

Pisemne sprawozdanie z realizacji zadania pn. **"Promowanie kształcenia ekologicznego zgodnie z zasadą najlepszego wykorzystania surowców"**
z opisem osiągniętego efektu rzeczowego i ekologicznego
(nr WFOŚ/D/210/172/2018)

Dr inż. Beata Bajorowicz

1. Cel projektu

Głównym celem projektu jest kształtowanie postaw proekologicznych i zwiększenie świadomości studentów oraz społeczeństwa poprzez przeprowadzenie modelowych procesów technologicznych pozwalających zrozumieć jak dobór odpowiedniej instalacji wpływa na ilość zużytych surowców, ilość generowanych odpadów w procesie oraz wydajność prowadzonych reakcji, a tym samym w jaki sposób można zmniejszyć oddziaływanie instalacji (na przykładzie instalacji pracującej w zakresie syntezy substancji chemicznych) na środowisko.

2. Projekt i budowa dwóch laboratoryjnych stanowisk dydaktycznych

W ramach zadania "Promowanie kształcenia ekologicznego zgodnie z zasadą najlepszego wykorzystania surowców" zaprojektowano i zbudowano dwa stanowiska dydaktyczne:

- (i) Pierwsza instalacja składa się z pojedynczego reaktora cylindrycznego z mieszaniem, pracującego w trybie okresowym oraz charakteryzującego się periodycznym doprowadzeniem substratów i odprowadzeniem produktów.
- (ii) Druga instalacja złożona jest z trzech reaktorów cylindrycznych z mieszaniem, połączonych kaskadowo i pracujących w trybie periodycznym.

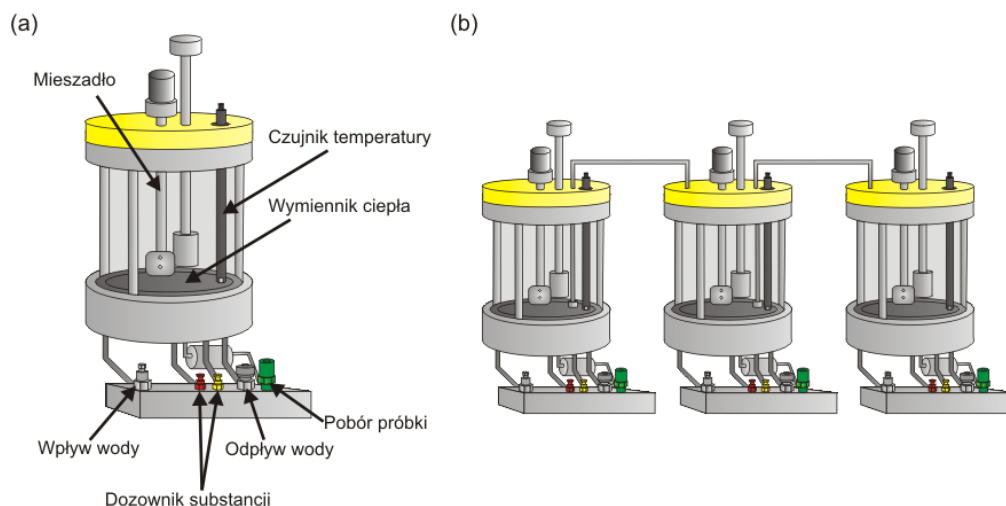
Reaktory zostały wykonane na zamówienie według specyfikacji technicznej przedstawionej poniżej oraz wizualizacji przedstawionej na Rys. 1.

Wykonanie reaktorów ze stali nierdzewnej nie gorszej niż AISI 304 o parametrach:

- pojemność około 1,5 dm³;
- mocowania kołnierzowe z możliwością demontażu walcza reaktora;
- zasilanie 230 V.

