

OCENA EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ I ENERGETYCZNEJ PRODUKCJI PSZENICY OZIMEJ I RZEPAKU OZIMEGO WYKORZYSTANYCH DO PRODUKCJI BIOPALIW

Tomasz K. Dobek

*Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

Maria Dobek

Katedra Metod Ilościowych, Uniwersytet Szczeciński w Szczecinie

Ondřej Šařec

Katedra Użytkowania, Czeski Uniwersytet Rolniczy w Pradze

Streszczenie. Przeprowadzono ekonomiczną i energetyczną analizę i ocenę technologii produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego oraz przetworzenia uzyskanych płodów na biopaliwa. Następnie obliczono efektywność ekonomiczną i energetyczną produkcji biodiesla z rzepaku ozimego i bioetanolu z pszenicy ozimej. Z przeprowadzonych badań wynika, że produkcja biopaliw może być opłacalna pod warunkiem sprzedaży nie tylko biopaliwa, ale także słomy i w przypadku rzepaku – śruty poekstrakcyjnej. Dotyczy to również efektywności energetycznej produkcji biopaliw.

Słowa kluczowe: biodiesel, bioetanol, koszt produkcji, nakład pracy, efektywność ekonomiczna, efektywność energetyczna

Wstęp

Według definicji biopaliwa są to wyłącznie substancje palne o niekopalnym, lecz biologicznym pochodzeniu [Mokrzycki 2005]. Przetwarzanie biomasy na energię ma liczne zalety, do których zaliczyć możemy ograniczenie emisji związków toksycznych, redukcję efektu cieplarnianego, biodegradowalność. Jednak koszty produkcji biopaliw są wysokie. O koszcie wytwarzania biopaliw decyduje przede wszystkim cena surowca, która z kolei zależy od stosowanych technologii oraz systemów dotacji dla rolnictwa. Wytworzenie najbardziej znanych dzisiaj paliw płynnych takich jak bioetanol czy estry rzepakowe są, według aktualnych cen, w przybliżeniu około dwukrotnie wyższe od kosztów wytwarzania paliw mineralnych. Ważnym elementem oceny produkcji biopaliw, obok kosztów jest rachunek efektywności energetycznej. Z rachunku tego wynika, jak wielkie trzeba ponieść nakłady energetyczne, aby uzyskać jednostkę energii w biopaliwach. Zaletą rachunku energetycznego jest jego niezależność od relacji cen, co umożliwia porównywanie uzyskiwanych wyników. Celem badań było przeprowadzenie ekonomicznej i energetycznej ana-

lizy i oceny technologii produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego, przetworzenia uzyskanych płodów na biopaliwa oraz obliczenie efektywności ekonomicznej i energetycznej produkcji biodiesla z rzepaku ozimego i bioetanolu z pszenicy ozimej.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono w latach 2005-2008, w gospodarstwach rolnych zajmujących się produkcją roślinną województwa zachodniopomorskiego. W produkcji rzepaku ozimego wykorzystano technologię tradycyjną uprawy roli czyli zastosowano pług lemieszowy oraz bronę talerzową, a w doprawianiu gleby – agregat doprawiający. Nawożenie wykonano czterokrotnie rozsiewaczem przyczepianym, a siew siewnikiem uniwersalnym. W okresie wegetacji wykonano czterokrotne opryskiwanie za pomocą przyczepianego opryskiwacza ciągnikowego. Zbiór rzepaku ozimego przeprowadzono metodą jednoetapową. Do zbioru wykorzystano kombajn z adapterem przystosowanym do zbioru rzepaku. Średni plon rzepaku wyniósł 3,4 t·ha⁻¹. W produkcji pszenicy do uprawy roli zastosowano pług lemieszowy oraz kultywator, a doprawianie roli wykonano wałem uprawowym. Nawożenie wykonano trzykrotnie rozsiewaczem przyczepianym, a siew siewnikiem uniwersalnym. W okresie wegetacji pszenicy ozimej wykonano czterokrotne opryskiwanie za pomocą opryskiwacza przyczepianego. Zbór pszenicy ozimej wykonano metodą jednoetapową za pomocą kombajnu. Średni plon pszenicy ozimej wyniósł 5,8 t·ha⁻¹.

