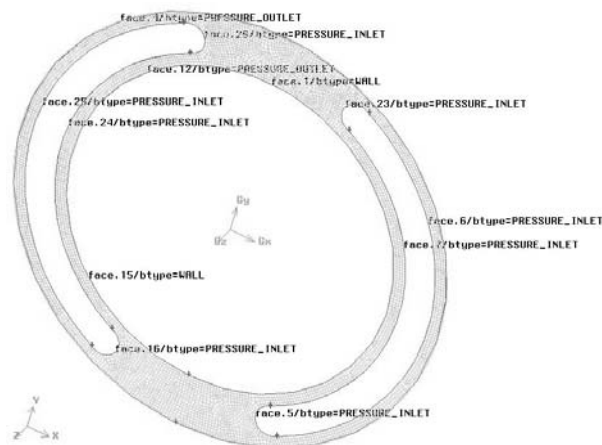
Geometrię szczeliny klinowej wykonano w programie Auto-Cad dla dwóch odmian konstrukcyjnych tarczy rozdzielacza z przykryciem dodatnim i tarczy rozdzielacza z rowkami odciążającym (rys.3). Do badań wykorzystano tarcze rozdzielacza o następujących wymiarach promieni charakterystycznych:  $r_1 = 0,0284\text{m}$ ,  $r_2 = 0,0304\text{m}$ ,  $r_3 = 0,0356\text{m}$ ,  $r_4 = 0,0376\text{m}$  i kącie rozwarcia  $\alpha_m$  stref przejściowych równych  $45^\circ$ .



**Rys. 3.** Odmiany konstrukcyjne tarczy rozdzielacza a) z przykryciem dodatnim b) z rowkami odciążającymi

**Fig. 3.** Design options for distributor shield a) with a positive cover b) with relieving grooves

Na opracowanej geometrii szczeliny klinowej naniesiono siatkę numeryczną wygenerowaną automatycznie w programie Gambit. Siatka składa się z komórek objętościowych typu Hex/Wedge najbardziej przystosowanych do kształtu szczeliny. Ponadto w programie Gambit określono obszary warunków brzegowych, które przedstawiono na rysunku 4.



**Rys. 4.** Siatka numeryczna z zaznaczonymi obszarami warunków brzegowych

**Fig. 4.** Numerical grid with marked areas of boundary conditions

Ostatnim etapem tworzenia modelu numerycznego dla szczeliny klinowej rozrzędu tarczowego jest wczytanie

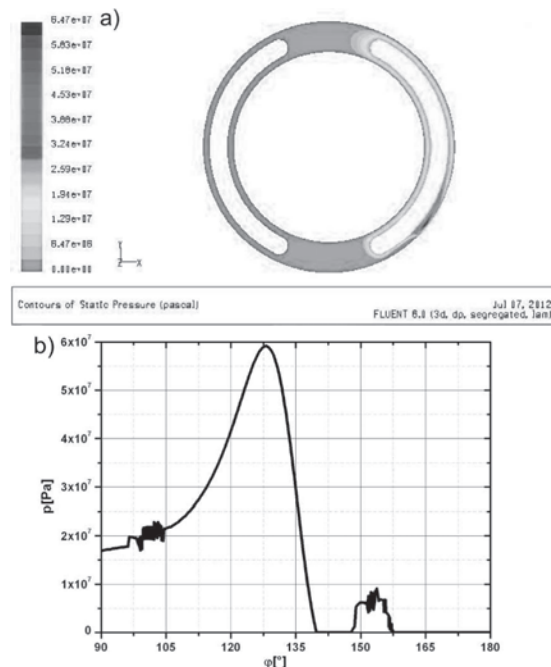
siatki numerycznej z wyznaczonymi obszarami warunków brzegowych do programu Fluent, gdzie określano wartości ciśnienia oleju na obszarach brzegowych i przeprowadzono symulacje rozkładu ciśnienia oleju.

W opracowanym modelu przyjęto następujące założenia:

- przepływ w szczelinie jest laminarny,
- powierzchniowo współpracujące są sztywne i nie odkształcają się,
- szczelina rozrzędu tarczowego w pełni wypełniona jest olejem,
- naprężenia styczne w cieczy podlegają prawu Newtona,
- ciecz jest nieściśliwa,
- stała lepkość oleju podczas obliczeń.

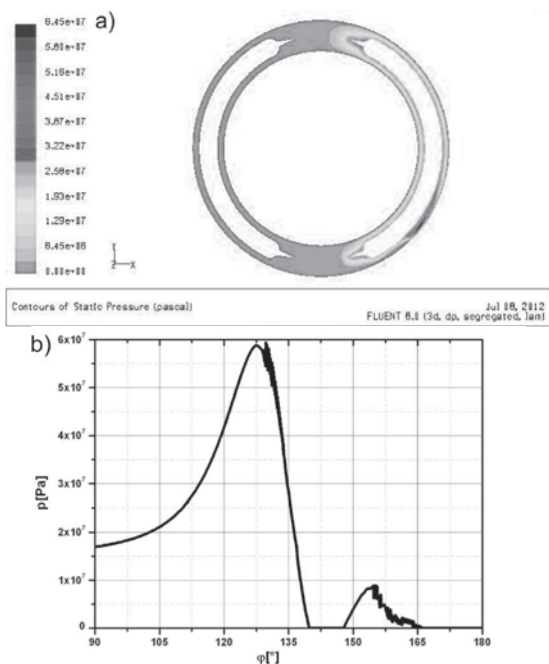
Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono warstwiczne zmiany ciśnienia i ciśnienia w określonych przekrojach obwodowych w otoczeniu najmniejszej wysokości szczeliny klinowej na tarczy rozdzielacza dla przekrycia dodatniego i z rowkami odciążającymi uzyskane w CFD Fluent.

Z rysunków 5b i 6b wynika, że na tarczy rozdzielacza występuje podciśnienie, któremu najczęściej towarzyszy niekorzystne zjawisko kawitacji.



**Rys. 5.** Rozkłady ciśnienia oleju na tarczy rozdzielacza z przekryciem dodatnim: a) warstwiczne zmiany ciśnienia, b) przebieg ciśnienia w przekroju obwodowym na tarczy rozdzielacza na promieniu  $r=0,0366\text{m}$  w otoczeniu minimalnej wysokości szczeliny

**Fig. 5.** Oil pressure distributions on the distributor shield with a positive cover: a) contour changes in pressure, b) course of pressure in circumferential cross-section on the face of the distributor on the radius  $r = 0.0366\text{m}$  in the vicinity of the minimum gap height



**Rys. 6.** Rozkłady ciśnienia oleju na tarczy rozdzielacza z rowkami odciążającymi: a) warstwicowe zmiany ciśnienia, b) przebieg ciśnienia w przekroju obwodowym na tarczy rozdzielacza na promieniu  $r=0.0366\text{m}$  w otoczeniu minimalnej wysokości szczeliny

**Fig. 6.** Oil pressure distributions on the distributor shield with relieving grooves: a), contour changes in pressure, b) course of pressure in circumferential cross-section on the face of the distributor on the radius  $r = 0.0366\text{m}$  in the vicinity of the minimum gap height

