

Grażyna Wiśniewska
Jacek Wiśniewski
Grzegorz Czyż

Ocena przydatności membran jonowymiennych typu CM i CME oraz AM i AME w procesach dialitycznych

Największy wpływ na wydajność procesów dializy i elektrodializy ma rodzaj i jakość membran. Membrany jonowymienne są polielektrolitami, w formie płaskich błon, w których do makromolekularnego szkieletu przyłączone są centra aktywne — grupy jonocenne, w skład których wchodzi mały, ruchliwy łatwo odszczepialny jon. Ze względu na ładunek tego jonu membrany dzieli się na kationowymienne i anionowymienne.

W tabeli 1 przedstawiono właściwości membran elektrodialitycznych produkowanych przez światowe firmy chemiczne [1].

Obecnie przeważająca część standardowych membran jonowymiennych otrzymywana jest przez szczepienie kopolimerów styreno-dwuwinilo-benzenowych na obojętnych nośnikach foliowych typu polietylenu lub policzterofluoroetyleny, a następnie przez wprowadzenie układów kationowymiennych (np. przez sulfonowanie) lub anionowymiennych (np. przez chlorometylowanie i aminowanie). Membrany jonowymienne stosowane do dializy i elektrodializy powinny cechować się:

- dużym przewodnictwem elektrycznym,
- dużą selektywnością,

Tabela 1. Właściwości membran do elektrodialitycznego odsalania wód

Producent i nazwa membrany	Symbol	Rodzaj	Oporność powierzchniowa $\Omega \cdot \text{cm}^2$	Pojemność jonowymienna (mmol/g)	Liczba przeniesienia	Wytrzymałość na rozciąganie MPa	Zawartość wody %	Grubość mm
Asahi Chem.	K-101	K	3,70	2,80	0,91	3,20	—	0,21
Aciplex (Jap.)	A-101	A	2,00	1,50	0,98	3,20	—	0,21
Asahi Glass	CMV	K	2,70	1,70	0,91	4,00	—	0,13
Selemion (Jap.)	AMV	A	2,70	2,20	0,93	4,00	—	0,13
Tokuyama Soda	CI-2, 5T	K	2,60	1,70	0,98	4,00	—	0,16
Neosepta (Jap.)	AV-4T	A	3,10	1,80	0,98	6,50	—	0,16
Ionics (USA)	61-AZL	K	11,00	2,44	0,92	7,00	48,00	0,50
	204-SXZL	A	11,00	2,20	0,98	5,25	46,00	0,50
Stantech Inc. (USA)	SC-1	K	2-4	—	0,91	—	—	0,15
	SA-1	A	2-4	—	0,93	—	—	0,15
Scheninsky Chem. Plant (b. ZSRR)	MK-40	K	2,06	2,20	0,98	—	38,00	—
	MA-40	A	1,70	2,10	0,98	—	33,10	—
Farm. Sp. Pracy (RP)	KESD-2	K	5÷10	1,9÷2,6	0,98	7÷10	55,00	0,25
	AESD-2a	A	8÷12	1,2÷1,5	0,93	11÷13	23,00	0,17

- wytrzymałością na zmiany pH od 1 do 10,
- wytrzymałością termiczną powyżej 45°C,
- małym współczynnikiem pęcznienia,
- jednorodnością struktury,
- nieprzepuszczalnością wody,
- małą podatnością na starzenie,
- wytrzymałością mechaniczną,
- elastycznością niezbędną przy montażu stosu,
- niepodatnością na zatykanie.

Właściwości fizyczno-chemiczne membran anionowymiennych AM i AME oraz kationowymiennych CM i CME

Przygotowanie membran do badań

Membrany poddaje się spęcznianiu przez okres 5 dób w wodzie o temperaturze 50°C. Co 24 h wyjmuje się je z wody i pozostawia na 2h w stanie suchym. Po upływie drugiej doby membrany umieszcza się na 24 h w 0,1% roztworze NaCl o temperaturze 50°C. Na pozostałe dwie doby membrany umieszcza się ponownie w wodzie o temperaturze 50°C (temperatura wody nie powinna spaść poniżej 20°C).