Koszty badanych technologii składały się z kosztów eksploatacji zastosowanych maszyn, narzędzi i ciągników, kosztów materiałów i surowców, kosztów paliwa oraz kosztów pracy ludzkiej [Muzalewski 2009]. W obliczeniach uwzględniono tylko koszty bezpośrednie. Koszty produkcji biopaliw obliczono na podstawie zależności:

$$K_{pro} = K_{mat} + K_{agr} + K_{pal} + K_r + K_{prz}, \text{ [zł·ha}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

gdzie:

- K_{pro} – koszty produkcji biopaliwa [zł·ha⁻¹],
- K_{mat} – koszty wykorzystanych materiałów i surowców [zł·ha⁻¹],
- K_{agr} – koszty maszyn i narzędzi [zł·ha⁻¹],
- K_{pal} – koszty zużytego paliwa [zł·ha⁻¹],
- K_r – koszty pracy ludzkiej [zł·ha⁻¹].
- K_{prz} – koszt przetworzenia na biopaliwo [zł·ha⁻¹].

Do analizy i oceny nakładów energii skumulowanej zawartej w produkcji rzepaku ozimego i pszenicy ozimej, zastosowano metodę opracowaną przez IBMER [Anuszewski i in. 1979, Wójcicki 2000]. W obliczeniach uwzględnione również zostały nakłady energii skumulowanej zawartej w produkcji roślinnej oraz przetworzeniu na biopaliwo. Energochłonność skumulowana zawarta w badanych zabiegach oraz przetworzeniu na biopaliwo obliczona została z zależności:

$$E_{pro} = E_{mat} + E_{agr} + E_{pal} + E_r + E_{prz} \text{ [MJ·ha}^{-1}\text{]} \quad (2)$$

gdzie:

- E_{pro} – energochłonność skumulowana w produkcji biopaliw [$MJ \cdot ha^{-1}$],
- E_{mat} – energia skumulowana zawarta w materiałach i surowcach [$MJ \cdot ha^{-1}$],
- E_{agr} – energia skumulowana zawarta w maszynach i narzędziach [$MJ \cdot ha^{-1}$],
- E_{pal} – energia skumulowana zawarta w paliwie [$MJ \cdot ha^{-1}$],
- E_r – energia skumulowana zawarta w pracy ludzkiej [$MJ \cdot ha^{-1}$],
- E_{prz} – energia skumulowana zawarta w technologii przetworzenia plonu na biopaliwo [$MJ \cdot ha^{-1}$].

Wykorzystane wskaźniki energetyczne, dotyczące procesów technologicznych związanych z przetwarzaniem plodów rolnych na biopaliwa, zaczerpnięto z literatury zagranicznej i krajowej [Mokrzycki 2005, Richards 2000], a efektywność energetyczną obliczono z zależności:

$$W_{ee} = \frac{W_{prz}}{W_{pro}} \quad (3)$$

gdzie:

- W_{ee} – efektywność energetyczna badanej technologii,
- W_{pro} – nakłady energii skumulowane w produkcji oraz przetworzenie uzyskanego plonu na biopaliwo [$MJ \cdot ha^{-1}$],
- W_{prz} – energia skumulowana zawarta w biopaliwie i pozostałej biomasie [$MJ \cdot ha^{-1}$].