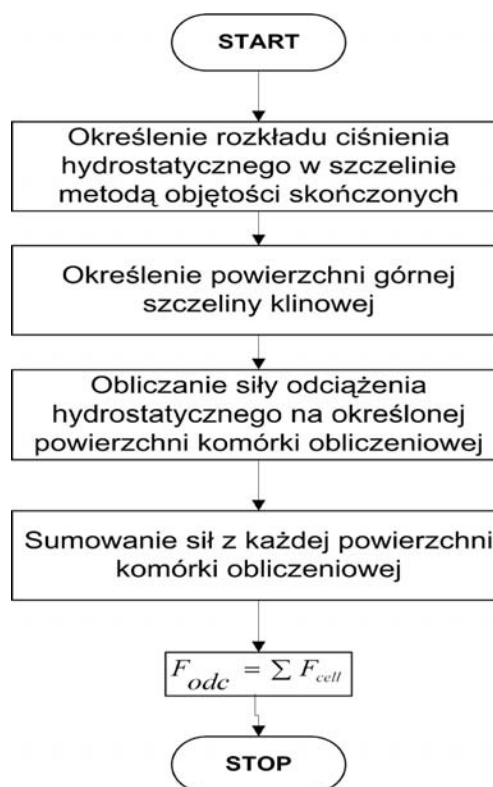
Dokładność wyników z przeprowadzonych symulacji rozkładu ciśnienia oleju w szczelinie klinowej zależy od przyjętej liczby objętości skończonych w metodzie numerycznej. Jednakże, zbyt duża liczba elementów powoduje wydłużenie czasu obliczeń. Dlatego ważne jest przyjęcie optymalnej liczby objętości skończonych zapewniającej w miarę dokładne wyniki przy jednocześnie możliwie jak najkrótszym czasie obliczeń. W tym celu obliczono wartości względne różnicy ciśnień maksymalnych oleju uzyskane dla czterech poziomów liczb objętości skończonych zamieszczonych w tabeli 1.

Z obliczeń wartości względnych wynika, że w przypadku modelu dla szczeliny klinowej dla tarczy rozdzielacza z przykryciem dodatnim maleją one od około 41% do około 4.7%, natomiast dla tarczy z rowkami odciążającymi maleją

od około 40% do około 5%. Kolejny piąty poziom rozmiaru siatki powiększony ośmio krotnie spowodowałby znacznie zwiększenie czasu obliczeń i zużycie zasobów komputera nie poprawiając znacząco wyników.

Program CFD Fluent posiada rozszerzenie w postaci funkcji użytkownika (UDF – User Defined Function), które tworzy się w języku programowania C. Rozszerzenie to umożliwia dostosowanie Fluentu do specjalnych potrzeb użytkownika. W przypadku modelu obliczeniowego dla szczeliny klinowej funkcje UDF zastosowano do wyznaczenia sił odciążających z rozkładu ciśnienia oleju, poprzez sumę sił z iloczynu pola powierzchni płaszczyzny komórki siatki numerycznej i ciśnienia działającego na tą płaszczyznę.

Na rysunku 7 zobrazowano algorytm obliczania siły odciążającej z rozkładu ciśnienia oleju w szczelinie klinowej.



**Rys. 7.** Algorytm obliczania siły odciążającej z rozkładu ciśnienia oleju w szczelinie klinowej z wykorzystaniem funkcji UDF

**Fig. 7.** The algorithm for calculating the relief force from the oil pressure distribution in the wedge gap using the UDF function

**Tabela 1.** Wartości względne różnicy ciśnień maksymalnych oleju uzyskane z poszczególnych poziomów liczb komórek obliczeniowych Hex/Wedge dla dwóch odmian konstrukcyjnych tarczy rozdzielacza

**Table 1.** The relative values of maximum pressures difference of oil obtained from different levels of the Hex / Wedge calculating cells numbers for structural two varieties of distributor shield

Lp.	Tarcza z przykryciem dodatnim/ Shield with a positive cover			Tarcza z rowkami odciążającymi/ Shield with relieving grooves		
	liczby komórek HEX/Wedge	Ciśnienia maksymalne $p_{max}$ [Pa]	Wartości względne[%]	liczby komórek HEX/Wedge	Ciśnienia maksymalne $p_{max}$ [Pa]	Wartości względne [%]
1	1076	36786552	41.4	1093	37422828	40.5
2	8608	52015804		8744	52579108	
3	68864	61850624	4.65	69952	61318184	16.62
4	550912	64726616		559616	64408660	

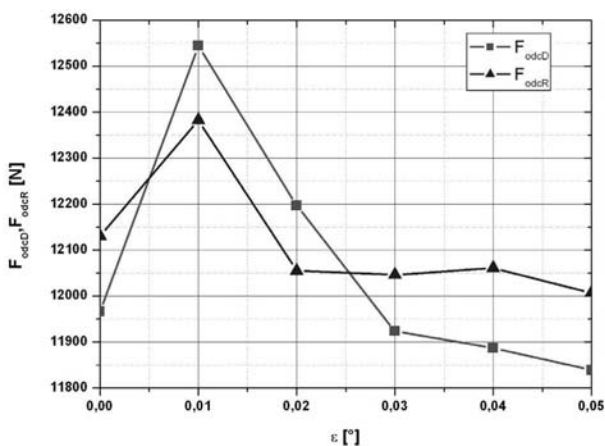
## ODCIĄŻENIE BLOKU CYLINDROWEGO POMPY

Wykorzystując opracowany model numeryczny dokonano analizy sił odciążających bloku cylindrowego od tarczy rozdzielacza oraz współczynników odciążenia  $K$  w zależności od kąta  $\varepsilon$  pochylenia bloku dla dwóch odmian konstrukcyjnych tarczy rozdzielacza z przykryciem dodatnim i z rowkami odciążającymi.

W opracowanym modelu obliczeniowym przyjęto następujące dane:

- w obszarze nerki tłocznej ciśnienie  $p_t = 32$  MPa,
- w obszarze nerki ssawnej ciśnienie  $p_s = 0,1$  MPa,
- na zewnątrz i wewnątrz tarczy rozdzielacza ciśnienie  $p_o = 0$  MPa,
- prędkość kątowna bloku cylindrowego  $\omega = 157$  rad/s,
- współczynnik lepkości dynamicznej oleju  $\eta = 0,0258$  Pas,
- kąt położenia  $\delta = 0,785$  rad względem osi  $x$  najmniejszej wysokości  $h_1$  szczeliny klinowej,
- kąt pochylenia bloku cylindrowego względem tarczy rozdzielacza  $\varepsilon = 0,000523$  rad,
- minimalna wysokość szczeliny  $h_1 = 0,3 \times 10^{-6}$  m,
- promienie charakterystyczne tarczy rozdzielacza przykładowej pompy wynoszą:  $r_1 = 0,0284$  m,  $r_2 = 0,0304$  m,  $r_3 = 0,0356$  m i  $r_4 = 0,0376$  m.

Na rysunku 8 przedstawiono wartości hydrostatycznych sił odciążających bloku cylindrowego  $F_{odc}$  dla dwóch odmian konstrukcyjnych tarczy rozdzielacza w zależności od kąta  $\varepsilon$  pochylenia bloku cylindrowego.

