Łukasiewicz
PORT
Polski Ośrodek
Rozwoju
Technologii

LEKKIE I EKOLOGICZNE: ODKRYWANIE MATERIAŁÓW PRZYSZŁOŚCI

1. Elementy potrzebne do wykonania doświadczenia

Warsztat nr 1 – Konstrukcje lekkie

Stanowiska uczestników:

- Długopis, linijka, kartka do notowania **1/zespół**
- 5 kartek o gramaturze 100g/m² oraz klej **1/zespół**

Stolik pomocniczy:

- Stacje do zginania materiałów (dwa rodzaje) **4/warsztat**
- Próbki/zdjęcia konstrukcji lekkich **1/warsztat**
- Zestaw ciężarków o różnej masie **1/zespół**
- Drukarka 3D **4/warsztat**

Warsztat nr 2 – Biopolimery i gospodarka o obiegu zamkniętym

Stanowiska uczestników:

- 250 ml zlewka **1/zespół**
- Szklana bagietka **1/zespół**
- Waga analityczna **1/zespół**
- Naczynko wagowe **1/zespół**
- Tryskawka z wodą **1/zespół**
- Mieszadło magnetyczne **1/zespół**

Stolik pomocniczy:

- Zlewka 150 ml z żelatyną i łyżka **1/zespół**
- Zlewka 150 ml z gliceryną i łyżką **1/zespół**
- Zlewka 50 ml z olejem **1/zespół**
- Cylinder miarowy **1/zespół**
- Pędzelek **1/zespół**
- Formy do figurek **1/zespół**
- Barwnik **2 kolory/warsztat**
- Brokat **2 kolory/warsztat**
- Wykres gospodarki o obiegu zamkniętym z elementami do wypełnienia i zdjęciami materiałów **1/zespół**
- Elementy do ćwiczeń z produkcją na 1 kg emisji CO_2 oraz właściwości i zastosowaniem polimerów **1/zespół**

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

2. Cel ćwiczenia

Warsztat nr 1 – Konstrukcje lekkie

- Zrozumienie co to są konstrukcje lekkie i jak się je tworzy;
- Ukazanie wykorzystania i użyteczności konstrukcji lekkich oraz przykładów praktycznego zastosowania;
- Zaznajomienie z pojęciem druku 3D oraz drukarkami;
- Umiejętność pracy w zespole.

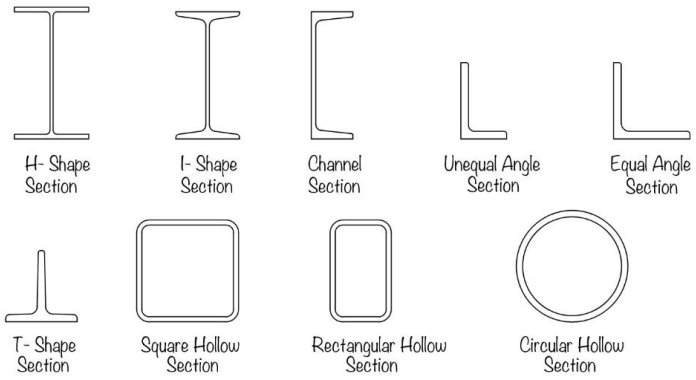
Warsztat nr 2 – Biopolimery i gospodarka o obiegu zamkniętym

- Zrozumienie co to są polimery oraz różnic między zwykłymi i biopolimerami, a także informacji o recyklingu polimerów;
- Ukazanie gospodarki o obiegu zamkniętym i jej istotności;
- Umiejętność pracy ze sprzętem laboratoryjnym.

3. Wstęp teoretyczny

Warsztat nr 1 – Konstrukcje lekkie

Lekka konstrukcja jest kluczową zasadą nowoczesnej techniki i towarzyszy nam na co dzień, od energooszczędnych pojazdów, przez wydajne budowle, aż po oszczędne opakowania. Inżynieria wymaga od dzisiejszych konstrukcji dążenia do jak największej wytrzymałości przy jak najmniejszej masie. Można to osiągnąć stosując specyficzne materiały, takie jak tytan lub włókno węglowe, jednak nie nadają się one do wszystkich zastosowań i bywają kosztowne. Dlatego na przestrzeni lat opracowano inne metody, w szczególności optymalizację kształtu i struktury materiałów.



Rysunek 1. Przykłady profili o różnym przekroju.

