

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I MECHANICZNE PELETÓW W ZALEŻNOŚCI OD SKŁADU I TEMPERATURY ICH PRZECHOWYWANIA

Marek Rynkiewicz, Tomasz K. Dobek
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Streszczenie. W pracy dokonano oceny ilości peletów z pęknięciami, długości, średnicy, twardości i wytrzymałości mechanicznej peletów, w zależności od składu i temperatury ich przechowywania. Próbki peletów użyte w badaniach były wytworzone w pelecierce o średnicy otworów matrycy 8 mm. Surowcem użytym do produkcji peletów były trociny sosnowe oraz trociny sosnowe z dodatkiem 30 lub 50% trocin bukowych. Badania przeprowadzono na peletach przechowywanych przez 3 godziny w temperaturze 20, 40 i 60°C. Wytrzymałość mechaniczna peletów wytworzonych z trocin sosnowych i przechowywanych w temperaturze 20°C wyniosła 98,2%, natomiast dla peletów wytworzonych z trocin sosnowych z dodatkiem 50% trocin bukowych wyniosła 96,8%. Badania wykazały, że skład miał statystycznie istotny wpływ na wyniki wytrzymałości mechanicznej badanych peletów w przyjętych temperaturach. Temperatura przechowywania peletów nie miała statystycznie istotnego wpływu na wyniki ich twardości.

Słowa kluczowe: biomasa, pelety, wytrzymałość mechaniczna

Wprowadzenie

Ciągły wzrost w Europie liczby zakładów przetwarzających biomasę na paliwo w postaci peletów lub brykietów spowodowany jest chęcią ograniczenia zużycia paliw kopalnianych.

Nieszkodliwość dla środowiska jest ogromną zaletą biopaliw, szczególnie w dobie zainteresowania ekologią. Emisja szkodliwego dwutlenku węgla do atmosfery nie występuje, a powstały ze spalania popiół można wykorzystać jako nawóz. Pozyskiwanie i przetwarzanie biomasy ma więc pozytywny wpływ na środowisko, przyczynia się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, jak również do powstawania nowych miejsc pracy (Grzybek, 2004). Szeroki zakres stosowanych surowców w postaci odpadów przemysłu drzewnego, spożywczego lub z plantacji przeznaczonych na surowiec energetyczny umożliwi uzyski-

wanie produktów różniących się właściwościami fizycznymi i chemicznymi. Do właściwości fizycznych zaglomerowanej biomasy można zaliczyć m.in.: średnicę, długość, twardość i wartość opałową. Hejft (2002) podaje, że jedną z ważniejszych cech określających jakość peletów jest wytrzymałość mechaniczna. Na jakość peletów w dużym stopniu wpływa także rodzaj peletowanych surowców (Niedziółka i Szpryngiel, 2012; Samuelsson i in., 2009). Rhén i in. (2007) twierdzą, że aglomeraty z biomasy umożliwiają automatyzację procesu spalania, podobnie jak paliwa kopalniane. Obernberger i Thek (2004) uważają, że wymaganą jakość aglomeratów należy zachować w przypadku ich spalania w małych piecach, co nie jest bezwzględnie konieczne w elektrociepłowniach.

Na jakość peletów mogą wpływać również warunki ich przechowywania i transportu. Temperatura powietrza, w zależności od pory roku, pory dnia i nasłonecznienia, może powodować wzrost temperatury występującej wewnątrz pomieszczeń magazynowych czy silosów, a tym samym – wzrost temperatury peletów tam przechowywanych. Podobne zjawisko może mieć miejsce także podczas przewozu peletów środkami transportu.

Cel badań

Celem badań było określenie wpływu temperatury przechowywania i składu peletów na wybrane parametry fizyczne. Zakresem badań objęto pelety, których składnikami były odpady drzewne w postaci trocin sosnowych i bukowych.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono dla peletów drzewnych, które wytwarzano z trocin sosnowych oraz trocin sosnowych i bukowych.

Próbki peletów oznaczono z uwzględnieniem ich składu w następujący sposób:

- S100 – pelety z trocin sosnowych,
- S70B30 – pelety 70% trocin sosnowych i 30% trocin bukowych,
- S50B50 – pelety 50% trocin sosnowych i 50% trocin bukowych.