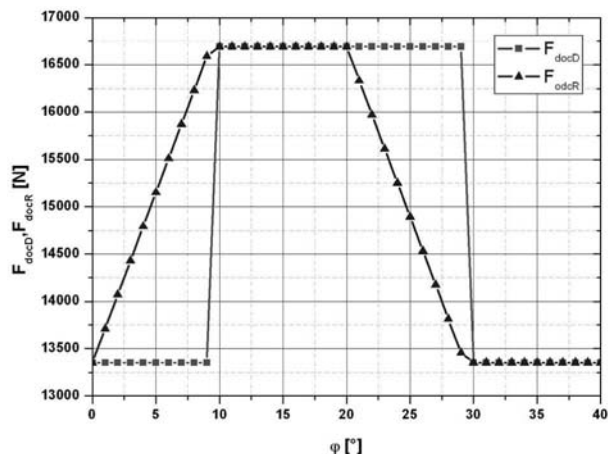


**Rys. 8.** Wartości hydrostatycznych sił odciążających w funkcji kąta  $\varepsilon$  pochylenia bloku cylindrowego dla odmian tarczy rozdzielacza z przykryciem dodatnim  $F_{odcD}$  i z rowkami odciążającymi  $F_{odcR}$  z wykorzystaniem CFD Fluent

**Fig. 8.** Values of hydrostatic relief forces as a function of the angle  $\varepsilon$  of inclination of the cylinder block for varieties of distributor shield  $F_{odcD}$  with a positive cover and  $F_{odcR}$  with relieving grooves using CFD Fluent

Zauważa się, że dla kąta  $\varepsilon = 0,01$  [°] zaobserwowano największe wartości sił odciążających dla każdej odmiany konstrukcyjnej tarczy rozdzielacza.

Natomiast na rysunku 9 przedstawiono hydrostatyczne siły dociskające blok cylindrowy do tarczy rozdzielacza w zależności od kąta  $\varphi$  obrotu bloku cylindrowego, a które zostały zaczerpnięte z literatury [15].



**Rys. 9.** Wartości sił hydrostatycznych dociskających blok cylindrowy do tarczy rozdzielacza dla odmiany konstrukcyjnej tarczy rozdzielacza z przykryciem dodatnim i z rowkami odciążającymi [15]

**Fig. 9.** The hydrostatic forces values pressing the cylinder block to distributor shield for the structural varieties of distributor shield with a positive cover and relieving grooves

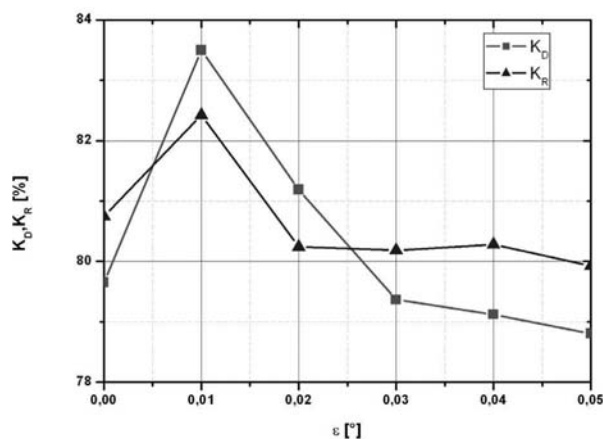
Średnią hydrostatyczną siłą dociskającą blok cylindrowy do tarczy rozdzielacza obliczono z następującej zależności:

$$F_{docsr} = \frac{\int_0^{40} F_{doc} d\varphi}{40} \quad (1)$$

Następnie obliczono współczynnik odciążenia bloku cylindrowego według następującej zależności:

$$K = \frac{F_{odc}}{F_{docsr}} * 100\% \quad (2)$$

Wyniki obliczeń współczynników odciążenia bloku cylindrowego przedstawiono na rysunku 10.



**Rys. 10.** Wartości współczynników odciążenia  $K$  w funkcji kąta  $\varepsilon$  pochylenia bloku cylindrowego dla tarcz rozdzielacza z przykryciem dodatnim  $K_D$  i z rowkami odciążającymi  $K_R$

**Fig. 10.** The values of relief factors  $K$  as a function of the inclination angle  $\varepsilon$  of the cylinder block for distributor shields with positive covers  $K_D$  and relieving grooves  $K_R$

Zauważa się, że dla kąta  $\varepsilon = 0,01$  [°] pochylenia bloku cylindrowego występują największe współczynniki odciążenia bloku dla każdej odmiany konstrukcyjnej tarczy

rozdzielacza. Ten zauważalny wzrost współczynników odciażenia można wytłumaczyć pojawianiem się pików nadciśnienia przy tej wartości kąta pochylenia bloku cylindrowego.

#### WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Opracowany model numeryczny w pakiecie CFD Fluent umożliwia symulację rozkładu ciśnienia oleju w szczelinie klinowej rozrządu tarczowego pompy wielotłoczkowej oraz analizę sił odciażających.
2. Wartości sił odciażających w znacznej mierze zależą od kąta pochylenia bloku cylindrowego.
3. W badanym modelu pompy wielotłoczkowej osiowej występuje niski współczynnik odciażenia bloku cylindrowego (79-84 %) co może być przyczyną znacznych strat energetycznych.

#### LITERATURA

1. **Ivantysyn J., Ivantysynova M., 2001:** Hydrostatic Pumps and Motors. Akademia Books International. New Delhi.
2. **Jang D.S., 1997:** Verlustanalyse an Axialkolbenheiten. Dissertation. RWTH, Aachen.
3. **Kaczmarek R., Rutański J., 1982:** Pompy wielotłoczkowe osiowe. Pomiar grubości szczeliny w rozdzielaczu z wykorzystaniem indukcyjnych czujników pomiarowych. Przegląd Mechaniczny nr 23–24.
4. **Kondakow L. A., 1975:** Uszczelnienia układów hydraulicznych. WNT, Warszawa.
5. **Murrenhoff H., 2005:** Grundlagen der Fluidtechnik. Teil 1: Hydraulik, Shaker Verlag, Aachen.
6. **Osiecki A., 1998:** Hydrostatyczny napęd maszyn. WNT, Warszawa.
7. **Osiecki A., Osiecki L., 1998:** Prace rozwojowe nad nową konstrukcją pomp wielotłoczkowych osiowych. Hydraulika i Pneumatyka Nr 4, s. 4-9.
8. **Pasynkov R.M., 1965:** K razcietu torcowych razpriedielitielei aksialno-porszniewych nasosow. Viestnik Maszinstrojenia Nr 1, 22-26.
9. **Pasynkov R.M., 1976:** Wlijanie pieriekosa cilindrowowo bloka na rabotu tarcowowo razpriedielitielea aksialno-porszniewoj gidromasziny. Viestnik Maszinstrojenia Nr 10, 49-50.
10. **Podolski M. E., 1981:** Upornyje podszzipniki skolżenia, Leningrad.
11. **Ryzhakov A., Nikolenko I., Dreszer K., 2009:** Selection of discretely adjustable pump parameters for hydraulic drives of mobile equipment. Polska Akademia Nauk, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Tom IX, s. 267-276, Lublin.
12. **Szydelski Z., Olechowicz J., 1986:** Elementy napędu i sterowania hydraulicznego i pneumatycznego. PWN, Warszawa.
13. **Stryczek S., 1995:** Napęd Hydrostatyczny, Tom 1. WNT, Warszawa.
14. **Zhang Y., 2000:** Verbesserung des Anlauf- und Langsamlaufverhaltens eines Axialkolbenmotors in Schrägscheibenbauweise durch konstruktive und materialtechnische Maßnahmen. Dissertation RWTH, Aachen.
15. **Złoto T., 2007:** Modelowanie odciażenia hydrostatycznego i analiza zjawisk przepływowych w szczelinie rozrządu tarczowego pompy wielotłoczkowej. Seria monografie 133. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
16. **Złoto T., 2009:** Modeling the pressure distrybution of oil film in the variable height gap between the valve plate and cylinder block in the axial piston pump. Polska Akademia Nauk, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki, Vol. V, nr 7, 418-430.
17. **Złoto T., Sochacki D., 2010:** Pressure Distributions in Oil Film Between the Cylinder Block and Valve Plate in the Piston Pump. 6th FPNI – PhD Symposium West Lafayette 2010. West Lafayette, USA.
18. **Złoto T., Sochacki D., 2011:** Oil Leakage in a Variable-Height Gap Between the Cylinder Block and the Valve Plate in a Piston Pump. Polska Akademia Nauk, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki, Vol. V, nr 11c, 353-360.