Wyznaczanie pojemności jonowymiennej membran AM i AME

Pojemność jonowymienną membran oznaczano metodą wymiany jonów Cl⁻ na jony SO₄²⁻ z 4% roztworu Na₂SO₄. W tym celu membranę przeprowadzono najpierw w formę chlorkową stosując 1m roztwór HCl. Membrana pozostawała w tym roztworze przez 12 h, po czym płukano ją wodą zdejonizowaną do zaniku chlorków (próba z AgNO₃).

Powierzchnię membrany osuszano za pomocą bibuły filtracyjnej i ważono. Następnie umieszczano ją na 12 h w 200 cm³ 4% roztworu Na₂SO₄. Po oplukaniu membrany, w roztworze oznaczano zawartość jonów chlorkowych metodą Mohra. Oznaczenie wykonywano dwukrotnie (dla dwóch próbek danej membrany). Następnie membranę przeprowadzano w formę chlorkową za pomocą 1m HCl (przez 12 h), odmywano z nadmiaru jonów chlorkowych i suszono do stałej masy w temperaturze 50°C. Pojemność jonowymienną membran obliczano wg wzoru:

$$Z_A = \frac{V \cdot n}{R \cdot m_s}, \text{ mmol/g} \quad (1)$$

w którym:

- V — objętość mianowanego roztworu AgNO₃ zużyta do miareczkowania, cm³,
- n — miano roztworu AgNO₃, g Cl⁻/m³,
- R — gramorównoważnik chemiczny jonów chlorkowych,
- m_s — masa suchej membrany, g.

Wyznaczanie pojemności jonowymiennej membran CM i CME

Membranę przeprowadzono w formę kwasową za pomocą 1m roztworu HCl (przez 12 h), po czym prze-mywano do zaniku chlorków. Następnie umieszcza-no ją w kolbie stożkowej zawierającej 50 cm³ 0,05 m roztworu NaOH. Po 5 h pobierano z kolby 20 cm³ roztworu i miareczkowano 0,05 m roztworem HCl wobec błękitu bromotymolowego jako wskaźnika. Pojemność jonowymienną membran obliczano wg wzoru:

$$Z_K = \frac{(20 \cdot n_2 - V_1 \cdot n_1)}{m_s}, \text{ mmol/g} \quad (2)$$

w którym:

- V₁ — objętość 0,05 m roztworu HCl zużytego na zmiareczkowanie 20 cm³ roztworu NaOH, cm³,
- n₁ — miano roztworu HCl, mmol/cm³,
- n₂ — miano roztworu NaOH, mmol/cm³,

Oznaczanie zawartości wody

Po oznaczeniu pojemności jonowymiennej membranę przemywano wodą zdejonizowaną do uzyskania odczynu obojętnego. Następnie powierzchnię membrany osuszano bibułą filtracyjną i ważono. Membranę suszono do stałej masy w temperaturze 50°C. Zawartość wody w membranie obliczano wg wzoru:

$$W = \frac{m_w - m_s}{m_w} \cdot 100\% \quad (3)$$

w którym:

- m_w — masa spęcznionej membrany, g,

Właściwości transportowe membran jonowymiennych zależą przede wszystkim od stężenia elektrolitu oraz od zawartości wody w membranie. Decyduje o tym pojemność jonowymienna membrany. Wartości pojemności jonowymiennej obu rodzajów membran znacznie się różnią. Należy sądzić, że membrany kationowymienne CM i CME będą miały lepsze właściwości transportowe i separacyjne niż membrany anionowymienne AM i AME (dość duża zawartość wody w obu rodzajach membran może mieć negatywny wpływ na ich właściwości transportowe). Z kolei oporność powierzchniowa membran CM i AM jest niska (co jest bardzo korzystne) i podobna do tej, która charakteryzuje membrany SE-LEMION. Natomiast membrany AME i CME mają

ponad dwukrotnie większą oporność i można się spodziewać, że będą miały gorsze właściwości transportowe. W przypadku membran kationowymiennych bardzo znaczący wpływ na wzrost ich pojemności jonowymiennych ma cyklowanie. Stąd też przed przystąpieniem do testowania membran należy bezwzględnie poddać je cyklowaniu.