Pelety użyte do badań wytwarzane były w pelecierce o średnicy otworów matrycy 8 mm.

Każdą partię peletów (różniącą się składem) podzielono na trzy próbki, dla których prowadzono niezależne badania wpływu temperatury przechowywania na wytrzymałość mechaniczną. Próbki poddano działaniu następujących temperatur: 20°C, 40°C i 60°C, poprzez umieszczenie ich na trzy godziny w suszarce laboratoryjnej HZ (Wytwórnia Aparatów Termoelektrycznych w Krakowie). Po tym czasie dokonano pomiaru następujących parametrów peletów: ilość peletów z pęknięciami, długość, średnica, twardość i wytrzymałość mechaniczna.

Wilgotność badanych próbek przed umieszczeniem w suszarce laboratoryjnej i temperaturze 20°C wynosiła 6%, co ustalono zgodnie z normą EN 14774-3:2009 i obliczono wg wzoru (1):

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

- M_{ad} – wilgotność (%),
- m_1 – masa pustego naczynia (kg),
- m_2 – masa naczynia z próbką przed suszeniem (kg),
- m_3 – masa naczynia z próbką po suszeniu (kg).

Badanie ilości peletów z pęknięciami polegało na losowym wybraniu 100 peletów z próbki laboratoryjnej o masie 500 g. Następnie z wyselekcjonowanej próbki wybrano pelety z widocznymi pęknięciami. Na podstawie liczby uszkodzonych peletów określano ich procentowy udział w danej partii.

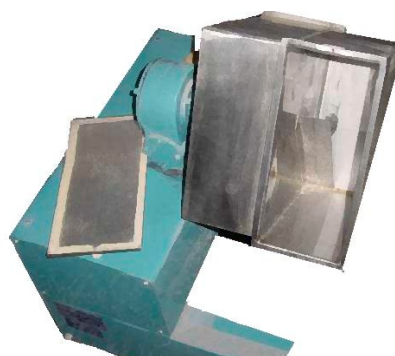
Pomiar średnicy i długości peletów wykonano zgodnie z normą EN 16127:2012. Mierzono 10 losowo wybranych peletów z próbki o masie 100 g. Pomiaru dokonano z dokładnością do 0,01 mm przy użyciu suwmiarki.

Do pomiaru twardości użyto urządzenia ZGW-1 firmy DHN (rys. 1). Na badaną próbkę peletu wywierano siłę głowicą twardościomierza, przy zastosowaniu trzpienia o podstawie prostokąta o wymiarach 18 mm x 6 mm. Miarą twardości peletów (w kg) było obciążenie, przy którym próbka ulegała zniszczeniu. Pomiar wykonywano dziesięciokrotnie dla każdej partii badanych peletów.

Wytrzymałość mechaniczną peletów mierzono z wykorzystaniem testera mechanicznego ZU-05 (rys. 2), którego budowa i zasada działania jest zgodna z normą EN 15210-1:2009. Z próbki peletów o masie ok. 3 kg odsiano rozkruszone części na sicie o średnicy otworów 3,15 mm, a z pozostałego materiału przygotowano trzy próbki, każda o masie 500 g. Następnie umieszczono je w komorze, którą wirowano przez 10 min z prędkością 50 obr·min⁻¹. Po zatrzymaniu testera próbki odsiano na sicie o średnicy otworów 3,15 mm.



Rysunek 1. Twardościomierz ZGW-1
Figure 1. ZGW-1 Hardness tester



Rysunek 2. Tester ZU-05 do oznaczania
wytrzymałości mechanicznej peletów
Figure 2. ZU-05 tester of mechanical
endurance of pellets

Pozostałość na sicie zważono. Obliczenia wytrzymałości mechanicznej peletów dokonano wg wzoru (2) określonego przez normę EN 15210-1:2009.

$$D_U = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:

- D_U – wytrzymałość mechaniczna peletów (%),
- m_E – masa próbki laboratoryjnej badanych peletów – 500 g,
- m_A – masa peletów pozostałych na sicie po próbie wytrzymałości mechanicznej (g).