#### MODELLING OF HYDROSTATIC RELIEF OF THE CYLINDER BLOCK IN AN AXIAL PISTON PUMP WITH THE USE OF THE FLUENT SOFTWARE

**Summary.** The paper presents the numerical model for calculating the pressure in a variable-height gap between the cylinder block and the valve plate in an axial piston pump. This numerical model was created in CFD Fluent software. The same numerical model was used to analysis of hydrostatatic relief of the cylinder block. The analysis was performed as a function of the inclination angle of the cylinder block.

**Key words:** Piston pump, variable-height gap, hydrostatic relief force of the cylinder block.





## Wpływ wybranych czynników środowiska na biodegradację produktów wykonanych z różnych materiałów biodegradowalnych

*Tomasz Żelaziński, Kesja Chabiera, Jacek Słoma*

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,  
Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji,  
ul. Nowoursynowska 164 b.17, 02-787 Warszawa,  
e-mail: tomasz\_zelazinski@sggw.pl, jacek\_sloma@sggw.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań degradacji kilku przykładowych wyrobów wykonanych z materiałów opisywanych w literaturze naukowej lub fachowej jako biodegradowalne oraz w celach porównawczych materiału trudno biodegradowalnego. Próbkę wyrobów eksponowano w ciągu 15 dni na działanie wody i gleby oraz światła w komorze świetlnej. W trakcie eksperymentu badano właściwości mechaniczne oraz rejestrowano zmiany barwy próbek naświetlanych.

**Słowa kluczowe:** materiał biodegradowalny, skrobia termoplastyczna TPS, poli(laktyd) PLA, poli(uretan) PUR, celuloza, fotodegradacja.

nych przez nie enzymów, temperatura, naświetlenie, wilgotność, dostęp tlenu, kwasowość pH itp. Należy również zaznaczyć, że dotychczasowe prace przedstawiają rozbieżne wyniki dotyczące szybkości rozkładu. Można to uzasadnić liczbą niezależnych czynników mających wpływ na proces destrukcji materiału. Biorąc pod uwagę powyższe, istnieje potrzeba badań produktów uznawanych za biodegradowalne w celu sprecyzowania czasu rozkładu w różnych warunkach środowiskowych.

### CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem pracy była ocena wpływu wybranych czynników środowiska na degradację kilku produktów wykonanych z różnych materiałów biodegradowalnych oraz porównawczo z materiału trudno biodegradowalnego.

Zakres pracy obejmował:

1. Badanie właściwości mechanicznych analizowanych wyrobów (materiałów) w trakcie procesu degradacji będącego efektem działania wody, gleby oraz naświetlania.
2. Rejestrowanie barwy eksponowanych na działanie światła materiałów.

### MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Badano próbki produktów wykonanych z materiałów opisywanych w literaturze naukowej lub fachowej jako biodegradowalne z wyjątkiem pianki poli(uretanowej), którą traktowano jako materiał porównawczy o podwyższonej odporności mikrobiologicznej [1]. Większość wyrobów zakupiono na rynku lokalnym, jeden wytworzono w Laboratorium Ekstruzji Katedry Organizacji i Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie. Badano próbki pobrane z wymienionych dalej wyrobów. Nóż (sztuciec) formowany

### WPROWADZENIE

Biodegradacja to zjawisko biochemicznego rozkładu związków wielkocząsteczkowych (organicznych) na związki proste (organiczne i nieorganiczne) w wyniku działania mikroorganizmów, światła, wody, tlenu zawartego w powietrzu i innych czynników [4, 12, 14]. Produkty biodegradowalne wykonane są z materiałów ulegających biodegradacji. Według Żakowskiej [Żakowska 2009], materiał uznaje się za biodegradowalny, jeżeli w ciągu 180 dni więcej niż 90% jego masy ulegnie biodegradacji, całość zaś rozłoży się maksymalnie w ciągu roku. Należy zaznaczyć, że ocena biodegradowalności powinna dotyczyć materiału biodegradowalnego jako całości oraz każdego jego istotnego składnika, którego masa przekracza 1% całkowitej masy materiału. Na szybkość biodegradacji ma wpływ szereg czynników opisywanych przez wielu autorów [5, 6, 11]. Według Kowalczyka [6] czas biodegradacji może zależeć od rodzaju tworzywa, użytych mikroorganizmów oraz warunków środowiskowych. Na szybkość procesu mogą mieć zatem wpływ takie czynniki jak: skład chemiczny tworzywa, długość łańcucha polimerowego (ciężar cząsteczkowy), posiadane właściwości hydrofobowe lub hydrofilowe, rodzaj mikroorganizmów (bakterie, grzyby itp.) oraz wytwarza-

poprzez wyciskanie z granulatu skrobi termoplastycznej TPS uzyskanej poprzez plastyfikację ciśnieniową (ekstruzję) w obecności plastyfikatora [2, 10, 11]. Naczynie do wysiewania kielków w warunkach domowych „kielkownica/kielkownik” formowane metodą wytłaczania próżniowego z folii poli(laktydowej) PLA – poli(kwas mlekowy). Polilaktyd otrzymany poprzez bezpośrednią polikondensację kwasu mlekowego uznawany jest wg danych literaturowych za materiał w 100% biodegradowalny [15]. Doniczka torfowo-celulozowa formowana poprzez prasowanie. W skład tego wyrobu wchodzi około 50% torfu i 50% pulpy drzewnej z niewielkim dodatkiem wapna jako regulatora kwasowości (poziomu pH). Wypełniacz opakowań stosowany w transporcie produktów narażonych na wstrząsy. Wypełniacz wykonany ze spienionego poli(uretanu) PUR traktowany jako materiał porównawczy dla wypełniacza wykonanego z ekstrudowanej kaszki kukurydzianej (skrobia niemodyfikowana). Wypełniacz kukurydziany wyprodukowano we własnym Laboratorium Ekstruzji na ekstruderze jednoślakowym typu KZM – 2. Użyto kaszki kukurydzianej o granulacji 0,025-0,075 mm, którą ekstrudowano w temperaturze 125-130°C [3, 9].