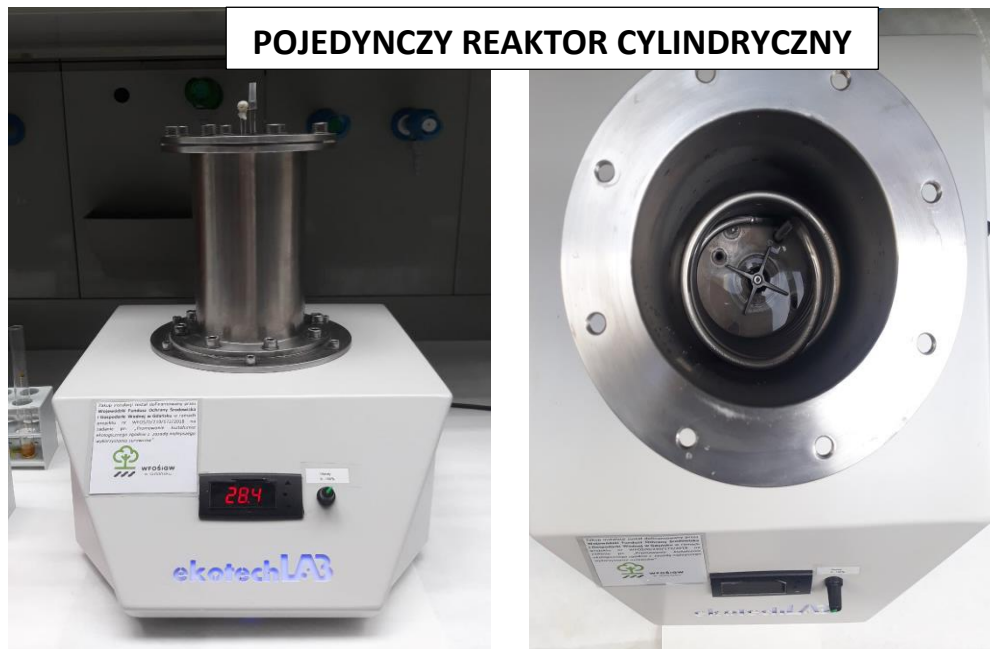
Ponadto reaktory powinny być wyposażone w:

- estetyczną podstawę kryjącą mechanizm mieszania, układy elektryczne i hydrauliczne;
- mieszadło mechaniczne o regulowanych obrotach umieszczone od dołu;
- wężownicę wykonaną z rury o średnicy zewnętrznej 6 mm;
- króciec spustowy z zaworem odcinającym zakończony przejściem grodziowym z boku podstawy reaktora;
- króciec napełniający z zaworem odcinającym zakończony przejściem grodziowym z boku podstawy reaktora;
- króciec napełniający umieszczony w pokrywie reaktora;
- króciec opróżniający umieszczony w pokrywie reaktora;
- czujnik temperatury typu PT100 zamocowany w podstawie reaktora;
- wyświetlacz pokazujący aktualną temperaturę w reaktorze.

