

# Podstawy rozdziału bioproduktów - instrukcja do ćwiczeń wykonywanych w Pracowni procesów membranowych (pokój 210a)

**Temat:** badanie procesów membranowych.

**Cel ogólny:** zapoznanie się z budową i zasadą działania aparatury do badania procesów membranowych w skali pilotowej.

**Cel szczegółowy:** zbadanie wpływu wybranych parametrów (np.: temperatury, ciśnienia transmembranowego, budowy membrany; modelu pompa obiegowej) na proces filtracji na membranach ceramicznych.

**Badana substancja:** zmieszane oleje przepracowane różnego typu.

**Szczegółowe zasady BHP:** ze względu na specyfikę pracowni i badanego materiału obowiązują:

- odzież ochronna o odpowiedniej długości, z długimi rękawami,
- okulary ochronne,
- obuwie na płaskiej podeszwie,
- jednorazowe rękawiczki (zalecane)

**Wykonywanie:** w zależności od dostępnego czasu i sprawności grupy zostaną wykonane wybrane czynności:

- zapoznanie się z budową aparatury, w tym elementami sterującymi (wszystkie grupy),
- napełnienie aparatury analizowanym medium (wszystkie grupy),
- ustabilizowanie parametrów pracy układu: temperatury i ciśnienia na wejściu i na wyjściu membrany (wszystkie grupy),
- zmierzenie objętościowej wydajności permeatu (wszystkie grupy),
- porównanie podstawowych właściwości nadawy, permeatu i koncentratu (wszystkie grupy),
- zbadanie wpływu zmiany temperatury medium na proces filtracji,
- zbadanie wpływu średnicy porów/MWCO membrany i/lub budowy membrany na proces filtracji,
- zbadanie wpływu zmiany ciśnienia transmembranowego na proces filtracji,
- zbadanie wpływu wyboru modelu pompy obiegowej na proces filtracji,
- zbadanie wpływu stosowania układu do wstecznego przemywania na zmienność procesu filtracji w czasie trwania pomiarów,
- po skończonych pomiarach opróżnienie aparatury z medium (wszystkie grupy),
- posprzątanie pracowni po pomiarach: umycie szkła i ewentualnie podłogi w przypadku rozlania medium (wszystkie grupy).

**Opis aparatury:** głównym elementem aparatury w skali pilotowej do badania procesów membranowych (Ryc. 2) jest wymienny moduł filtracyjny **F2** zawierający membranę ceramiczną o długości 500 mm (Tabela 1). Obudowa modułu membranowego wykonana jest z PVC – C, jej długość wynosi 552 mm, zaś średnica zewnętrzna 50 mm.

**Tabela 1** Porównanie wybranych parametrów membran

Średnica porów	MWCO	Producent	Materiał nośnika	Materiał membrany	$p_{max}$	$T_{max}$	Liczba kanałów	Średnica hydrauliczna kanału	Powierzchnia filtrująca
nm	kDa	--	--	--	bar	°C	--	mm	m <sup>2</sup>
200	~1 760 000	Tami	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	>90	350	23	3,5	0,15
140	~603 680	Tami	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	>90	350	23	3,5	0,15
50	~27 500	Pall	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub>	15	200	19	3,3	0,1
~11,1	300	Tami	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	>90	350	23	3,5	0,15
~8,8	150	Tami	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	>90	350	23	3,5	0,15
5	~28	Pall	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub>	15	200	19	3,3	0,1
~4	15	Tami	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	>90	350	23	3,5	0,15
~2,4	3	Tami	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	>90	350	23	3,5	0,15