Analizę statystyczną przeprowadzono przy użyciu aplikacji Statistica i MS Excel. Testem Shapiro–Wilka sprawdzono, czy uzyskane wartości dla poszczególnych badanych parametrów mają rozkład zbliżony do normalnego. Krytyczny poziom istotności przyjęto dla $p=0,05$. Do sprawdzenia jednorodności wariancji posłużono się testem Levene’a. Istotność różnic wartości średnich w więcej niż dwóch populacjach sprawdzono analizą wariancji ANOVA. W przypadku gdy jeden z badanych parametrów miał rozkład różny od rozkładu normalnego, statystyczną ocenę przeprowadzano nieparametrycznym testem ANOVA rang Kruskala–Wallisa (Stanisz, 1998).

Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono procentową ilość peletów z pęknięciami w zależności od ich temperatury przechowywania.

Tabela 1

Ilość peletów z pęknięciami w zależności od temperatury przechowywania

Table 1

Number of pellets with fissures depending on the storing temperature

Rodzaj peletów	Ilość peletów z pęknięciami w zależności od temperatury przechowywania (%)		
	20°C	40°C	60°C
S100	28	31	24
S70B30	30	31	30
S50B50	35	28	32

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji próbek przechowywanych w temperaturze 20°C należy stwierdzić, że najmniejszą procentowo ilość peletów z pęknięciami uzyskano dla peletów z trocin sosnowych. Natomiast pelety z dodatkiem trocin bukowych S70B30 i S50B50 charakteryzowały się większą ilością peletów z pęknięciami równą odpowiednio 30% i 35%. Podobną zależność zaobserwowano dla temperatury 60°C.

Najmniejszą wartość średnią długości stwierdzono dla peletów S100 w temperaturze 20°C (20,08 mm), natomiast największą wartość średnią długości peletów (25,75 mm) zaobserwowano dla peletów S50B50 w temperaturze otoczenia 40°C (tab. 2).

Tabela 2

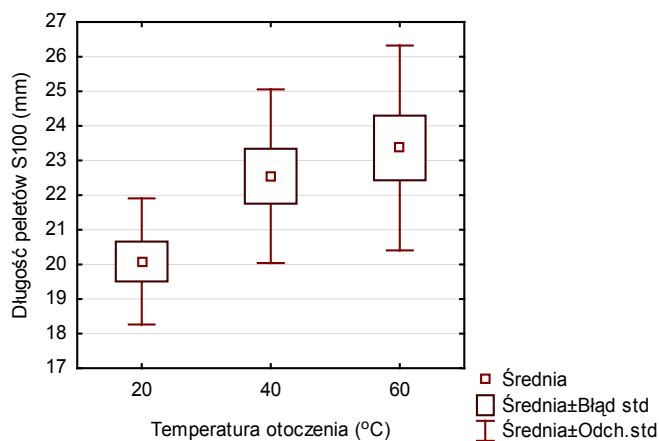
Długość peletów w zależności od składu i temperatury ich przechowywania

Table 2

Length of pellets depending on the composition and storing temperature

Rodzaj peletów	Temperatura (°C)	Długość peletów (mm)			Odchylenie Standardowe
		średnia	Min.	Max.	
S100	20	20,08	17,70	23,35	1,82
	40	22,55	20,56	27,85	2,51
	60	23,36	19,75	29,57	2,96
S70B30	20	23,55	18,37	29,77	3,50
	40	24,95	19,14	30,88	4,31
	60	23,33	17,25	28,66	3,83
S50B50	20	22,96	12,01	29,30	5,02
	40	25,75	22,69	33,68	3,49
	60	25,22	18,28	30,79	3,64

Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdziła statystycznie istotne różnice wartości średnich długości peletów S100 w zależności od temperatury otoczenia dla $p=0,0162$ (test nieparametryczny ANOVA Kruskala–Wallisa) (rys. 3). Natomiast nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic wartości średnich długości peletów w zależności od temperatury otoczenia dla peletów S70B30 ($p>0,05$ – test parametryczny ANOVA wariancji) i peletów S50B50 ($p>0,05$ – test nieparametryczny ANOVA Kruskala–Wallisa).