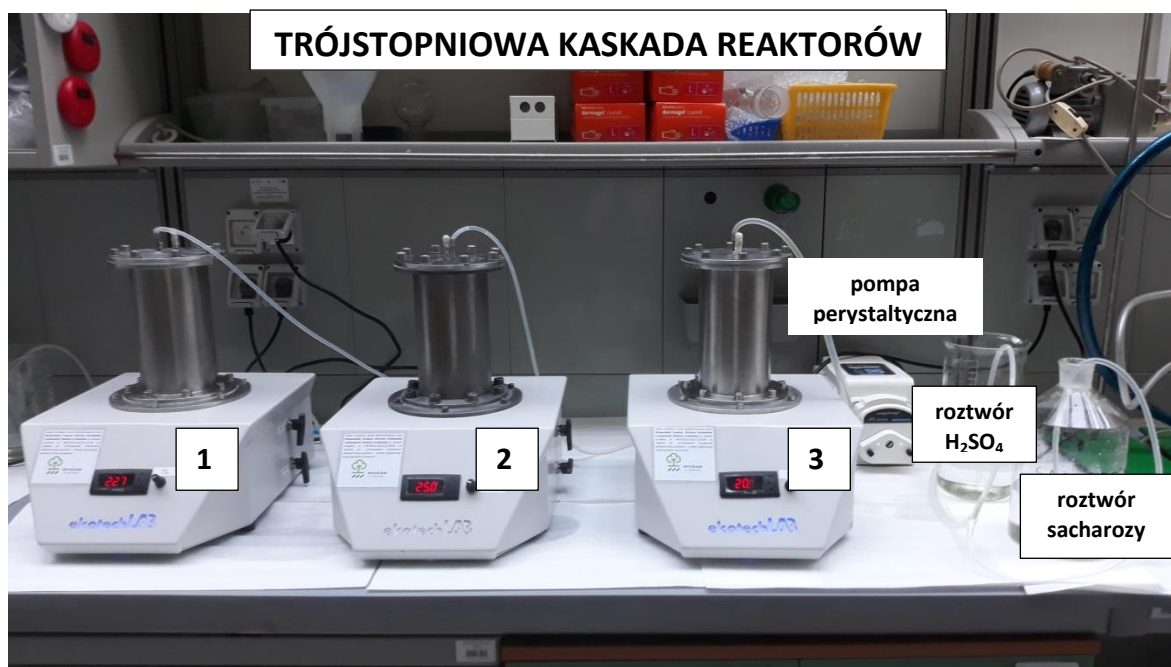


Rys. 1. Schemat (a) reaktora cylindrycznego z mieszaniem pracującego w trybie periodycznym, (b) trójstopniowej kaskady reaktorów.

Zdjęcia przedstawiające instalacje zbudowane z reaktorów do prowadzenia reakcji hydrolizy przedstawiono na Rys. 2. i Rys. 3. Stanowiska dydaktyczne składające się z reaktorów zostały zbudowane zgodnie z wytycznymi zawartymi w projekcie oraz powyższą specyfikacją techniczną.



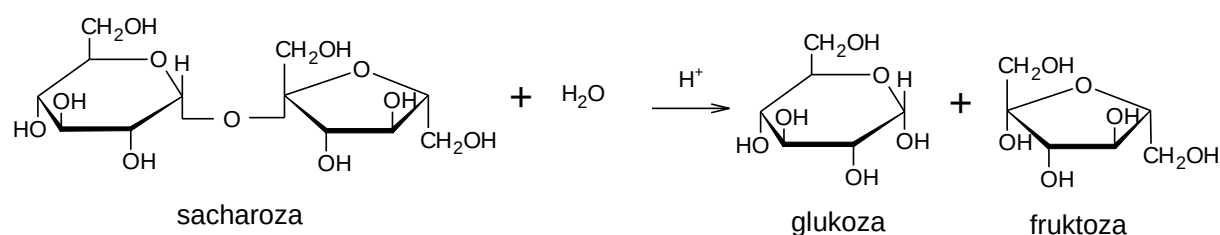
Rys. 2. Zdjęcia pojedynczego reaktora cylindrycznego z mieszaniem pracującego w trybie periodycznym (widok z przodu i z góry).



Rys. 3. Zdjęcie instalacji składającej się z trójstopniowej kaskady reaktorów pracujących w trybie periodycznym.

3. Opracowanie i przetestowanie modelowej reakcji hydrolizy oraz sporządzenie bilansu masowego i energetycznego na dwóch stanowiskach dydaktycznych

Powyższe instalacje złożone z reaktorów pozwalają na przeprowadzenie różnych reakcji chemicznych stosowanych w przemyśle. W ramach niniejszego projektu opracowano i przeprowadzono reakcję hydrolizy sacharozy (stosowaną w przemyśle spożywczym) z wykorzystaniem pojedynczego reaktora i kaskady reaktorów. Hydroliza sacharozy w obecności kwasowego katalizatora przebiega według schematu przedstawionego poniżej.