W celu uproszczenia identyfikacji obiektów badań oznaczono je w następujący sposób: nóż – N; kielkownica – K; doniczka – D; wypełniacz poli(uretanowy) – S; wypełniacz kukurydziany – Ch.

Podczas całego cyklu badawczego przeprowadzono następujące eksperymenty: ekspozycja próbek materiałów w środowisku wodnym (woda destylowana) oraz w środowisku gleby (próbka gleby gliniasto-piaszczystej pobrana z pola doświadczalnego SGGW o kwasowości pH=7 i wilgotności 31% utrzymywanej podczas całego eksperymentu) a także fotodegradacji [12] poprzez naświetlanie w komorze świetlnej. Naświetlania przeprowadzono w bezcieniowej komorze świetlnej oświetlonej świetłówkami światła dziennego firmy Philips TL-D De Luxe Pro 18W/965 o temperaturze barwowej 6500K. Natężenie oświetlenia wynosiło 8000 Lux, zaś temperatura w komorze 30°C. Próbkę w komorze sfotografowano w chwili startu eksperymentu oraz po 1, 7, 10 i 15 dni naświetlania. Zdjęcia wykonywano za pomocą kamery CCD KP-FD30 firmy HITACHI. Analizę barwy uzyskanych zdjęć w systemie Photoshop L\*, a\*, b\* (kanał L\* opisuje jasność produktu a kanały a\* i b\* barwę, z tym, że kanał a\* opisuje współrzędne barwy od zielonej do czerwonej, natomiast kanał b\* barwę od niebieskiej do żółtej) przeprowadzono za pomocą oprogramowania Adobe PhotoShop 10 z wykorzystaniem funkcji histogram [8]. Naświetlane przez 15 dni próbki poddano badaniom właściwości mechanicznych.

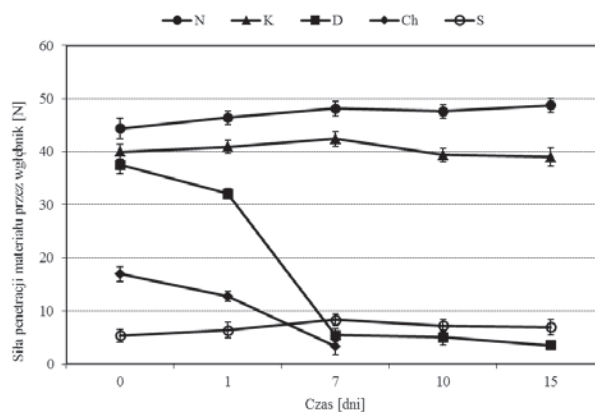
Właściwości mechaniczne badano wciskając w materiał (w osi prostopadłej do powierzchni) węgelnik stalowy o kształcie stożka (kąt wierzchołkowy 45°) uzyskując z góry założoną stałą wartość zagłębienia, przy której odnotowywano wartość maksymalnej siły penetracji. Badania przeprowadzono na stanowisku wyposażonym w siłomierz firmy AXIS o dopuszczalnej sile nacisku 50 i 200N, statyw śrubowy oraz linią elektroniczną. Dane pomiarowe rejestrowano za pomocą oprogramowania AXISFM. Badania mechaniczne prowadzono przed ekspozycją w danych warunkach śro-

dowiskowych oraz w 1, 7, 10 i 15 dniu eksperymentu (próbki naświetlane wyłącznie przed i po eksperymencie).

## WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że rozpatrywane czynniki środowiskowe wyraźnie wpływają na właściwości badanych próbek materiałów. W przypadku produktu skrobiowego (Ch) i torfowo-celulozowego (D) wyraźne zmiany można zaobserwować już po pierwszych dniach badań. W przypadku produktów ze skrobi termoplastycznej TPS (N), polilaktydu PLA (K) oraz tworzywa syntetycznego PUR (S) zmiany były mniej widoczne.

Na rysunku 1 przedstawiono zmiany właściwości mechanicznych produktów po przebywaniu w glebie. Stwierdzono, że właściwości wypełniacza Ch wraz ze wzrostem czasu ekspozycji gwałtownie zmniejszały się, a po 7 dniach eksperymentu uległ on całkowitej degradacji. Podobnie intensywne zmiany właściwości zaobserwowano dla doniczki (D), choć w tym przypadku, do końca eksperymentu, materiał zachował jeszcze znikomą część swoich pierwotnych właściwości wytrzymałościowych. Próbkę z TPS (N), PLA (K) i PUR (S) do końca eksperymentu nie wykazały znaczących zmian lub zaobserwowane zmiany były niewielkie.



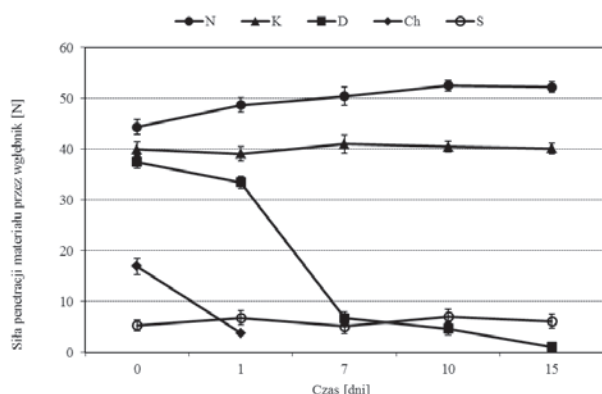
Rys. 1. Właściwości mechaniczne próbek poddanych degradacji w glebie

Fig. 1. The mechanical properties of samples of soil degradation

Analizując wykres przedstawiony na rysunku 2 można stwierdzić, że charakter zmian siły penetracji jest podobny jak w przypadku wcześniejszego wykresu (Rys. 1). Uwidacznia się wyraźny wpływ środowiska wodnego na produkt kukurydziany Ch, który po upływie 1 doby całkowicie uległ rozkładowi. W przypadku produktu N obserwowano niewielki wzrost właściwości z przyrostem czasu ekspozycji. Jest to wynik niespodziewany, gdyż regułą jest wzrost plastyczności i spadek wytrzymałości skrobi termoplastycznej degradowanej w wodzie [7]. Wyjaśnienie tego zjawiska wymaga dalszych wnikliwych badań.

Rysunki 3, 4 i 5 przedstawiają wykresy zmian barwy w systemie L\*, a\*, b\* produktów pod wpływem ich naświetlania. W badaniach zmian barwy nie uwzględniono naczyńia K z PLA, ponieważ zastosowana metodyka wprowadza duży błąd pomiarowy dla produktów przezroczystych.