Rysunek 3. Średnie długości peletów S100 w zależności od temperatury ich przechowywania
Figure 3. Average length of S100 pellets depending on the storing temperature

Tabela 3
Średnica peletów w zależności od składu i temperatury ich przechowywania
 Table 3
Length of pellets depending on the composition and storing temperature

Rodzaj peletów	Temperatura (°C)	Średnica peletów (mm)			Odchylenie Standardowe
		średnia	Min.	Max.	
S100	20	8,22	8,09	8,35	0,10
	40	8,24	7,98	8,47	0,16
	60	8,23	8,10	8,40	0,12
S70B30	20	8,12	8,01	8,26	0,09
	40	8,10	8,00	8,20	0,07
	60	8,11	8,05	8,26	0,06
S50B50	20	8,24	8,07	8,42	0,11
	40	8,17	8,07	8,30	0,08
	60	8,24	8,13	8,58	0,14

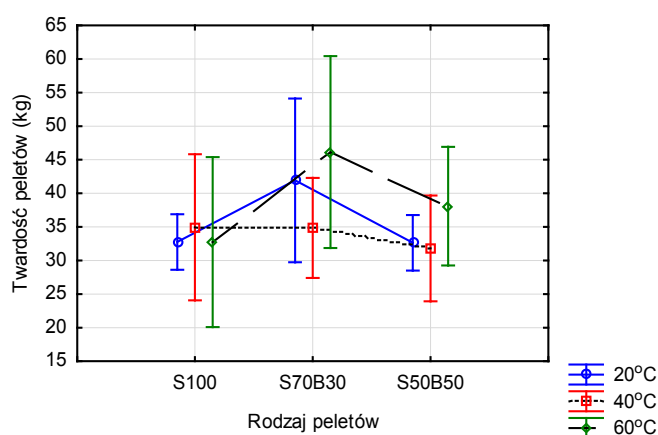
Najmniejszą średnią średnicą cechowały się pelety S70B30 (8,10-8,12 mm), natomiast największe średnie średnice peletów zaobserwowano dla S100 i S50B50 (tab. 3).

Przeprowadzona analiza statystyczna nie potwierdziła statystycznie istotnych różnic wartości średnich średnic peletów w zależności od temperatury otoczenia dla $p > 0,05$ (test parametryczny ANOVA wariacji dla S100 i test nieparametryczny ANOVA Kruskala-Wallis dla S70B30 i S50B50).

Tabela 4
Twardość peletów w zależności od składu i temperatury ich przechowywania
 Table 4
Hardness of pellets depending on the composition and storing temperature

Rodzaj peletów	Temperatura (°C)	Twardość peletów (kg)			Odchylenie Standardowe
		średnia	Min.	Max.	
S100	20	32,76	24,90	38,40	5,77
	40	34,94	12,09	61,65	15,21
	60	32,75	7,91	67,40	17,71
S70B30	20	41,94	16,81	65,20	17,04
	40	34,85	23,05	60,60	10,40
	60	46,15	25,28	84,74	19,97
S50B50	20	32,64	21,94	38,55	5,79
	40	31,81	15,26	51,35	11,01
	60	38,09	18,55	54,00	12,35

Najmniejszą średnią twardością (31,81 kg) charakteryzowały się pelety S50B50 w temperaturze otoczenia 40°C (tab. 4), natomiast największą średnią twardością cechowały się pelety S70B30 w temperaturze 60°C i jej wartość wyniosła 46,15 kg. Przeprowadzona analiza statystyczna nie potwierdziła statystycznie istotnych różnic wartości średnich twardości peletów w zależności od temperatury otoczenia dla $p>0,05$ (test nieparametryczny ANOVA Kruskala–Wallisa).



Rysunek 4. Twardość peletów w zależności od ich składu i temperatury przechowywania wraz z przedziałem ufności

Figure 4. Hardness of pellets depending on their composition and storing temperature along with the confidence interval

Analiza statystyczna nie wykazała statystycznie istotnego wpływu składu peletowanych surowców na twardość peletów w przyjętych temperaturach dla $p>0,05$ (test nieparametryczny ANOVA Kruskala–Wallisa) (rys. 4).