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości wykonanych oznaczeń.

Tabela 2. Charakterystyka badanych membran (prod. CSRF)

Rodzaj membrany	Pojemność jonowymienna membrany	Zawartość wody	Oporność powierz.	Grubość membrany
	mmol/g	%	$\Omega \cdot \text{cm}^2$	mm
AM	1,99	56,0	2,22	0,53
AME	2,01	54,5	5,18	0,55
CM	2,75	54,0	1,91	0,50
CME	2,73	55,1	4,63	0,51

Metodyka badań procesu elektrodializy i dializy

Elektrodializa

Badania elektrodializy i odkwaszania modelowych roztworów kwasu solnego prowadzono w instalacji laboratoryjnej, której schemat przedstawiono na rysunku 1. Głównym elementem instalacji był

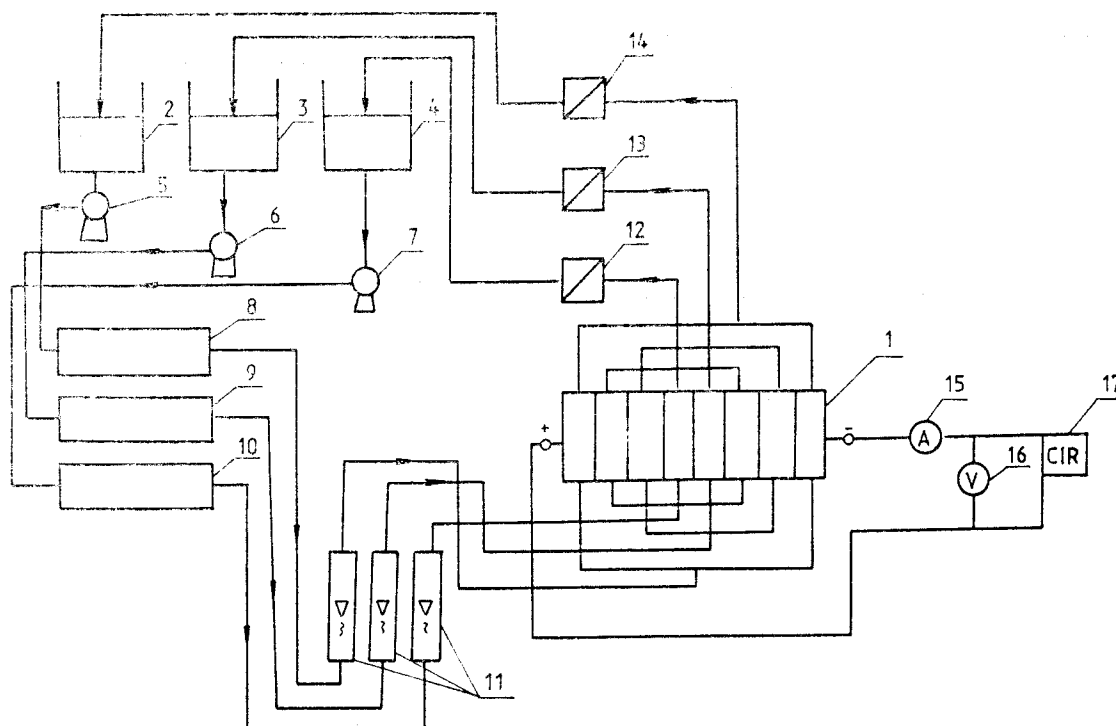
elektrodializer (1) wyposażony w dwie pary membran kationo- i anionowymiennych. Sumaryczna powierzchnia przenoszenia membran jednego znaku wynosiła 86 cm². Badania prowadzono w następujących układach:

- membrany CM i AM,
- membrany CME i AME.