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

Jak osiągnąć maksymalną stabilność i nośność przy użyciu jak najmniejszej ilości materiału? Jedną z podstawowych odpowiedzi jest zmiana profilu przekroju. Profile okrągłe równomiernie rozkładają naprężenia i są odporne na skręcanie; profile w kształcie litery U zapewniają wysoką sztywność przy minimalnym zużyciu materiału.

Równie ważna jest struktura wewnętrzna. Włókna ułożone równolegle do osi zginania zwiększają wytrzymałość na rozciąganie, natomiast warstwy prostopadłe zapobiegają odkształceniom i poprawiają ogólną sztywność. W przypadku pełnych elementów (np. drzwi, blatów) zamiast jednolitych brył stosuje się wypełnienia z różnymi rusztowaniami, co zmniejsza masę przy jednoczesnym wzroście wytrzymałości. Przykład różnych struktur ukazuje poniższa fotografia.



Rysunek 2. Przykłady struktur wewnętrznych stosowanych w przemyśle.

Zasady optymalizacji kształtu i struktury nabierają szczególnego znaczenia w kontekście druku 3D, którego dynamiczny rozwój otwiera zupełnie nowe możliwości projektowania lekkich konstrukcji. W tradycyjnych metodach wytwórczych kształt elementu jest często kompromisem między wytrzymałością a możliwościami technologicznymi. Druk 3D pozwala natomiast realizować dowolnie złożone geometrie, w tym struktury kratownicowe, wewnętrzne kanały czy gradientowe wypełnienia, niemożliwe do uzyskania innymi sposobami. Jednocześnie materiał nanoszony jest wyłącznie tam, gdzie jest potrzebny, co z założenia minimalizuje odpady. Warunkiem jest jednak przemyślane projektowanie: nieoptymalne ustawienie modelu, zbędne podpory czy źle dobrane wypełnienie prowadzą do nadmiernego zużycia filamentu lub żywicy, wydłużają czas druku i osłabiają gotowy element. Dlatego znajomość zasad, momentu bezwładności przekroju, rozkładu naprężeń czy zachowania materiału pod obciążeniem jest **kluczowa** już na etapie projektowania pliku wejściowego zanim trafi on do drukarki.

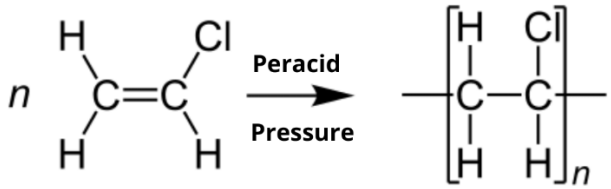
Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

Warsztat nr 2 – Biopolimery i gospodarka o obiegu zamkniętym

Zrównoważone materiały oraz technologie oszczędzające zasoby odgrywają kluczową rolę we współczesnej technice. Szczególnie w obszarze tworzyw sztucznych pojawia się pytanie, w jaki sposób materiały mogą być wytwarzane, wykorzystywane i ponownie przetwarzane, aby ograniczyć obciążenie środowiska.



Rysunek 3. Schemat reakcji otrzymywania poli(chlorku winylu).

Polimery to struktury złożone z powtarzalnych jednostek zwanych merami. Przykładem jest poli(chlorek winylu), zbudowany z wielu cząsteczek chlorku winylu. Wykazują szereg zalet: lekkość, wytrzymałość, łatwość produkcji i szeroką gamę zastosowań. Niestety są jednocześnie materiałem trudnym do recyklingu, a wyrzucone potrafią rozkładać się od kilku do kilkuset lat. Odpowiedzią na to wyzwanie są biopolimery, tworzywa przyjazne środowisku, wytwarzane z surowców naturalnych. Wyróżnia się dwa podejścia: bio-odpowiedniki konwencjonalnych polimerów, np. bio-PET, produkowany w 30% z surowców odnawialnych, głównie z granulatu trzciny cukrowej oraz polimery w 100% naturalne, jak polilaktyd (PLA), który jest biodegradowalnym polimerem pozyskiwany z kukurydzy, stosowany jako zamiennik PET. Innym przykładem jest żelatyna. Jej długie łańcuchy białkowe, po podgrzaniu i połączeniu z wodą i gliceryną tworzą sieć stabilizowaną wiązaniami wodorowymi, zachowującą się jak polimer i nadającą materiałowi elastyczność oraz wytrzymałość.