Podczas procesu medium zasysane jest przez pompę cyrkulacyjną ze zbiornika roboczego **B2** i pompowana jest przez moduł filtracyjny **F2** z powrotem do zbiornika roboczego. Podczas przepływu nadawy przez moduł filtracyjny, przepuszczany przez membranę permeat może być gromadzony w zbiorniku płuczącym **B3**, zawracany do zbiornika roboczego **B2** lub wyprowadzany poza układ np. do kanistra (kolor pomarańczowy na Ryc. 2). Strumień permeatu mierzony jest za pomocą cylindra mierniczego i stopera, a kontrolowany jest rotametrem **R2**. Rotometr **R1** służy do pomiaru objętościowego natężenia przepływu cyrkulującego medium. Cyrkulująca w układzie nadawa zatężona jest do założonego stężenia. Manometry **P1** i **P3** pokazują odpowiednio ciśnienie na wejściu i wyjściu z membrany. Temperatura cyrkulującego medium mierzona jest termometrem **T1**. Wyłącznik temperaturowy **TS** zabezpiecza układ przed przegrzaniem. System zaworów **Z1 – Z24** służy do sterowania przebiegu procesu.

Stanowisko doświadczalne umożliwia prowadzenie badań przedmiotowego procesu w różnych, stabilizowanych w trakcie pomiarów, temperaturach badanego medium od 20 do 80 °C (293 – 353 K), ciśnieniu na wejściu do membrany do  $6 \cdot 10^5$  Pa, a ciśnieniu na wyjściu z membrany do  $5,9 \cdot 10^5$  Pa i różnych odpowiadających im wartościach szybkości przepływu cieczy przez moduł membranowy. Prowadząc długotrwały proces w temperaturach od 60 do 80 °C (333 – 353 K), nie można przekraczać ciśnienia na wejściu do membrany  $3 \cdot 10^5$  Pa, ze względu na wytrzymałość materiału konstrukcyjnego.

Układ przystosowany jest do prowadzenia długotrwałych badań procesu przy ciągłym doprowadzaniu medium z zewnątrz do zbiornika roboczego. Podzespół wprowadzania medium do układu (oznaczony kolorem zielonym na Ryc. 2) składa się z zainstalowanej na ruchomym stelażu pompy zębatej **PO3** typu PZ 18 AT z silnikiem elektrycznym SN 71 – 4B oraz przetwornikiem częstotliwości **E5**. W razie potrzeby można zamontować dodatkowo wstępny filtr cieczowy **F1** typu SF5 o rozmiarze oczek 80 µm.

Za cyrkulację medium odpowiada pompa obiegowa **PO1** typu CHI 4-40 firmy Grundfos (oznaczona na Ryc. 2 kolorem fioletowym) lub pompa **PO2** typu CRI 3-21 również firmy Grundfos (Tabela 2) umożliwiającą osiągnięcie wyższego ciśnienia roboczego do  $7 \cdot 10^5$  Pa (pompa **PO2** wraz z bajpasem /zawór **Z18**/, wyłącznikiem i zabezpieczeniem elektrycznym **E2** jest zainstalowana równolegle z pompą obiegową **PO1** i oznaczona na Ryc. 2 kolorem różowym).