Roztwory cyrkulowano w 3 oddzielnych układach: elektrodowym, odsalania i zateżania. Objętość roztworu w każdym układzie wynosiła 3 dm³. Ze zbiorników zasilających (2, 3, 4) roztwory pompowano poprzez akumulatory powietrzne (8, 9, 10) do elektrodializera (1). Prędkość przepływu mediów kontrolowano za pomocą rotametrów (11). Elektrodializer zasilano prądem stałym z zasilacza prądowego (17), który umożliwiał utrzymanie stałego prądu w układzie elektrycznym. W badaniach stosowano modelowy roztwór kwasu solnego o stężeniu 0,15 val/dm³ i soli żelaza o stężeniu 1,0 gFe/dm³. Podczas eksperymentu mierzono napięcie i przewodnictwo elektryczne oraz oznaczano stężenia chlorków, kwasowości i żelaza w układach odsalania i zateżania. Na podstawie analiz obliczano:

- stopień odkwaszenia dializatu:

$$\alpha_{H^+} = \frac{C_o - C_k}{C_o} \cdot 100\% \quad (4)$$



Rys. 1. Schemat instalacji laboratoryjnej do elektrodializy (1 — elektrodializer, 2, 3, 4 — zbiorniki zasilające, 5, 6, 7 — pompy nurnikowe NDA-50RS, 8, 9, 10 — akumulatory ga zowe, 11 — rotametry, 12, 13, 14 — konduktometry, 15 — amperomierz, 16 — woltomierz, 17 — zasilacz)

gdzie:

C_o — kwasowość początkowa, val/dm³,

C_k — kwasowość końcowa, val/dm³.

Stopień usunięcia jonów chlorkowych α_{Cl^-} i żelazowych α_{Fe} obliczano analogicznie jak w przypadku stopnia odkwaszenia.

— sprawność prądową:

$$\eta_e^{H^+} = 100 \cdot \frac{E_{rz}^{H^+}}{E_t^{H^+}} = \frac{100F(C_o V_o - C_k V_k)}{n_k \cdot I \cdot t}, \% \quad (5)$$

gdzie:

$E_{rz}^{H^+}$, $E_t^{H^+}$ — rzeczywisty i teoretyczny ładunek jonów H^+ usunięty z dializatu, val,

V_o , V_k — objętość dializatu, odpowiednio: początkowa i końcowa, dm³,

n_k — liczba par komór dializatu ($n_k=2$),

I — natężenie prądu, A,

F — stała Faradaya, 26,8 Ah/val,

t — czas trwania procesu, h.

— wskaźnik zużycia energii:

$$W_e = \frac{W}{F_{rz}} = \frac{I \int_0^t U dt}{C_o V_o - C_k V_k}, \text{Wh/val} \quad (6)$$

gdzie:

W — zużycie energii, Wh,

U — napięcie, V,

I — natężenie prądu, A,

t — czas trwania procesu, h.

— jednostkowy wskaźnik zużycia energii:

$$W_{ej} = \frac{W_c}{n_k}, \text{Wh/val/kdl} \quad (7)$$

gdzie:

kdl — komora dializatu.