Wyniki i dyskusja

Analizując całkowite koszty produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego (tabela 1), można stwierdzić, że koszty produkcji rzepaku ozimego są niższe o 4,4% od kosztów produkcji pszenicy ozimej. W przypadku rzepaku wyniosły one 1798 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$, a w przypadku produkcji pszenicy 1861 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$. W strukturze kosztów produkcji największym udziałem charakteryzują się koszty materiałów i surowców oraz koszty eksploatacji maszyn i narzędzi (razem z kosztem zbioru słomy). W przypadku produkcji rzepaku koszty materiałów i surowców wyniosły 952,3 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$ tj. 53%, a produkcji pszenicy 1176,2 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$, co stanowiło 63,2% całkowitych kosztów produkcji.

Znaczącą pozycję zajmowały też koszty eksploatacji maszyn i narzędzi, które wyniosły 624,6 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$ (34,7%) w przypadku rzepaku i 446,8 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$ (24%) w przypadku produkcji pszenicy. Rozpatrując natomiast koszty eksploatacji maszyn i narzędzi wykorzystywanych w poszczególnych zabiegach, można stwierdzić, że w produkcji rzepaku ozimego najwyższe koszty związane były z uprawą roli. Wyniosły one 221,9 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$ (35,5%) oraz ze zbiorem 207,8 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$ (33,4%). Inaczej było w przypadku produkcji pszenicy ozimej. Najwyższe koszty dotyczą zbioru pszenicy 182,8 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$ (40,9%) oraz uprawy roli 126,5 $z\text{ł} \cdot ha^{-1}$ (28,3%). Współczynnik efektywności ekonomicznej w analizowanych technologiach wyniósł 1,90 dla rzepaku ozimego i 1,43 dla pszenicy ozimej.

Tabela 1. Koszty produkcji pszenicy i rzepaku ozimego w badanych technologiach

Table 1. Production costs for winter wheat and winter rape using the examined technologies

Wyszczególnienie	Rzepak ozimy		Pszenica ozima	
	zł·ha ⁻¹	%	zł·ha ⁻¹	%
Koszt eksploatacji maszyn i narzędzi bez kosztów paliwa i pracy ludzkiej	624,6	34,74	446,8	24,01
Koszt paliwa	192,7	10,72	213,6	11,48
Koszt pracy ludzkiej	28,4	1,58	24,4	1,31
Koszt materiałów i surowców	952,3	52,96	1176,2	63,20
Razem koszty	1798,0		1861,0	
Efektywność ekonomiczna produkcji roślinnej	1,90		1,43	

Źródło: obliczenia własne autora

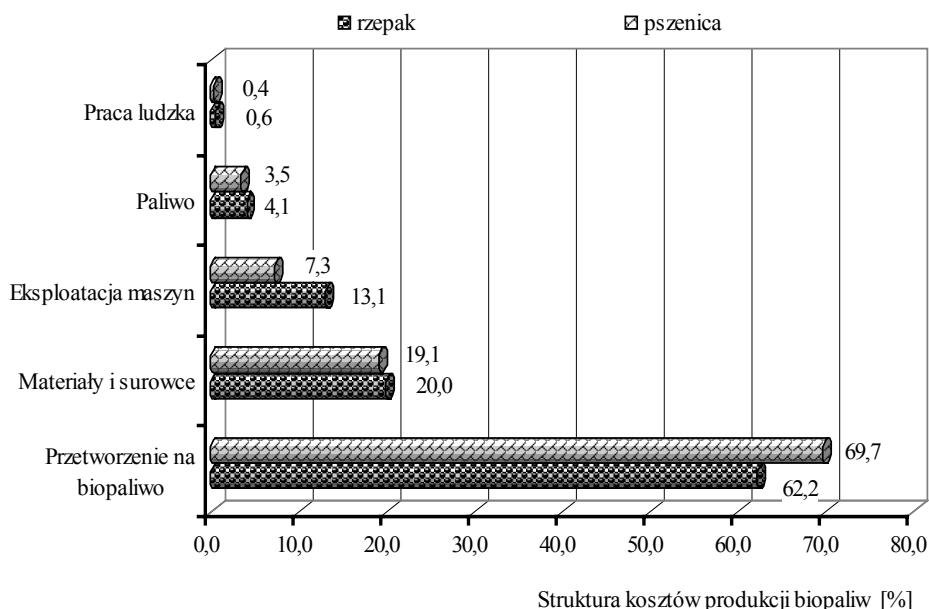
Przetwarzając uzyskane plony na biopaliwa (biodiesel i bioetanol) ponosimy dodatkowe koszty, które w bardzo istotny sposób obniżają efektywność ich produkcji. I tak koszt przetworzenia rzepaku na estry wyniósł 2958 zł·ha⁻¹ i był wyższy o 64,5% od kosztów produkcji samych nasion rzepaku ozimego (1798 zł·ha⁻¹). W przypadku produkcji bioetanolu również koszt przetworzenia był wyższy – wyniósł on 4292 zł·ha⁻¹ i był o 130,1% wyższy od produkcji pszenicy (1861 zł·ha⁻¹). Efektywność ekonomiczna produkcji biodiesla wyniosła 1,55, co świadczy o dochodowości produkcji, a w przypadku bioetanolu wartość ta wyniosła 1,08. Wynika z tego, że produkcja biodiesla była opłacalna, a bioetanolu jest na granicy opłacalności (tabela 2). Analizując natomiast procentowy udział w kosztach produkcji biodiesla i bioetanolu (rys. 1) można stwierdzić, że najwyższymi kosztami charakteryzuje się przetwarzanie płodów na biopaliwo (69,7% – bioetanol i 62,2% – biodiesel), a najniższym udziałem praca ludzka (0,4% – bioetanol i 0,6% – biodiesel). Strukturę kosztów produkcji biopaliw przedstawiono na rys. 1.