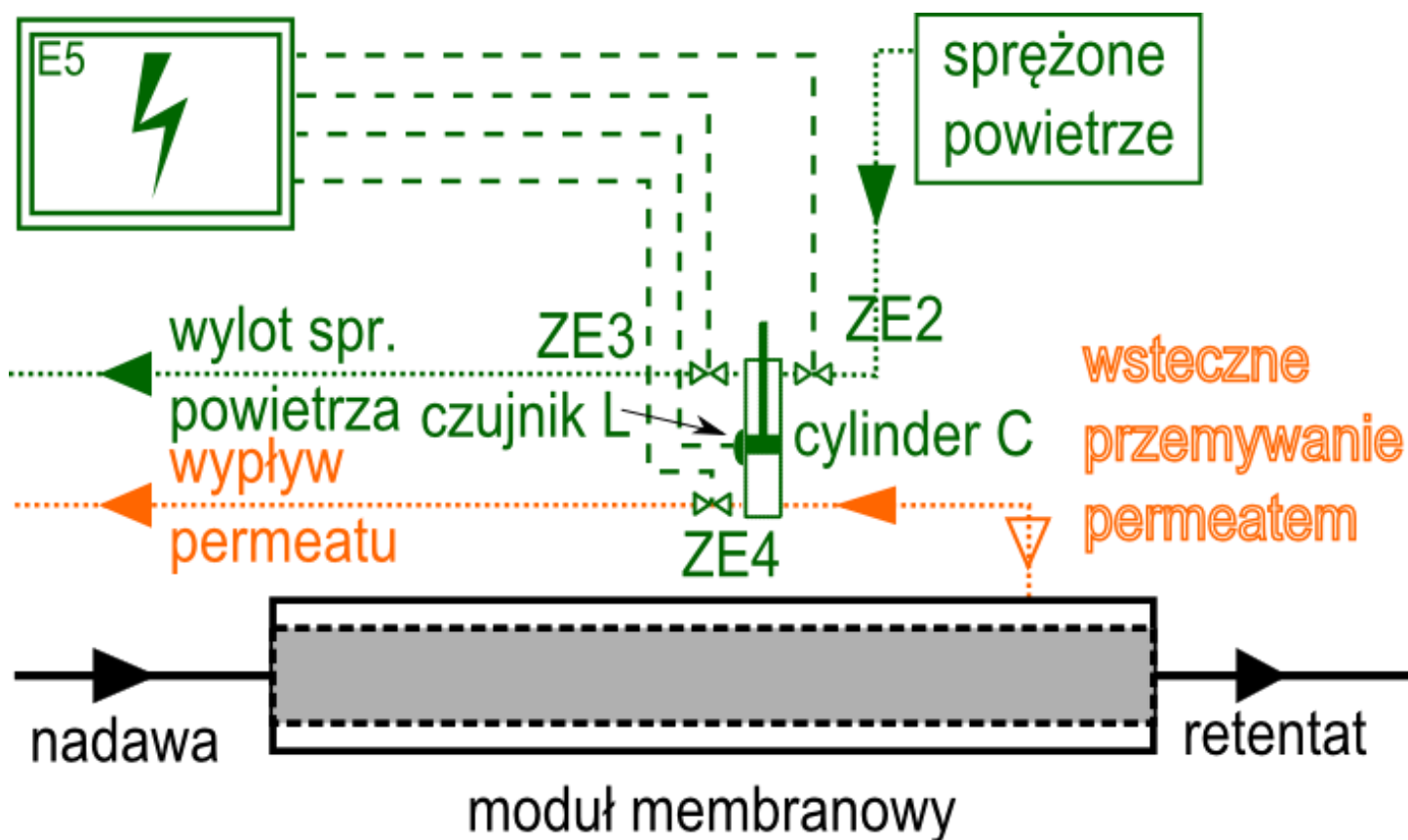
Tabela 2 Porównanie wybranych parametrów pomp cyrkulacyjnych

Model	CHI 4-40	CRI 3-21
Producent	Grundfos	Grundfos
Obroty, min <sup>-1</sup>	2860	2900
Max wydajność, m <sup>3</sup> /h	4,5	3
Max wydajność podnoszenia H <sub>2</sub> O, m	28	140
Moc silnika, kW	1,04	2,2
Max temperatura medium, °C	110	90

Za utrzymanie stałej temperatury odpowiada układ grzewczy zbudowany z grzałki której moc sterowana jest poprzez transformator i mieszałka mechanicznego (kolor czerwony na Ryc. 2) oraz układ chłodzący (kolor niebieski na Ryc. 2) zbudowany z wymiennika ciepła typu rura w rurze (chłodnicę), w którym następuje chłodzenie przepływającego medium wodą wodociągową. Przepływ wody sterowany jest zaworem elektromagnetycznym **ZE1** regulowanym mikroprocesorem GCS, który współpracuje z termoparą PTTK-T (**T2**).