— strumień jonów H^+ i Fe transportowanych z dializatu:

$$J = \frac{V_o C_o - V_k C_k}{A_m \cdot t}, \text{val/m}^2\text{h} \quad (8)$$

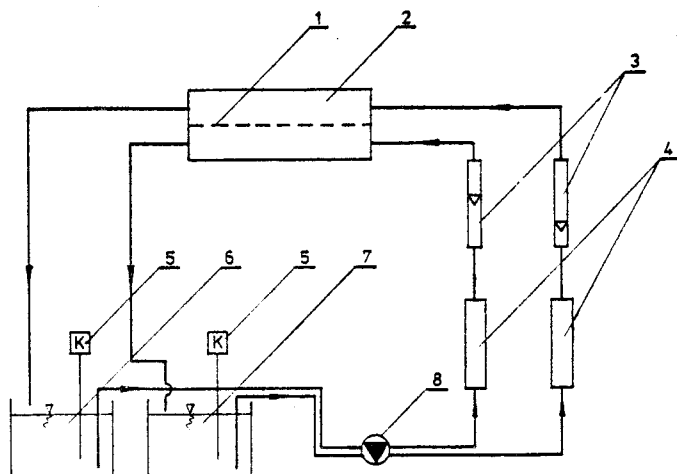
gdzie:

A_m — powierzchnia membran jednego znaku, m².

Dializa

Badania dializacyjnego odzysku kwasu solnego z roztworu modelowego prowadzono w instalacji laboratoryjnej, której schemat przedstawiono na rysunku 2. Głównym elementem instalacji był dializer (2) wyposażony w dwie membrany anionowymienne (1)

o sumarycznej powierzchni przenoszenia 86 cm². Badania prowadzono w układzie z membranami AM oraz w układzie z membranami AME. Roztwory dializatu i dyfuzatu cyrkulowały współprądowo w dwóch obiegach. Roztwory ze zbiorników zasilających (6, 7) pompowane były za pomocą pompy nurnikowej (8) poprzez akumulatory powietrzne (4) do dializera (2). Prędkość przepływu mediów kontrolowano z pomocą rotametrów (3).



Rys. 2. Schemat instalacji do dializy (1 — membrana anionowymienne, 2 — dializer, 3 — rotametry, 4 — akumulatory powietrzne, 5 — konduktometry, 6, 7 — zbiorniki zasilające, 8 — pompa nurnikowa NDA-50RS)

Początkowa objętość dializatu (roztwór modelowy) wynosiła 4 dm³, zaś początkowa objętość dyfuzatu (woda zdejonizowana) wynosiła 6 dm³. W trakcie badań, co 12 godzin, oznaczano kwasowość oraz stężenie chlorków i jonów żelaza w roztworach. Na tej podstawie obliczano:

— strumień jonów Cl^- , H^+ i Fe z dializatu do dyfuzatu:

$$J = \frac{C_{df}^k \cdot V_{df}^k - C_{df}^o \cdot V_{df}^o}{A_m \cdot t}, \text{val/m}^2\text{h} \quad (9)$$

gdzie:

C_{df}^o , C_{df}^k — początkowe i końcowe stężenie jonu w dyfuzacie, val/dm³,

V_{df}^o , V_{df}^k — początkowa i końcowa objętość dyfuzatu, dm³,

A_m — powierzchnia membran, m²,

t — czas dializy, h.

Na podstawie wartości J_{H^+} i J_{Cl^-} obliczano średni strumień kwasu J_{HCl} .

— stopień odzysku kwasu η_{HCl} :

$$\eta_{HCl} = \frac{C_{df}^t V_{df}^t - C_{df}^o V_{df}^o}{C_{df}^o V_{df}^o} \cdot 100\% \quad (10)$$

gdzie:

C_{df}^o , C_{df}^t — stężenie kwasu w dyfuzacie na początku procesu i po czasie t , val/dm³

V_{df}^o, V_{df}^t — objętość dyfuzatu na początku i na końcu procesu, dm^3

C_{dl}^o — początkowe stężenie kwasu w dializacie, val/dm^3

V_{dl}^o — początkowa objętość dializatu, dm^3

— stopień zatrzymania jonów żelaza w dializacie η_{Fe} :

$$\eta_{Fe} = \frac{C_{dl}^o V_{dl}^o - C_{df}^k V_{df}^k}{C_{dl}^o V_{dl}^o} \cdot 100\% \quad (11)$$

gdzie:

C_{dl}^o — początkowe stężenie jonów Fe w dializacie, val/dm^3 ,

V_{dl}^o — początkowa objętość dializatu, dm^3 ,

C_{df}^k — końcowe stężenie jonów Fe w dyfuzacie, val/dm^3 ,

V_{df}^k — końcowa objętość dyfuzatu, dm^3 .