Zagadnienia bio- oraz biodegradowalności są ważne z punktu widzenia gospodarki o obiegu zamkniętym lub gospodarki cyrkularnej (Circular Economy). Jest to model biznesowy, który minimalizuje zużycie surowców i powstawanie odpadów, tworząc zamknięte pętle procesów, w których odpady stają się surowcami kolejnych etapów produkcji. Schemat ilustruje, jak wybory na poszczególnych etapach, od wytwarzania, przez użytkowanie, po utylizację wpływają na zrównoważony rozwój i efektywność wykorzystania zasobów oraz na ograniczenie emisji CO_2. W ten sposób powstaje spójny proces ukazujący współdziałanie materiału, jego właściwości oraz zrównoważonego zastosowania w technice, przemyśle i życiu codziennym. Schemat ukazuje również jak wybory na poszczególnych etapach wpływają na zrównoważony rozwój i efektywność wykorzystania zasobów.

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580



Rysunek 4. Schemat gospodarki o obiegu zamkniętym.

4. Przebieg zajęć

Rozdanie fartuchów uczestnikom, przekazanie informacji, że w laboratorium nie jemy/pijemy, nie żujemy gumy (gdy ktoś to robi ma ją wyrzucić), a osoby z długimi włosami mają je spiąć (gdy nie można, dać je za fartuch). Pracujemy w zespołach i podzielić uczestników na zespoły 2-3 osobowe.

Pytania przed zajęciami:

- **Jakie kształty w naturze są lekkie, a jednocześnie bardzo wytrzymałe?** Kształty takie jak struktury plastra miodu w ulach, kości ptaków i pajęczyny są lekkie, ale niezwykle wytrzymałe, ponieważ efektywnie rozkładają siły przy minimalnym zużyciu materiału.

- **Czy więcej materiału zawsze oznacza większą wytrzymałość?** Nie, wytrzymałość zależy zarówno od materiału, jak i geometrii. Dobrze zaprojektowany kształt, taki jak rura lub kratownica, może być wytrzymalszy niż lity blok, przy mniejszym zużyciu materiału**.**

- **Czy most zbudowany z takiej karty może utrzymać ciężki przedmiot?** Pokazać coś ciężkiego – zostanie to sprawdzone podczas zajęć**.**

- **Tworzywa sztuczne – dobre czy złe?** Tworzywa sztuczne są przydatne, ponieważ są trwałe i wszechstronne, ale stają się szkodliwe, gdy są nadużywane i nie są odpowiednio poddawane recyklingowi, co prowadzi do zanieczyszczenia środowiska i długiego czasu rozkładu.

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

- **Dlaczego tradycyjne tworzywa sztuczne rozkładają się tak długo?** Ma silne wiązania węglowo-węglowe, których mikroorganizmy nie są w stanie łatwo rozłożyć, dzięki czemu jest odporny na naturalny rozkład przez setki lat.

- **Załóżmy, że wszystkie opakowania w sklepach byłyby wykonane z biopolimerów – jakie byłyby zalety i wady takiego rozwiązania?** Zalety: szybszy rozkład biologiczny, mniejszy wpływ na środowisko i mniejsza emisja CO_2. Wady: wyższe koszty produkcji, krótszy okres przydatności do spożycia i czasami mniejsza wytrzymałość mechaniczna w porównaniu z konwencjonalnymi tworzywami sztucznymi.

WARSZTAT NR 1 – LEKKIE KONSTRUKCJE

Doświadczenie 1 – Druk 3D

Opis doświadczenia:

1. Prowadzący przedstawia drukarkę 3D uczestnikom, omawia podstawowe zasady.
2. Jeden z uczestników rozpoczyna druk podstawowego modelu, tzw. benchy.
3. W trakcie drukowania uczestnicy przechodzą do następnych doświadczeń.
4. Pod koniec zajęć prowadzący pokazuje i omawia wydrukowany model.

Doświadczenie 2 – Ugięcie materiałów

Opis doświadczenia:

1. Uczestnicy odwiedzają dwa rodzaje stanowisk do wyginania materiałów przedstawionych na poniższych fotografiach.
2. Uczestnicy umieszczają ciężar na każdej próbce i mierzą jej wychylenie od poziomu zaznaczonego przez sznurek.
3. Po wykonaniu pomiarów uczestnicy zmieniają stanowiska i ponownie wykonują pomiary.





Obserwacje: Próbki wyginają się w różny sposób, co wynika z materiału wykonania, struktury i profilu.

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

Doświadczenie 3 – Lekkie konstrukcje

Opis doświadczenia:

1. Prowadzący pokazuje próbki różnych lekkich konstrukcji (patrz zdjęcie poniżej) i rozpoczyna dyskusję na temat ich konkretnego przeznaczenia.