Za utrzymanie strumienia permeatu na wysokim poziomie przez długi czas oraz zapobieganie nieodwracalnemu blokowaniu się membran, a w konsekwencji konieczności przerywania procesu ultrafiltracji i długotrwałego mycia membran środkami chemicznymi odpowiada układ przemywania wstecznego membran permeatem metodą backflushingu. Urządzenie **UPZ** (oznaczone kolorem ciemnozielonym na Ryc. 2) działa automatycznie dla nastawionych manualnie wielkości ciśnienia przetłaczającego permeat, czasu jednostkowego przemywania oraz czasu pomiędzy kolejnymi przemywaniami. W zależności od objętości używanego do przemywania permeatu czas przemywania wynosi od 1 do 10 sekund. Uruchamianie procesu przemywania wstecznego odbywa się manualnie. Następuje wtedy automatyczne zatrzymanie pracy pompy obiegowej, zamknięcie zaworu elektromagnetycznego **ZE4** i (Ryc. 1) otwarcie zaworu **ZE2**. Pod wpływem sprężonego powietrza pod ciśnieniem około  $6,5 \cdot 10^5$  Pa permeat z cylindra **C** przetłaczany jest przez membranę w kierunku przeciwnym do kierunku jego wypływu. Po zakończeniu przemywania wstecznego następuje automatyczne zamknięcie zaworu elektromagnetycznego **ZE2** i otwarcie zaworu **ZE3** umożliwiającego redukcję ciśnienia sprężonego po-

wietrza, uruchomienie pompy, a po wypełnieniu cylindra **C** permeatem, otwarciu zaworu **ZE4**. Ilość permeatu w cylindrze jest regulowana, a wypełnienie się cylindra jest sygnalizowane przez czujnik **L**.