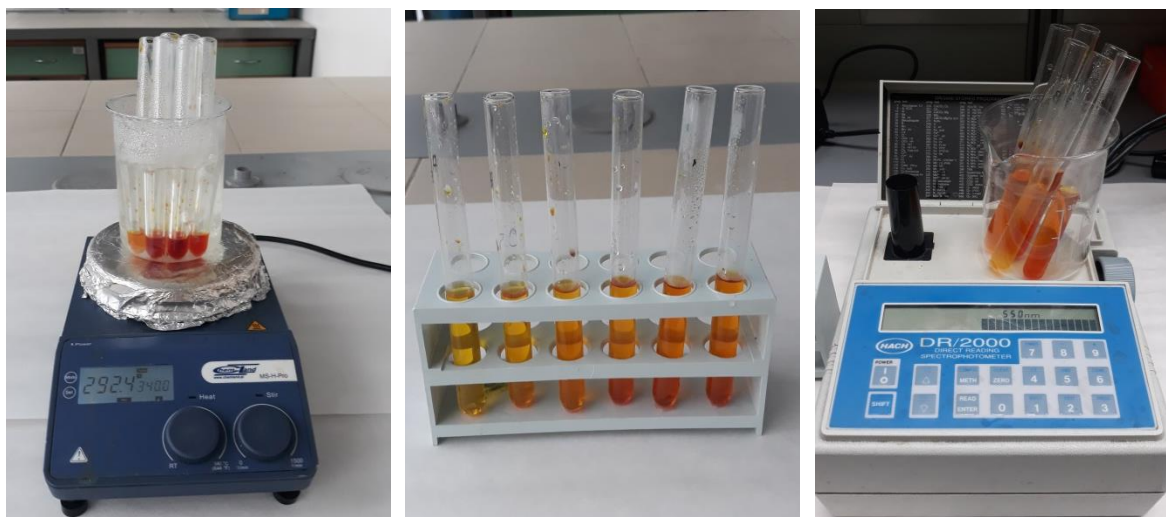
Rys. 4. Schematyczne przedstawienie hydrolizy sacharozy w obecności kwasowego katalizatora.

Selektywność przebiegu reakcji hydrolizy dwucukru oraz zużycie surowców zależy głównie od typu reaktora oraz trybu pracy instalacji. Postęp reakcji hydrolizy sacharozy należy wyznaczyć określając zawartość produktu przybywającego w czasie. W powyższej reakcji

produktami są glukoza i fruktoza będące cukrami redukującymi, dlatego z jednego mola sacharozy powstają dwa mole cukrów redukujących.