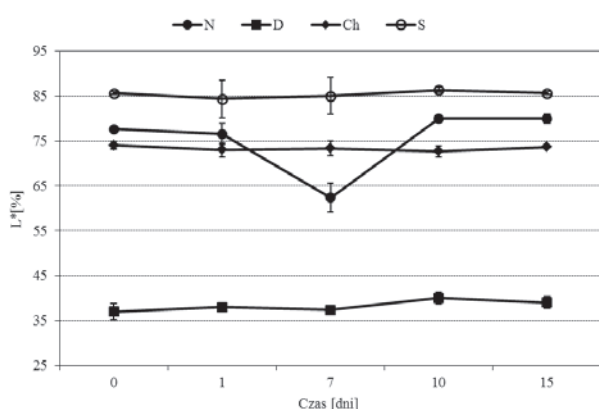




Rys. 2. Właściwości mechaniczne próbek poddanych degradacji w wodzie

Fig. 2. The mechanical properties of samples of water degradation

Analizując składową L\* barwy (rys. 3) stwierdzono brak wyraźnej zmiany jasności wszystkich analizowanych próbek z wyjątkiem zmiany jasności produktu N ze skrobi termoplastycznej. Obniżenie wartości tego parametru w okolicach 7 dnia eksperymentu a następnie powrót jego wartości do poziomu początkowego może świadczyć o zachodzącej fotoreakcji chemicznej bądź strukturalnej polimeru lub innego komponentu wchodzącego w skład materiału, która przebiegała po okresie inkubacji i zakończyła się z powodu wyczerpania substratów (zaszła do końca).

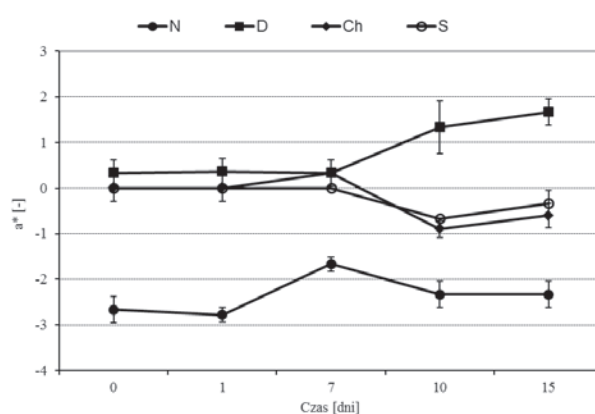


Rys. 3. Zmiany składowej L\* barwy próbek poddanych fotodegradacji

Fig. 3. Changes in L\* component of the colour of samples subjected to photodegradation

Na wykresie składowej a\* barwy (rys. 4) obserwowano radykalną zmianę wartości począwszy od 7 dnia naświetlania. Zmiany tej wartości sugerują początek i propagację przemian fazowych lub/i strukturalnych składników materiału, a co za tym idzie procesu fotodegradacji. W przypadku próbki N obserwujemy krótkotrwały wzrost wartości składowej a\* w okolicach 7 dnia eksperymentu, po czym wartość stabilizuje się na poziomie zbliżonym do początkowego. Koresponduje to ze zmianami parametru L\* dla tego wyrobu (rys. 3). Produkty N i D zmieniały barwę w kierunku koloru czerwonego natomiast produkty Ch i S w kierunku koloru zielonego.

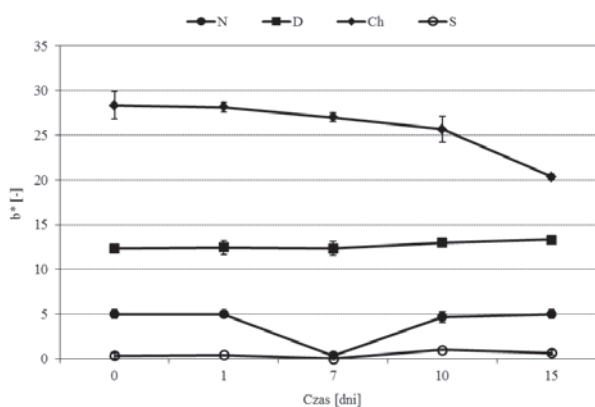
Analiza składowej b\* barwy (rys. 5) wskazuje, że produkty D i S charakteryzuje niewielka zmienność, natomiast



Rys. 4. Zmiany składowej a\* barwy próbek poddanych fotodegradacji

Fig. 4. Changes in a\* component of the colour of samples subjected to photodegradation

wyraźnej zmianie barwy uległ produkt Ch. Wartości składowej dla tego produktu sukcesywnie zmniejszała się, co świadczy, że produkt zmieniał barwę w kierunku koloru żółtego. Zmiany składowej b\* dla produktu N ma taki sam charakter jak zmiany pozostałych składowych barwy.



Rys. 5. Zmiany składowej b\* barwy próbek poddanych fotodegradacji

Fig. 5. Changes in b\* component of the colour of samples subjected to photodegradation

Próbki po naświetlaniu poddano również ocenie zmian właściwości mechanicznych. Wyniki zestawiano w formie tabelarycznej (tab. 1).

Tabela 1. Zmiany właściwości mechanicznych próbek poddanych fotodegradacji

Table 1. Changes in the mechanical properties of the samples subjected to photodegradation

	N [N]	D [N]	Ch [N]	S [N]
Próbka w stanie wyjściowym				
średnia	44,34	37,51	16,93	5,33
odchyl. stand.	4,23	2,14	2,12	0,7
Próbka po upływie 15 dni				
średnia	180,23	19,06	16,53	6,33
odchyl. stand.	8,81	2,11	1,8	1,1

Analizując wartości w tabeli 1 można stwierdzić, że w przypadku produktu ze skrobi kukurydzianej (Ch) i spie-

nionego poli(uretanu) (S) nie odnotowano znaczących różnic przed i po eksperymencie. Materiał doniczki (D) wykazał wyraźny spadek wartości siły penetracji. Materiał ten wykazuje najmniejszą odporność na fotodegradację. Zaskakującym może wydawać się duży wzrost siły penetracji produktu N wykonanego z plastyfikowanej skrobi. Można tłumaczyć go zachodzącą fotoreakcją, której symptomy obserwowano w wynikach badań zmiany barwy. Najbardziej prawdopodobną jest reakcja sieciowania łańcuchów polimerowych skrobi zachodząca pod wpływem promieniowania UV. Fakt ten zdaje się potwierdzać zmiana barwy w kierunku czerwieni [13, 16].

#### WNIOSKI

Wykonane badania należy uznać za wstępne, gdyż nie wyjaśniły one dostatecznie wszelkich aspektów procesu degradacji rozpatrywanych materiałów (wyróbów) np. mechanizmu odpowiadającego za wzrost siły penetracji tworzywa z plastyfikowanej skrobi po naświetlaniu i ekspozycji w wodzie. Jednak z powyższych badań można wyciągnąć kilka wniosków. Spieniony poli(uretan) w formie wypełniacza (S) pomimo zmiany barwy zachował swoje cechy mechaniczne w trakcie wszystkich eksperymentów. Można stwierdzić, że czas ekspozycji wynoszący 15 dni jest zbyt krótki, by zauważyć efekty rozkładu. Uznaje się ten materiał za nie biodegradowalny. Skorelowany z nim produkt ze spienionej niemodyfikowanej skrobi kukurydzianej (Ch) jest materiałem biodegradowalnym (w środowiskach wody i gleby). Jedyne w przypadku naświetlania czas ekspozycji okazał się zbyt krótki, by jednoznacznie orzec o biodegradowalności. Materiał, z którego wykonano doniczkę można uznać za produkt biodegradowalny krótkiego zastosowania. Należy spodziewać się dodatkowo, że rozkładająca się doniczka (D) zasili w składniki odżywcze rosnącą w nim roślinę oraz ułatwi proces przesadzania rośliny do gleby bez konieczności wyjmowania. W przypadku noża z plastyfikowanej skrobi (N) można stwierdzić, że 15-dniowy okres ekspozycji na wodę, glebę i światło jest krótszy niż okres inkubacji procesów rozkładu. Skądinąd jest to zrozumiałe, gdyż wyrób, do którego produkcji użyto tego materiału powinien mieć dość długi okres przydatności do użycia, odporność na wodę, substancje organiczne i naświetlanie. W tej sytuacji mówi się o sterowanej nie- i bio- degradowalności. Wyniki eksperymentu w pewnym sensie to potwierdzają.