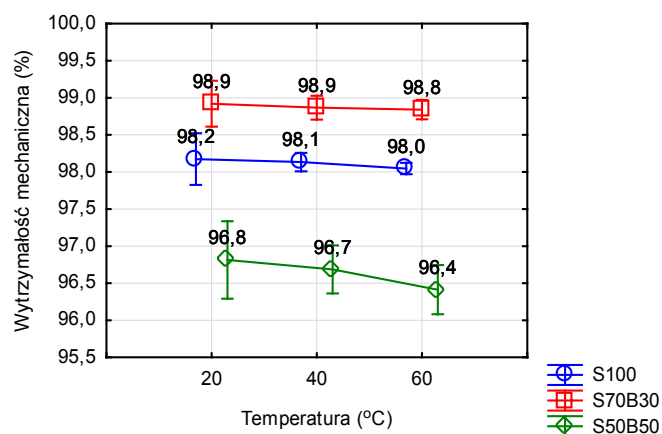
Uzyskane wartości wytrzymałości mechanicznej były nieznacznie zróżnicowane w zależności od rodzaju peletów i temperatury przechowywania (tab. 5). Najmniejszymi średnimi wynikami wytrzymałości mechanicznej cechowały się pelety S50B50 (96,4%–96,8%). Natomiast pelety sosnowe i sosnowe z dodatkiem 30% trocin bukowych uzyskały średnie wyniki wytrzymałości powyżej 98,9%. Analizowane dla wszystkich próbek wyniki wytrzymałości mechanicznej, która nie powinna być mniejsza niż 96,5%, w każdej przyjętej temperaturze spełniają wymagania jakościowe peletów zgodnie z normą EN 14961-2. Przeprowadzona analiza statystyczna nie potwierdziła statystycznie istotnych różnic wartości średnich wytrzymałości mechanicznej peletów w zależności od temperatury otoczenia dla $p>0,05$ (analiza wariancji ANOVA) (rys. 5).

Wytrzymałość mechaniczna peletów w zależności od składu i temperatury ich przechowywania

Table 5

Mechanical endurance of pellets depending on the composition and storing temperature

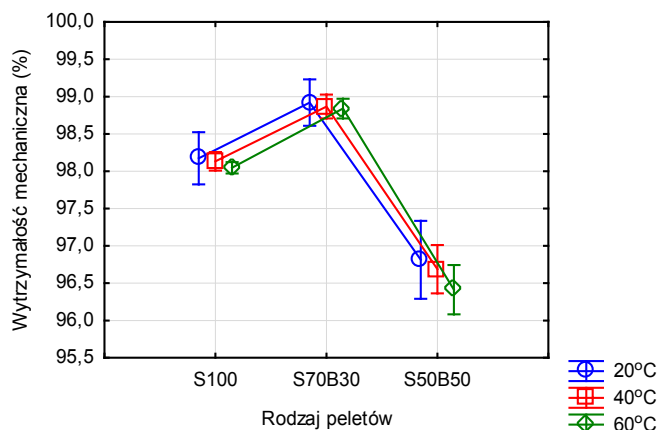
Rodzaj peletów	Temperatura (°C)	Wytrzymałość mechaniczna peletów (%)			
		średnia	Min.	Max.	Odchylenie Standardowe
S100	20	98,2	98,0	98,3	0,1
	40	98,1	98,1	98,2	0,1
	60	98,0	98,0	98,1	0,0
S70B30	20	98,9	98,8	99,0	0,1
	40	98,9	98,8	98,9	0,1
	60	98,8	98,8	98,9	0,1
S50B50	20	96,8	96,6	97,0	0,2
	40	96,7	96,6	96,8	0,1
	60	96,4	96,3	96,6	0,1



Rysunek 5. Wytrzymałość mechaniczna peletów w zależności od ich temperatury przechowywania i składu wraz z przedziałem ufności

Figure 5. Mechanical endurance of pellets depending on the storing temperature and composition along with the confidence interval

Przeprowadzona analiza statystyczna wariancji ANOVA wykazała statystycznie istotne różnice wartości średnich wytrzymałości mechanicznej badanych peletów w zależności od ich składu w poszczególnych temperaturach przechowywania ($p=0,0000$) (rys. 6).