Przeprowadzenie modelowej reakcji hydrolizy

- (a) Przed przystąpieniem do doświadczenia: odważyć odpowiednią ilość sacharozy i rozpuścić w wodzie dejonizowanej, przygotować mieszaninę H_2SO_4 i wody dejonizowanej oraz statyw z trzema rzędami probówek (po 6 probówek w każdym rzędzie). Probówki A powinny być puste, do probówek B dodać odpowiednią ilość NaOH, a do probówek C dodać odczynnik DNS.
- (b) Przeprowadzenie reakcji: w reaktorze cylindrycznym umieścić roztwór sacharozy, w celu zainicjowania reakcji do reaktora wprowadzić roztwór H_2SO_4 , natychmiast pobrać strzykawką ok. 2 ml mieszaniny reakcyjnej (próbka zerowa), następnie co 10 minut przez 45 minut trwania reakcji pobierać strzykawką około 2 ml roztworu, a następnie przelać do probówki A. Z probówki A pobrać pipetą 1 ml roztworu i przelać do probówki B zawierającej wcześniej odpipetowaną zasadę. Do pomiaru cukrów redukujących pobrać z probówki B odpowiednią ilość roztworu i przelać do probówki C zawierającej wcześniej odpipetowany odczynnik DNS. Notować temperaturę reakcji.
- (c) Oznaczanie mieszaniny glukozy/fruktozy z odczynnikiem DNS: Ogrzewać probówki C na wrzącej łaźni wodnej na mieszadle magnetycznym z grzaniem. Następnie wyjąć probówki, ochłodzić w zimnej wodzie do temperatury pokojowej. Dodać 8 ml wody destylowanej. Po 25 minutach od wyciągnięcia z wrzącej łaźni wodnej wykonać pomiar absorbancji ($\lambda = 550 \text{ nm}$) wobec próby kontrolnej.
Przyrost stężenia glukozy świadczy o postępie reakcji (zmiana barwy zachodzi od żółtej świadczącej o znikomej ilości cukrów do pomarańczowej i czerwonej – odpowiadające znacznej ilości cukrów).
- (d) Prowadzenie reakcji hydrolizy sacharozy w kaskadzie reaktorów: podłączyć pompę perystaltyczną oraz węże pomiędzy reaktorami. Wężyki wchodzące do pompy umieścić w zlewkach zawierających roztwór sacharozy i kwasu siarkowego. Uruchomić pompę. Z pierwszego i trzeciego reaktora pobierać próbki co 10 minut i analizować próbki zgodnie z powyższą procedurą.



Rys. 4. Oznaczanie mieszaniny glukozy/fruktozy za pomocą odczynnika DNS.

Następnie sporządzono bilans masowy i energetyczny modelowej reakcji hydrolizy sacharozy z wykorzystaniem zarówno pojedynczego reaktora cylindrycznego, jak i trójstopniowej kaskady reaktorów.

Bilans materiałowy: hydroliza sacharozy w środowisku kwaśnym z wykorzystaniem dwóch różnych typów reaktorów – zestawienie tabelaryczne

(a) Pojedynczy reaktor

Czynność jednostkowa	PRZYCHÓD			ROZCHÓD		
	Surowce	Masa, g	Udział, %	Produkty	Masa, g	Udział, %
Hydroliza	Sacharoza	10,1	0,98	Glukoza/fruktoza	5,13	0,5
	H ₂ SO ₄	55,2	5,33	Mieszanina reakcyjna	1030,17	99,5
	H ₂ O	970 (152+818)	93,69			
	SUMA	1035,3	100	SUMA	1035,3	100

(b) Kaskada reaktorów

Czynność jednostkowa	PRZYCHÓD			ROZCHÓD		
	Surowce	Masa, g	Udział, %	Produkty	Masa, g	Udział, %
Hydroliza	Sacharoza	30,3	0,98	Glukoza/fruktoza	27,68	0,89
	H ₂ SO ₄	165,6	5,33	Mieszanina reakcyjna	3078,22	99,11
	H ₂ O	2910	93,69			
	SUMA	3105,9	100	SUMA	3105,9	100

Bilans energetyczny: hydroliza sacharozy w środowisku kwaśnym z wykorzystaniem dwóch różnych typów reaktorów – zestawienie tabelaryczne

(a) Pojedynczy reaktor

Czynność jednostkowa	PRZYCHÓD		ROZCHÓD	
	Obliczenia	Strumienie	Obliczenia	Strumienie
Hydroliza	$H = C_w \cdot \Delta T \cdot m$ $\Delta T = 5 \text{ K}$ $C_w C_{12H_{22}O_{11}} = 1,204 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ $C_w H_2O = 4,184 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ $C_w H_2SO_4 = 1,465 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$	$H_{C_{12}H_{22}O_{11}} = 0,061 \text{ kJ}$ $H_{H_2O} = 20,29 \text{ kJ}$ $H_{H_2SO_4} = 0,40 \text{ kJ}$	Założenie: 10% strat ciepła	$H_{\text{wychodzące/strumień}} = 18,67 \text{ kJ}$ $H_{\text{wychodzące/straty}} = 2,08 \text{ kJ}$
	SUMA	20,75 kJ	SUMA	20,75 kJ