#### LITERATURA

1. **Akutsu Y., Nakajima-Kambe T., Nomura N., Nakahara T., 1998:** Purification and Properties of a Polyester Polyurethane-Degrading Enzyme from *Comamonas acidovorans* TB-35. *Applied Environmental Microbiology*. 64(1), 62-67.
2. **Combrzyński M., 2012:** Skrobia termoplastyczna TPS. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*. 5, 7-8.
3. **Ekielski A., Majewski Z., Żelaziński T., 2005:** Wpływ geometrii elementarnej roboczych ekstrudera na energochłonność i jakość otrzymanego produktu. *Inżynieria Rolnicza*. 9(69), 101-107.
4. **Hassa R., Mrzigoda J., Nowakowski J., 2004:** Podręczny słownik chemiczny. Wyd. Videograf II Chorzów.
5. **Karaś W., 2009:** Torby handlowe nowej generacji na przykładzie firmy Carrefour. *Opakowanie* 2, 23-25.
6. **Kowalczyk M.M., 2009:** Prace badawcze nad polimerami biodegradowalnymi. *Opakowanie*. 6,
7. **Kuciel S., Liber-Kneć A., Zajchowski S., 2009:** Wpływ biodegradacji na właściwości kompozytów na osnowie termoplastycznej skrobi napełnionej włóknami kenafu lub mączki drzewnej. *Czasopismo Techniczne. Mechanika*. 106(1-M), 195-200.
8. **Margulis D., 2006:** Photoshop LAB. Rozwiązanie zagadki kanionu. Wyd. Helion Gliwice.
9. **Mitrus M., Oniszczyk T., Moscicki L., 2011:** Changes of specific mechanical energy during extrusion-cooking of potato starch. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. 11C, 200-207.
10. **Mościcki L., 2008:** Opakowania biodegradowalne. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*. 1, 28-29.
11. **Mościcki L., Mitrus M., Wójtowicz A., Oniszczyk T., Rejak A., Janssen L., 2012:** Application of extrusion-cooking for processing of thermoplastic starch (TPS). *Food Research International*. 47, 291-299.
12. **Namieśnik J., Chrzanowski W., Szpinek P., (red.) 2003:** Nowe horyzonty i wyzwania w analityce i monitoringu środowiskowym. Rozdz. 33. Kot-Wasik A., Dąbrowska D., Namieśnik J., Degradacja związków organicznych w środowisku. CEEAM Wyd. Chemiczny PG Gdańsk, 700-722, wydanie internetowe.
13. **Nawapat D., Thawien W., 2013:** Effect of UV-treatment on the properties of biodegradable rice starch films. *International Food Research Journal*. 20(3), 1313-1322.
14. **Nawrot A., (red.), 2012:** Encyklopedia biologia. Wyd. Greg Kraków.
15. **Świerz-Motysia B., Jeziórska R., Szadkowska A., Piotrowska M., 2011:** Otrzymywanie i właściwości biodegradowalnych mieszanin polilaktydu i termoplastycznej skrobi. *Polimery*. 56(4), 271-280.
16. **Zieliński T., 2012:** Badanie wpływu promieniowania UV na właściwości skrobi plastyfikowanej. Praca magisterska Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.
17. **Żakowska H., 2009:** Degradowalne opakowania z klasycznych tworzyw sztucznych a opakowania kompostowalne z polimerów biodegradowalnych. *Opakowanie*. 6, 20-25.

#### EFFECT OF SOME ENVIRONMENTAL FACTORS ON BIODEGRADATION PROCESS OF PRODUCTS MADE OF DIFFERENT BIODEGRADABLE MATERIALS

**Summary.** The study presents results the degradation of the few examples of products made of materials described in the scientific or professional literature as biodegradable and comparative made of material is not biodegradable. Product samples were exposed for 15 days on the water and soil, and irradiated in a light box. During the experiment, the mechanical properties were examined and recorded the colour changes of irradiated samples.  
**Key words:** biodegradable material, thermoplastic starch TPS, poly(lactide) PLA, poly(urethane) PUR, cellulose, photodegradation.

## Spis treści

<b>Oleksandra Oleksivna Artemenko, Waldemar Izdebski, Jacek Skudlarski, Stanisław Zajęc, Svetlana Aleksandrovna Zayka</b> Wypożaenie rolnictwa Polski i Ukrainy w środki mechanizacji do produkcji roślinnej .....	3
<b>Artur Boguta, Marek Horyński, Sebastian Styła, Andrzej Sumorek</b> Regeneracja akumulatorów zasadowych z wykorzystaniem ładowarek impulsowych .....	7
<b>Janusz Bowszys</b> Wpływ grubości warstwy nasion składowanych w silosach z pionowym układem wietrzenia na parametry przepływu powietrza .....	11
<b>Janusz Bowszys, Teresa Bowszys</b> Przebieg procesu suszenia oraz zmiany jakości nasion bobiku w silosie z promieniowym układem wietrzenia (cz. I) .....	15
<b>Zbigniew Burski, Hanna Krasowska-Kołodziej</b> Badania wydajności eksploatacyjnej linii rozlewniczej „Krones” o sterowaniu mikroprocesorowym .....	19
<b>Zbigniew Burski, Hanna Krasowska-Kołodziej, Izabela Mijalska-Szewczak</b> Przestrzenno-czasowa weryfikacja energochłonności jazdy po autostradzie w zakresie istotności jej zachodzenia .....	25
<b>Krzysztof Deska, Wiesław Pawłowski</b> Measurements of Roofs For Diagnostic Purposes .....	29
<b>Sławomir Gawłowski, Janusz Laskowski, Stanisław Skonecki, Adam Zdybel</b> Wpływ wilgotności na proces rozdrabniania nasion wyki ozimej .....	35
<b>Monika Gruszecka, Jerzy Grudziński, Andrzej Stępniewski</b> Analiza metod tekstuowania powierzchni krzemu krystalicznego stosowanego w fotowoltaice .....	41
<b>M. Horyński, S. Styła, A. Boguta, M. Buczaj, A. Sumorek</b> Model energooszczędnej instalacji domowej w warunkach budownictwa wiejskiego .....	47
<b>Waldemar Izdebski, Vladimir Petrovich Miklush, Nikolaj Nikolajevich Romaniuk, Anatoli Semenovich Sajganov, Jacek Skudlarski, Stanisław Zajęc</b> Wypożaenie rolnictwa Polski i Białorusi w środki mechanizacji do produkcji roślinnej .....	53
<b>Krzysztof Jaśkowiec, Waldemar Uhl</b> Zagadnienie odlewania elementów ze stopu na bazie Fe-Al pracujących w podwyższonych temperaturach .....	59