— współczynnik dializy kwasu (U_{HCl}) i jonów żelaza (U_{Fe}):

$$U_{HCl(Fe)} = \frac{J_{HCl(Fe)}}{C_{aHCl(Fe)}}, \quad \frac{val/m^2h}{val/dm^3} \quad (12)$$

gdzie:

$C_{aHCl(Fe)}$ — aktualne stężenie kwasu solnego (jonów żelaza) w dializacie, val/dm^3 .

— współczynnik rozdziału jonów żelaza wobec kwasu solnego:

$$F = \frac{U_{Fe}}{U_{HCl}} \quad (13)$$

Ocena przydatności membran CM i CME oraz AM i AME do elektrodialitycznego odkwaszania modelowych roztworów kwasu solnego

Procesowi elektrodializy poddano roztwór modelowy kwasu solnego i jonów żelaza o stężeniu zbliżonym do tego, jakie charakteryzuje wody z pierwszej płukania po procesie trawienia metali [2]. Ze względu na małą liczbę komór odsalania w elektrodializerze proces prowadzono przy stosunkowo dużej gęstości prądowej ($233 A/m^2$). Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.

Uzyskano wysoki (pomimo małej liczby komór odsalania) stopień odkwaszenia dializatu — ok. 79% dla każdego z układów. W związku z tym zbliżone również były wartości sprawności prądowej w poszczególnych układach ($72 \div 88\%$). Różniły się natomiast istotnie wartości stopnia usunięcia jonów żelaza z dializatu: w układzie z membranami CM i AM wynosił on 30%, a w układzie z membranami CME i AME — 21%.

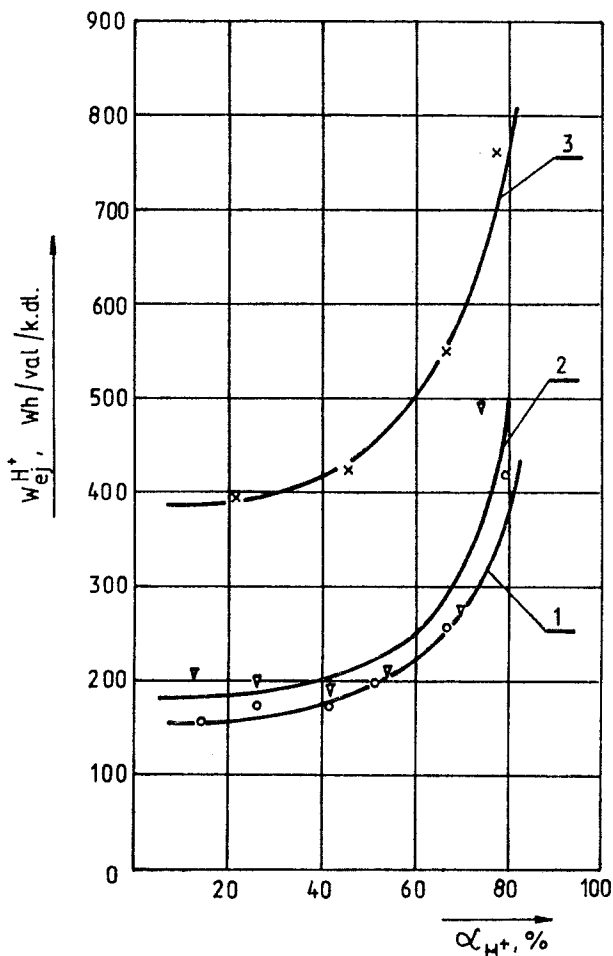
O korzystnych właściwościach membran AM i CM świadczą również wartości wskaźnika zużycia energii w procesie elektrodializy (tab. 3). Przy porównywalnym stopniu odkwaszenia dializatu (79%) wskaźnik ten wynosił 209 Wh/val dla układu z membranami AM i CM oraz 245 Wh/val dla układu z membranami AME i CME.