(a) Kaskada reaktorów

Czynność jednostkowa	PRZYCHÓD		ROZCHÓD	
	Obliczenia	Strumienie	Obliczenia	Strumienie
Hydroliza	$H = C_w \cdot \Delta T \cdot m$ $\Delta T = 2 \text{ K}$ $C_w C_{12H_{22}O_{11}} = 1,204 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ $C_w H_2O = 4,184 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ $C_w H_2SO_4 = 1,465 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$	$H_{C_{12}H_{22}O_{11}} = 0,073 \text{ kJ}$ $H_{H_2O} = 24,35 \text{ kJ}$ $H_{H_2SO_4} = 0,49 \text{ kJ}$	Założenie: 20% strat ciepła	$H_{\text{wychodzące/strumień}} = 19,93 \text{ kJ}$ $H_{\text{wychodzące/straty}} = 4,98 \text{ kJ}$
	SUMA	24,91 kJ	SUMA	24,91 kJ

Zaprojektowane i zbudowane instalacje złożone z reaktorów w jasny sposób uświadamiają odbiorcy problem odpowiedniego doboru urządzeń, który wpływa na wydajność prowadzonej reakcji i tym samym na zużycie surowca oraz generowanie odpadów. Główną wadą pojedynczego reaktora jest niska wydajność z jednostki objętości aparatu, która jest spowodowana małą szybkością reakcji. Zastosowanie do prowadzenia procesu kilku reaktorów połączonych szeregowo (kaskadę reaktorów) pozwala na rozwiązanie tego problemu. Kaskada reaktorów umożliwia osiągnięcie wyższego stopnia przemiany, a także cechuje się lepszymi warunkami wymiany ciepła niż w pojedynczym reaktorze. W ostatnim reaktorze kaskady stężenie, a więc i szybkość reakcji są takie same jak w pojedynczym reaktorze, ale w każdym z poprzednich członów kaskady stężenia substratów oraz szybkości

reakcji są kolejno coraz większe. W wyniku tego średnia szybkość reakcji w kaskadzie reaktorów jest większa niż w pojedynczym reaktorze. Jednocześnie wraz ze wzrostem średniej szybkości przemiany zwiększa się również wydajność z jednostki objętości przestrzeni reakcyjnej kaskady reaktorów w porównaniu z pojedynczym reaktorem cylindrycznym. Ze wzrostem liczby stopni kaskady zwiększa się wydajność z jednostki objętości aparatu. Jednakże wzrastają również koszty inwestycyjne i eksploatacyjne aparatury. Z tego względu dla danego procesu istnieje pewna optymalna liczba stopni kaskady. Warto podkreślić, że powinno się brać pod uwagę czynnik ekonomiczny już na etapie projektowania reaktora.