<b>Anna Maria Klepacka, Jarosław Osiak, Małgorzata Powałka, Jacek Skudlarski</b> Krajowe wykorzystanie surowców rolnych do produkcji biopaliw transportowych .....	63
<b>Oleksandra Kovalyshyn, Nadya Kryshenyk</b> Mathematical approaches of alternative types of land use determination for well-proportioned development of rural aeres .....	67
<b>Józef Kowalczyk, Janusz Zarajczyk, Alicja Wieczorkowska</b> Nowoczesne ciągniki produkowane przez spółkę URSUS S.A. ....	73
<b>Konrad Kowalski, Tadeusz Złoto</b> Obrażenia ciała spowodowane działaniem cieczy pod ciśnieniem .....	77
<b>Владимир Кравчук</b> Научно-прикладные аспекты развития технико-технологических решений в агробиотехнологиях .....	81
<b>Ryszard Kulig, Grzegorz Łysiak, Stanisław Skonecki, Janusz Laskowski</b> Wpływ stopnia rozdrobnienia na efektywność zagęszczania słomy rzepakowej z dodatkiem lepszczca .....	87
<b>Vasyl Lypchuk, Halyna Kozłowa</b> The development strategies of the farms in ukraine .....	93
<b>Włodzimierz Malesa</b> Analiza porównawcza z zastosowaniem MES wybranych kształtów protektora pneumatycznego mechanizmu jezdnego ze względu na propagację nacisków w glebie .....	97
<b>Anna Piecak, Beata Ślaska-Grzywna, Marek Szmigielski, Tadeusz Koszel</b> Nakłady energetyczne ponoszone na produkcję roślin w wybranych gospodarstwach rolniczych .....	105
<b>Henryk Rode, Paweł Witkowski</b> Stanowisko do badań procesu cięcia roślin energetycznych .....	111
<b>Mariusz Sarniak</b> Badania wpływu ustawienia modułu fotowoltaicznego na przebiegi charakterystyk zewnętrznych .....	115
<b>Anna Stankiewicz</b> Identyfikacja spektrum relaksacji materiałów lepkosprężystych przy silnie zakłóconych danych pomiarowych. Część I: Problem i przykład .....	119
<b>Anna Stankiewicz</b> Identyfikacja spektrum relaksacji materiałów lepkosprężystych przy silnie zakłóconych danych pomiarowych. Część II: Algorytm identyfikacji jako filtr SOI .....	127
<b>Arleta Stefaniak</b> Wybrane uwarunkowania dla gospodarki energetycznej Polski wynikające z projektu ustawy o odnawialnych źródłach energii .....	135
<b>Sebastian Styła, Artur Boguta, Andrzej Sumorek, Marek Horyński, Marcin Buczaj</b> Symulacja układów bezpieczeństwa czynnego pojazdów samochodowych z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego .....	143
<b>Mariusz Szreder</b> Dobór podzespołów gruntowej pompy ciepła .....	149
<b>Tadeusz Złoto, Damian Sochacki, Piotr Stryjewski</b> Modelowanie odciążenia bloku cylindrowego pompy wielotłoczkowej z wykorzystaniem programu fluent .....	153
<b>Tomasz Żelaziński, Kesja Chabiera, Jacek Słoma</b> Wpływ wybranych czynników środowiska na biodegradację produktów wykonanych z różnych materiałów biodegradowalnych .....	159

## **List of the Reviewers**

1. Zbigniew Burski
2. Dariusz Dziki
3. Andrzej Kusz
4. Andrzej Marciniak
5. Andrzej Mruk
6. Ignacy Niedziółka
7. Mariusz Szymanek
8. Beata Ślaska-Grzywna
9. Wojciech Tanaś
10. Jerzy Grudziński
11. Janusz Wojdalski
12. Tadeusz Złoto

Editors of the "MOTROL" magazine of the Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture would like to inform both the authors and readers that an agreement was signed with the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling at the Warsaw University referred to as "ICM". Therefore, ICM is the owner and operator of the IT system needed to conduct and support a digital scientific library accessible to users via the Internet called the "ICM Internet Platform", which ensures the safety of development, storage and retrieval of published materials provided to users. ICM is obliged to put all the articles printed in the "MOTROL" on the ICM Internet Platform. ICM develops metadata, which are then indexed in the "Agro" database.

Impact factor of the "MOTROL" journal according of the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 1,36 (April 2013).

## GUIDELINES FOR AUTHORS (2013)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 8 pages) should not exceed 12 pages including tables and figures. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor.

Authors are asked to transfer to the Publisher the copyright of their articles as well as written permissions for reproduction of figures and tables from unpublished or copyrighted materials.

### Articles should be submitted electronically to the Editor and fulfill the following formal requirements:

- Clear and grammatically correct script in English,
- Format of popular Windows text editors (A4 size, 12 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,5 cm),
- Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered,
- SI units should be used.

### Please organize the script in the following order (without subtitles):

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail  
Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions

### Note that the following should be observed:

An informative and concise title; Abstract without any undefined abbreviations or unspecified references; No nomenclature (all explanations placed in the text); References cited by the numbered system (max 5 items in one place); Tables and figures (without frames) placed out of the text (after References) and figures additionally prepared in the graphical file format jpg or cdr.

Make sure that the tables do not exceed the printed area of the page. Number them according to their sequence in the text. References to all the tables must be in the text. Do not use vertical lines to separate columns. Capitalize the word 'table' when used with a number, e.g. (Table1).

Number the figures according to their sequence in the text. Identify them at the bottom of line drawings by their number and the name of the author. Special attention should be paid to the lettering of figures – the size of lettering must be big enough to allow reduction (even 10 times). Begin the description of figures with a capital letter and observe the following order, e.g. Time(s), Moisture (% vol), (% m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>) or (% gg<sup>-1</sup>), Thermal conductivity (W m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>).

Type the captions to all figures on a separate sheet at the end of the manuscript.

Give all the explanations in the figure caption. Drawn text in the figures should be kept to a minimum. Capitalize and abbreviate 'figure' when it is used with a number, e.g. (Fig. 1).

Colour figures will not be printed.

### Make sure that the reference list contains about 30 items. It should be numbered serially and arranged alphabetically by the name of the first author and then others, e.g.

7. Kasaja O., Azarevich G. and Bannel A.N. 2009. Econometric Analysis of Banking Financial Results in Poland. Journal of Academy of Business and Economics (JABE), Vol. IV. Nr 1, 202–210.

References cited in the text should be given in parentheses and include a number e.g. [7].

Any item in the References list that is not in English, French or German should be marked, e.g. (in Italian), (in Polish).

Leave ample space around equations. Subscripts and superscripts have to be clear. Equations should be numbered serially on the right-hand side in parentheses. Capitalize and abbreviate 'equation' when it is used with a number, e.g. Eq. (1). Spell out when it begins a sentence. Symbols for physical quantities in formulae and in the text must be in italics. Algebraic symbols are printed in upright type.

Acknowledgements will be printed after a written permission is sent (by the regular post, on paper) from persons or heads of institutions mentioned by name.