Tabela 2. Koszty produkcji i przetworzenia plonu pszenicy ozimej i rzepaku ozimego na bioetanol i biodiesel

Table 2. Costs of production and processing of winter wheat and winter rape crop into bioethanol and biodiesel

Wyszczególnienie	Biodiesel zł·ha ⁻¹	Bioetanol zł·ha ⁻¹
Koszt produkcji roślinnej	1798	1861
Koszt przetworzenia na biopaliwo	2958	4292
Koszt całkowity (poz.1 + poz.2)	4756	6153
Wartość biopaliwa	4756	6153
Wartość słomy	452	510
Wartość śruty postrakcyjnej	2150	–
Dochód całkowity (poz.4 + poz.5 + poz.6)	7358	6663
Efektywność ekonomiczna produkcji biopaliw (poz.7/poz.3)	1,55	1,08

Źródło: obliczenia własne autora



Rys. 1. Struktura kosztów produkcji biodiesla i bioetanolu
 Fig. 1. The structure of production costs for biodiesel and bioethanol

Na podstawie analizy nakładów energii skumulowanej w ocenianych technologiach produkcji roślinnej można stwierdzić, że wyższymi nakładami charakteryzowała się produkcja pszenicy ozimej – $37115 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, która była wyższa o 22,6% od nakładów energii skumulowanej w produkcji rzepaku ozimego – $30253 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. W strukturze nakładów energii skumulowanej największy udział mają materiały i surowce, a najmniejszy praca ludzka (tabela 3). W produkcji pszenicy ozimej nakłady energii skumulowanej w materiałach i surowcach wyniosły $28126 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, co stanowi 75,8% całkowitych nakładów, natomiast w produkcji rzepaku ozimego $21469 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ tj. 71%. Rozpatrując natomiast nakłady energii skumulowanej w maszynach i narzędziach wykorzystanych w produkcji roślinnej można stwierdzić, że największą energochłonnością charakteryzuje się uprawa roli, która w przypadku pszenicy wyniosła $1845 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, co stanowi 141,2% nakładów energii zawartej w maszynach i narzędziach, natomiast w przypadku rzepaku $1984 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ tj. 41,1%.