2. Prowadzący rozdaje każdej grupie pięć arkuszy papieru o gramaturze 100 g/m² oraz klej.
3. Uczestnicy budują własną próbkę lekkiej konstrukcji w postaci mostu.
4. Prowadzący mierzy sztywność/wytrzymałość konstrukcji uczestników umieszczając na nich kolejno ciężarki o coraz większym ciężarze.

WARSZTAT NR 2 – BIOPOLIMERY I GOSPODARKA O OBIEGU ZMAKNIĘTYM

Doświadczenie 1 – Biopolimery

Description:

1. Uczestnicy odważają 10 g żelatyny z pomocą wagi analitycznej, łyżki i naczynka wagowego.
2. Uczestnicy odmierzają z pomocą cylindra miarowego 40 ml wody i wlewają ją do zlewki o pojemności 250 ml.
3. Do zlewki z wodą dodają odmierzoną żelatynę, dwie łyżki gliceryny, barwnik i brokat.
4. Zlewkę umieszczają na mieszadle magnetycznym, ustawiają temperaturę na 90°C i mieszają szklaną bagietką, aż wszystkie składniki całkowicie się połączą.
5. Uczestnicy przygotowują formy i delikatnie smarują je olejem za pomocą pędzelka, aby uniknąć przyklejenia się biopolimerów do form.
6. Uczestnicy wlewają ciecz ze zlewki do form i odstawiają je do zżelowania. Proces ten wymaga minimum 20 minut.
7. Uczestnicy przechodzą do doświadczenia nr 2 i nr 3.
8. Na koniec uczestnicy wyciągają próbki biopolimerów z form i porównują je z wydrukowanymi za pomocą druku 3D modelami.

Interreg
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

Doświadczenie nr 2 – Gospodarka o obiegu zamkniętym (circular economy)

Opis doświadczenia:

1. Prowadzący rozdaje grupie wykres gospodarki o obiegu zamkniętym oraz karty z poszczególnymi jego etapami.
2. Uczestnicy dopasowują elementy do wykresu i po zakończeniu zadania omawiają prawidłowe odpowiedzi. Poprawnie wypełniony obieg przedstawiony jest poniżej:



3. Uczestnicy dopasowują zdjęcia materiałów zgodnie z ich współczynnikiem emisji CO_2 na produkcję 1 kg materiału. Poprawne odpowiedzi zawiera poniższa tabela.

Materiał	Produkcja na emisję 1 kg CO_2 (g)
Włókno węglowe	15 g
Magnez	35 g
Aluminium	89 g
Stal	364 g
Polipropylen	560 g
Recyklingowany Polipropylen	1 890 g

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

Doświadczenie 3 – Zastosowanie polimerów

Opis doświadczenia:

1. Uczestnicy mają dopasować polimer i jego właściwości do zastosowania. Prawidłowa kolejność jest przedstawiona w poniższej tabeli:

Polimer	Właściwości	Zastosowanie
Politereftalan etylenu (PET)	Przezroczysty, lekki, odporny na chemikalia, dobra barierowość dla gazów, stosunkowo tani w produkcji	Butelki na napoje, opakowania spożywcze, włókna (polar, ubrania)
Polietylen o wysokiej gęstości (HDPE)	Twardy, odporny na uderzenia i wilgoć, nieprzezroczysty, bezpieczny kontakt z żywnością, odporny na wyższą temperaturę	Kanistry, butelki na detergenty, rury wodociągowe, zabawki
Polichlorek Winylu (PCV)	Twardy lub elastyczny (z plastyfikatorem), odporny na ogień i chemikalia, trwały, tani	Rury instalacyjne, okna, podłogi winylowe, kable elektryczne
Polipropylen (PP)	Lekki, odporny na temperaturę (do 130°C), elastyczny, odporny na chemikalia, zgina się bez pękania	Pojemniki do mikrofalówki, słomki, elementy samochodowe, nici chirurgiczne
Polistyren (PS)	Lekki, kruchy, dobra izolacja termiczna (styropian = spieniony PS), tani, łatwy w formowaniu	Opakowania styropianowe, kubki jednorazowe, izolacja budowlana
Polilaktyd (PLA)	Biodegradowalny, pozyskiwany z kukurydzy/skrobi, przezroczysty, kruchy w niskiej temperaturze, kompostowalny przemysłowo	Jednorazowe sztućce, opakowania na żywność, filamenty do druku 3D, szwy chirurgiczne
Żelatyna (GEL)	Pochodzi ze skóry/kości zwierząt, biodegradowalna, jadalna, sieć wiązań wodorowych, wrażliwa na wodę i ciepło	Kapsułki leków, żelki, folie opakowaniowe (badania), podłoże hodowli bakterii

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580