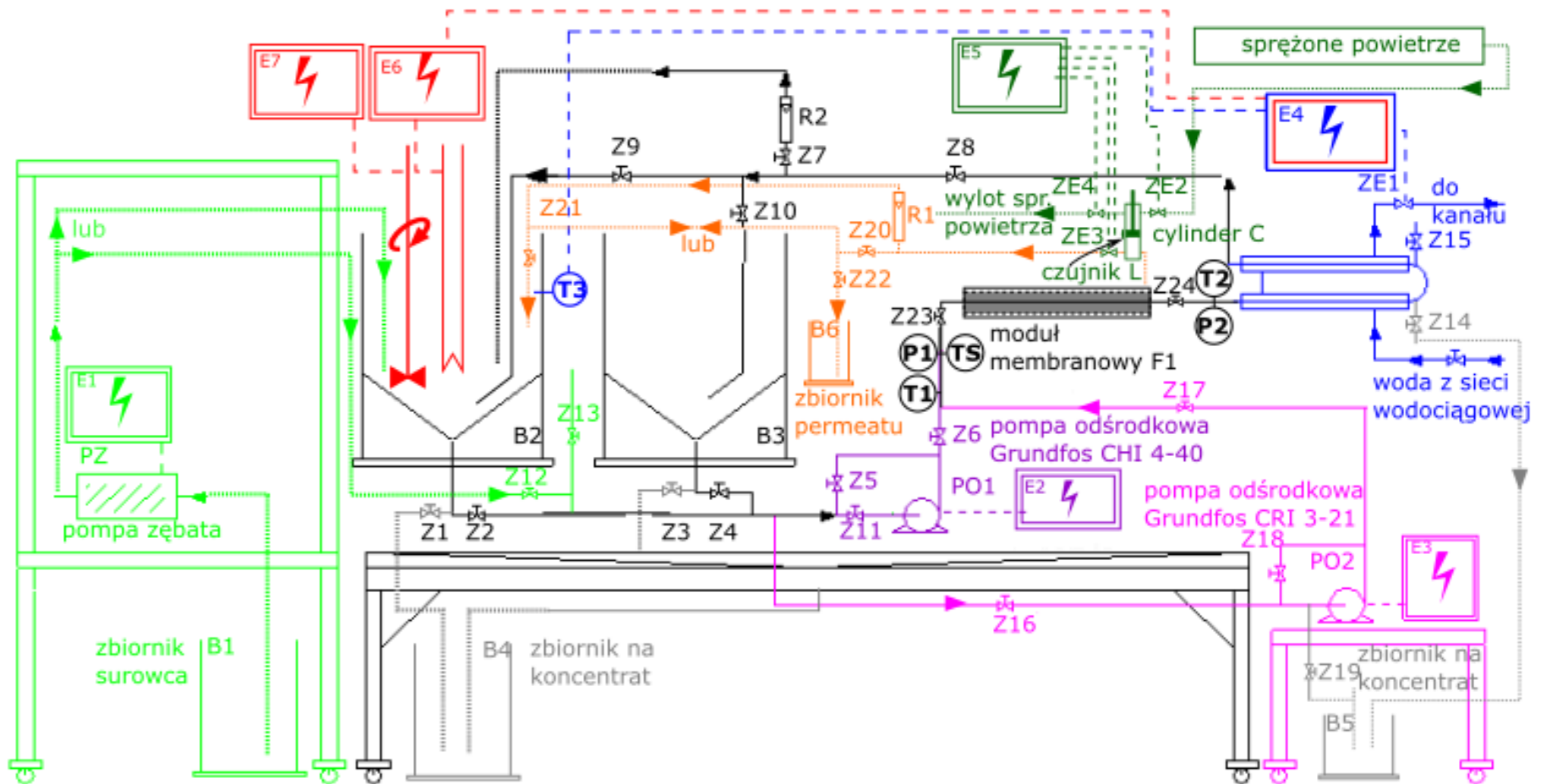


Ryc. 1 Schemat układu do przemywania wstecznego membran permeatem, C – cylinder z tłokiem, ZE2, ZE3, ZE4 – zawory elektromagnetyczne, L – czujnik maksymalnego poziomu permeatu w cylindrze

**Obsługa:** napełnianie układu musi być przeprowadzone w taki sposób by odpowietrzyć używane pompy wlewając ciec przez pionowy odcinek rurociągu na zaworze 13. W tym czasie odpowiednie zawory muszą pozostać zamknięte min odcinając zbiornik roboczy B2 zaś zawory odpowietrzające umieszczone na korpusie pomp otwarte do momentu pojawienia się w nich strumienia medium. Po napełnieniu układu, po osiągnięciu przez medium temperatury początkowej należy ustawić zawory w taki sposób by możliwe było zasysanie przez wybraną pompę medium ze zbiornika roboczego B2 (druga pompa odcięta i wyłączona) i tłoczenie go przez membranę ponownie do zbiornika roboczego. Dodatkowo należy ustawić zawory Z20-Z24 tak by móc odbierać permeat w pożądaną sposób (np.: poprzez rotametr R1 lub z jego pominięciem). Do regulacji ciśnienia na wejściu do membrany służą zawory Z7-Z10 w zależności od sposobu kierowania nadawy do zbiornika roboczego B2 lub zbiornika płuczącego B3 (poprzez rotametr lub z jego pominięciem).

**Wymagania wstępne:** każdy uczestnik zobowiązany jest przed zajęciami zapoznać się z niemniejszą instrukcją do ćwiczenia w szczególności przeanalizować schemat budowy i rolę poszczególnych elementów sterujących a także zastanowić się nad ustawieniem zawór na etapie napełniania aparatury, pracy aparatury i opróżniania aparatury.

**Autorstwo:** niemniejsza instrukcja oparta jest na opisie pierwotnej wersji aparatury w skali pilotowej do badania procesów membranowych zawartym w pracy doktorskiej Anny Warchoń. Autorem instrukcji jest Tomasz Lubera. Kopiowanie fragmentów niemniejszego opracowania bez podania autorstwa jest zabronione.



Ryc. 2 Schemat aparatury w skali pilotowej do badania procesów membranowych - opis w tekście