Drugą, pod względem nakładów energii skumulowanej, pozycję zajmuje zbiór. W przypadku pszenicy ozimej $1498 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (33,4%), a rzepaku $1427 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (29,6%). Współczynnik efektywności energetycznej w technologii produkcji pszenicy ozimej wyniósł 1,41, natomiast w technologii produkcji rzepaku ozimego 1,35 (tabela 3).

W podsumowaniu można stwierdzić, że wyższy wskaźnik efektywności energetycznej uzyskano przy produkcji biodiesla z rzepaku (2,52) niż przy produkcji bioetanolu z pszenicy (2,05). W analizowanej technologii produkcji rzepaku ozimego i przetworzenia jego plonu na biodiesel energochłonność skumulowana wyniosła $44628 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ z czego 32,2% energii tj. $14375 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ zawarta jest w przetworzonym na biopaliwo plonie.

Tabela 3. Nakłady energii skumulowanej produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego w produkcji roślinnej

Tabela 3. Cumulated energy expenditure for winter wheat and winter rape production in plant production

Nakłady energii skumulowanej	Rzepak ozimy MJ·ha ⁻¹	Pszenica ozima MJ·ha ⁻¹
Maszyny i narzędzia	4826	4481
Paliwo	3648	4230
Praca ludzka	310	278
Materiały i surowce	21469	28126
Razem nakłady energii skumulowanej	30253	37115
Efektywność energetyczna produkcji roślinnej	1,35	1,41

Źródło: obliczenia własne autora

Natomiast w produkcji bioetanolu z pszenicy ozimej, w rozpatrywanej technologii produkcji pszenicy ozimej, energochłonność skumulowana była wyższa o 56,9% od energochłonności produkcji biodiesla – wyniosła 70001 MJ·ha⁻¹, z czego 37115 MJ·ha⁻¹ (53%) przypadło na produkcję pszenicy, a 32886 MJ·ha⁻¹ (47%) na jej przetworzenie na bioetanol.

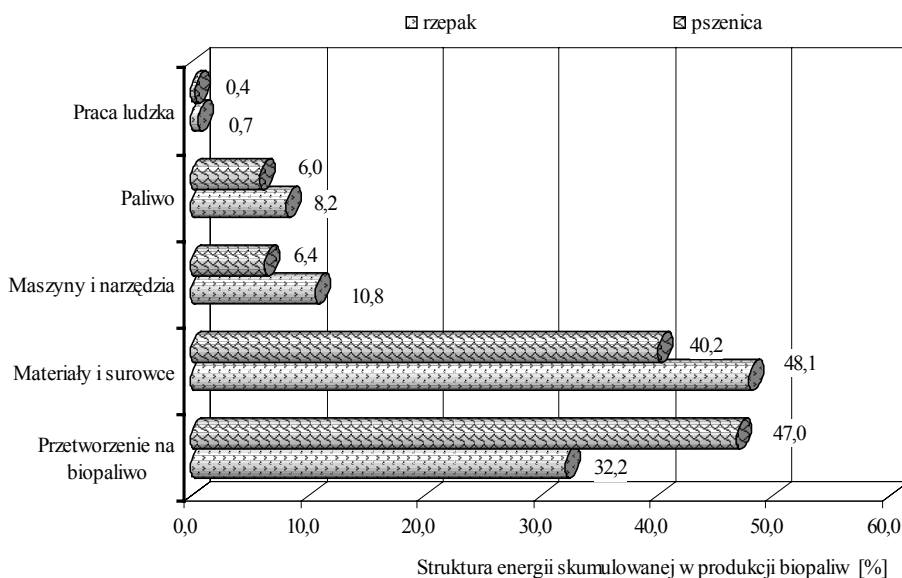
Tabela 4. Bilans energetyczny produkcji i przetworzenia plonu pszenicy ozimej oraz rzepaku ozimego na biopaliwa

Table 4. Energy balance for production and processing of winter wheat and winter rape crop into biofuels