4. Efekt ekologiczny

W ramach zadania pn. "Promowanie kształcenia ekologicznego zgodnie z zasadą najlepszego wykorzystania surowców" opracowano i przeprowadzono nowe zajęcia laboratoryjne dla studentów Wydziału Chemii UG z wykorzystaniem zaprojektowanych i zbudowanych instalacji złożonych z reaktorów. W roku akademickim 2018/2019 w zajęciach dydaktycznych uczestniczyli studenci kierunku Chemia, (około 100 osób, 10 grup laboratoryjnych) oraz kierunku Biznes Chemiczny (około 30 osób, 3 grupy laboratoryjne) w ramach przedmiotu Technologia chemiczna. Przeprowadzono również szkolenie dla nauczycieli akademickich prowadzących laboratorium z Technologii chemicznej w zakresie obsługi i zasady działania instalacji złożonej z pojedynczego reaktora oraz kaskady reaktorów. Ponadto stanowiska dydaktyczne złożone z reaktorów zostały zaprezentowane uczniom, nauczycielom i innym mieszkańcom Pomorza podczas Dni Otwartych Wydziału Chemii UG (20.03.2019 r.). Stanowisko edukacyjne w postaci dwóch różnych instalacji reaktorów odwiedziło około 120-150 osób (12 grup, każda grupa liczyła około 10-15 osób). Wykaz uczestników (poświadczony przez Opiekunów poszczególnych grup), którzy zostali zapoznani z instalacjami reaktorów przedstawia Załącznik nr 1. Ze względu na cykliczność Bałtyckiego Festiwalu Nauki (BFN) prezentacja instalacji reaktorów w 2019 r. podczas tego wydarzenia naukowego była niemożliwa (Bałtycki Festiwal Nauki odbywa się co dwa lata). Prezentacja stanowiska edukacyjnego podczas Bałtyckiego Festiwalu Nauki miała na celu zapoznanie mieszkańców Pomorza (min. 100 osób) ze stanowiskami edukacyjnymi reaktorów i tym samym zwiększyć ich świadomość ekologiczną. Prezentacja dwóch różnych instalacji reaktorów podczas BFN odbędzie się w przyszły rok i kolejnych latach. Na stronie internetowej projektu będą umieszczone relacje z wydarzeń, podczas których będą prezentowane stanowiska edukacyjne zbudowane z pojedynczego reaktora cylindrycznego oraz kaskady reaktorów.



Rys. 5. Prezentacja stanowisk dydaktycznych zbudowanych z pojedynczego reaktora oraz kaskady reaktorów podczas Dni Otwartych Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego w dniu 20.03.2019 r.

Prezentacja instalacji reaktorów podczas Dni Otwartych Wydziału Chemii UG, jak również zajęcia laboratoryjne dla studentów Wydziału Chemii UG umożliwiły:

- wzrost świadomości ekologicznej uczestników;
- propagowanie proekologicznych postaw i dbałości o środowisko;
- zapoznanie się z problemem doboru rodzaju urządzenia i trybu jego pracy na zużycie surowców, wydajność i ilość generowanych odpadów;
- zapoznanie się studentów Wydziału Chemii oraz mieszkańców Województwa Pomorskiego ze sposobami na ograniczenie ilości odpadów w trakcie produkcji przemysłowej;
- zrozumienie potrzeby ograniczania ilości odpadów przez osoby zamieszkałe w Województwie Pomorskim;
- ukształtowanie potrzeby przekonywania innych o odpowiedzialnym korzystaniu z zasobów naturalnych zgodnie z celami perspektywicznymi ujętymi w Programie Ochrony Środowiska Województwa Pomorskiego;
- podejmowanie prób poszukiwania racjonalnych rozwiązań ekologicznych przez uczestników zajęć/warsztatów w obrębie Województwa Pomorskiego.

Warto również podkreślić, że informacja o dofinansowaniu realizacji Zadania ze środków WFOŚiGW w Gdańsku została umieszczona w miejscach i w formie określonej w Zasadach znakowania zadań dofinansowanych ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony

Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku. Na wszystkich instalacjach zbudowanych z reaktorów umieszczone zostało logo Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska oraz informacja z jakiego projektu urządzenia zostały sfinansowane. Ponadto zarówno uczestnicy zajęć laboratoryjnych, jak i odbiorcy pokazów edukacyjnych zostali poinformowani (ustnie, poprzez umieszczenie informacji na drzwiach laboratorium i hali technologicznej, a także na stronie tytułowej instrukcji laboratoryjnej) o dofinansowaniu stanowisk dydaktycznych ze środków WFOŚiGW w Gdańsku.

Strona internetowa:

https://chemia.ug.edu.pl/wydzial/katedry/katedra_tehnologii_srodowiska/projekty_wfosisgw/wfosd2101722018 lub wfosd2101722018 (wyszukiwarka Google)