Rysunek 6. Wytrzymałość mechaniczna peletów w zależności od ich składu i temperatury przechowywania wraz z przedziałem ufności

Figure 6. Mechanical endurance of pellets depending on their composition and storing temperature along with the confidence interval

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Stwierdzono zróżnicowaną ilość peletów z pęknięciami w zależności od ich składu.
2. Najmniejszą średnią wartość długości (20,08 mm) stwierdzono dla peletów z trocin sosnowych w temperaturze 20°C.
3. Największą twardością (46,15 kg) charakteryzowały się pelety wytworzone z trocin sosnowych z 30% dodatkiem trocin bukowych, przechowywane w temperaturze 60°C. Przeprowadzona analiza statystyczna nie potwierdziła statystycznie istotnego wpływu przyjętych temperatur przechowywania peletów na ich twardość.
4. Dodatek 50% trocin bukowych do peletowanych trocin sosnowych przyczynił się do spadku wytrzymałości mechanicznej peletów poniżej 97%, w porównaniu do peletów S100 (98,1%) i S70B30 (98,9%). Analiza statystyczna wykazała statystycznie istotne różnice wytrzymałości mechanicznej peletów w zależności od ich składu dla poszczególnych temperatur przechowywania.

Literatura

- Grzybek, A. (2004). Gospodarka biomasą na wsi - stan aktualny i perspektywy. *Inżynieria Rolnicza*, 1(56), 115-125.
- Hejft, R. (2002). *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*. Wyd. ITE w Radomiu, ISBN 83-7204-251-9.

- Niedziółka, I.; Szpryngiel, M. (2012). Ocena cech jakościowych peletów wytworzonych z biomasy roślinnej. *Inżynieria Rolnicza*, 2(136), 267-276.
- Obernberger, I.; Thek, G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. *Biomass and Bioenergy*, 27, 653-669.
- Rhen, C.; Ohman, M.; Gref, R.; Wasterlund, I. (2007). Effect of raw material composition in woody biomass pellets on combustion characteristics. *Biomass Bioenergy*, 31, 66-72.
- Samuelsson, R.; Thyrel, M.; Sjöström, M.; Lestander, T. A. (2009). Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuel pellet quality. *Fuel Processing Technology*, 90, 1129-1134.
- Stanisz, A. (1998). Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL, Kraków, Statsoft Polska, ISBN 83-904735-4-2.
- EN 14961-2:2011. *Solid biofuels - Fuel specification s and classes - Part 2: Wood pellets for non-industrial use.*
- EN 15210-1:2009. *Solid biofuels – Determination of mechanical of pellets and briquettes – Part 1: Pellets.*
- EN 16127:2012. *Solid biofuels - Determination of length and diameter of pellets.*

SELECTED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PELLETS DEPENDING ON THE COMPOSITION AND TEMPERATURE OF THEIR STORING

Abstract. The paper presents the assessment of the number of pellets with fissures, length, diameter, hardness and mechanical endurance of pellets depending on the composition and temperature of their storing. Pellet samples used in the research were produced in a pelleting machine with the 8 mm matrix openings diameter. Pine sawdust and pine sawdust with 30 or 50% addition of beech sawdust were used as raw material for production of pellets. The research was carried out on the pellets stored for 3 hours in 20, 40 and 60°C temperature. Mechanical endurance of pellets produced of pine sawdust and stored in 20°C was 98.2% whereas for pellets produced of pine sawdust with 50% addition of beech sawdust was 96.8%. The research proved that the composition significantly influenced the results of mechanical endurance of the investigated pellets in the accepted temperatures. Temperature of storing pellets did not significantly influenced the results of their hardness.

Key words: biomass, pellets, mechanical endurance

Adres do korespondencji:

Marek Rynkiewicz; e-mail: marek.rynkiewicz@zut.edu.pl
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI 3
71-459 Szczecin