Wyszczególnienie	Rzepak ozimy MJ·ha ⁻¹	Pszenica ozima MJ·ha ⁻¹
Wartość energetyczna przypadająca na produkcję biopaliw	44628	70001
Wartość energetyczna biopaliwa	45288	48024
Wartość energetyczna słomy	66300	95700
Wartość energetyczna śruty postrakcyjnej	1085	–
Uzyskana wartość energetyczna po przetworzeniu	112673	143724
Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji biopaliw	2,52	2,05
Uzysk energii netto	68044	73723

Źródło: obliczenia własne autora

Przeliczając uzyskane produkty na jednostkę energii, można stwierdzić, że uzysk energii netto w przypadku produkcji biodiesla wyniósł 68044 MJ·ha⁻¹, a produkcji bioetanolu 73723 MJ·ha⁻¹ co oznacza, że mniejsze nakłady poniesiono na jego wyprodukowanie niż odzyskano je w postaci wyprodukowanego biopaliwa (tabela 4). Strukturę energii skumulowanej zawartej w produkcji biodiesla i bioetanolu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Struktura nakładów energii skumulowanej produkcji biodiesla i bioetanolu
 Fig. 2. The structure of cumulated energy expenditure for biodiesel and bioethanol production

Analizując procentowy udział w strukturze (rys.2) nakładów energii skumulowanej w produkcji biopaliw można stwierdzić, że największym udziałem charakteryzuje się proces przetworzenia na biopaliwo – 47% w przypadku bioetanolu i 32,2% w przypadku biodiesla oraz materiały i surowce odpowiednio 40,2% i 48,1%. Najniższe nakłady energii skumulowanej zawarte były w pracy ludzkiej (0,4% bioetanol i 0,7 biodiesel).

Wnioski

1. Z przeprowadzonych badań wynika, że produkcja biodiesla może być opłacalna pod warunkiem sprzedaży nie tylko biopaliwa, ale także słomy i śruty poekstrakcyjnej. Dotyczy to również efektywności energetycznej produkcji biodiesla.
2. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że produkcja biodiesla z rzepaku ozimego (wskaźnik efektywności 2,27) oraz bioetanolu z pszenicy ozimej jest opłacana (wskaźnik efektywności 2,13).
3. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że uzysk energii netto w przypadku produkcji biodiesla wyniósł $68044 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast w produkcji bioetanolu $73723 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ – przy założeniu wykorzystania słomy i śruty poekstrakcyjnej w przypadku rzepaku.

Bibliografia

- Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki Z.** 1979. Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. Wydaw. IBMER, Warszawa. s. 23-28.
- Mokrzycki E. i zespół.** 2005. Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi. Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH Kraków. ISBN 83-89388-23-5
- Muzalewski A.** 2009. Koszty eksploatacji maszyn. Wydaw. IBMER, Nr 24. Warszawa. ISBN 978-83-806-31-4
- Richards I.R.** 2000. Energy balances in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanol. Levington Agriculture Report. BABFO. s. 9-38
- Wójcicki Z.** 2000. Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. Wydaw. IBMER. Warszawa. ISBN 83-86264-62-4

ASSESSMENT OF ECONOMIC AND ENERGY EFFICIENCY FOR THE PRODUCTION OF WINTER WHEAT AND WINTER RAPE USED TO MANUFACTURE BIOFUELS

Abstract. The research included an economic and energy analysis and an assessment of winter wheat and winter rape production technologies, and processing of obtained products into biofuels. Then, the researchers calculated economic and energy efficiency for the production of biodiesel based on winter rape, and of bioethanol – based on winter wheat. The completed studies indicate that production of biofuels may be profitable provided that the resultant sale covers not only biofuel but straw as well, and in case of rap-e – extracted meal. This also applies to biofuel production energy efficiency.

Key words: biodiesel, bioethanol, production cost, amount of labour, economic efficiency, energy efficiency

Adres do korespondencji:

Tomasz K. Dobek; e-mail: tomasz.dobek@zut.edu.pl
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/3
71-459 Szczecin