Tabela 3. Wyniki elektrodialitycznego odkwaszania i odżelaziania modelowego roztworu kwasu solnego i jonów żelaza

Czas	Napięcie	Stężenie w dializacie						Sprawność prądowa	Wskaźnik zużycia energii
		Chlorki		Kwasowość		Żelazo og.			
h	V	C g/dm ³	α_{Cl^-} %	C val/dm ³	α_{H^+} %	C g/dm ³	α_{Fe} %	η_{eH^+} %	W_{eH^+} Wh/val
Membrany CM i AM									
0	5,2	5,3	—	0,15	—	1,0	—	—	—
1	5,2	4,6	13,2	0,13	14,5	0,95	5,0	88,5	78,8
2	5,4	4,0	24,5	0,11	26,5	0,9	10,0	80,4	87,5
3	5,8	3,3	37,7	0,09	40,8	0,84	16,0	83,1	86,6
4	3,2	2,5	52,8	0,07	51,3	0,84	16,0	78,4	97,7
5	23,1	1,8	66,0	0,05	67,1	0,8	20,0	82,0	126,8
5,6	50,0	1,2	77,4	0,03	78,9	0,7	30,0	75,3	209,4
Membrany CME i AME									
0	5,4	5,1	—	0,14	—	0,85	—	—	—
1	5,6	4,3	15,7	0,12	12,5	0,82	3,5	72,4	101,9
2	5,9	3,6	29,4	0,10	26,4	0,77	9,4	76,4	99,1
3	6,6	2,8	45,1	0,08	41,7	0,76	10,6	80,4	97,8
4	7,4	2,2	56,9	0,06	54,2	0,71	16,5	78,4	105,1
5	24,5	1,5	70,6	0,04	59,4	0,70	17,6	80,4	135,3
5,4	50,0	1,1	78,4	0,03	78,5	0,67	21,2	78,9	245,0

Na rysunku 3 przedstawiono zależność jednostkowego wskaźnika zużycia energii (odniesionego do jednej pary komór) od stopnia odkwaszenia dializatu dla badanych membran oraz membran produkcji polskiej typu KESD-2 i AESD-2a. Zależności te dotyczą procesu prowadzonego przy określonej gęstości prądowej (233 A/m²) i określonym stężeniu początkowym roztworu (0,15 valH⁺/dm³ i 1 gFe/dm³). Wynika stąd, że wskaźnik jednostkowy jest ok. dwukrotnie mniejszy dla membran czeskich niż dla membran polskich. Natomiast porównując dwa układy oparte na czeskich membranach widać wyraźnie, że mniejszą wartością jednostkowego wskaźnika zużycia energii charakteryzuje się układ z membranami CM i AM. Przyczyną tego zjawiska są niewątpliwie różnice w oporności powierzchniowej membran: najniższą opornością charakteryzują się membrany CM i AM, wyższą — CME i AME (tab. 2), a najwyższą — KESD-2 i AESD-2a (tab. 1).

W tabeli 4 porównano wartości strumieni kwasu solnego i jonów żelaza uzyskane w procesie elektrodializy przez badane membrany oraz przez membrany typu KESD-2 i AESD-2a. Z przedstawionych



Rys. 3. Zależność jednostkowego wskaźnika zużycia energii od stopnia odkwaszenia dializatu dla różnych membran: CM i AM (1), CME i AME (2) oraz KESD i AESD (3)

Tabela 4. Strumień kwasu solnego i jonów żelaza przy różnych stopniach odkwaszania dializatu w procesie elektrodializy

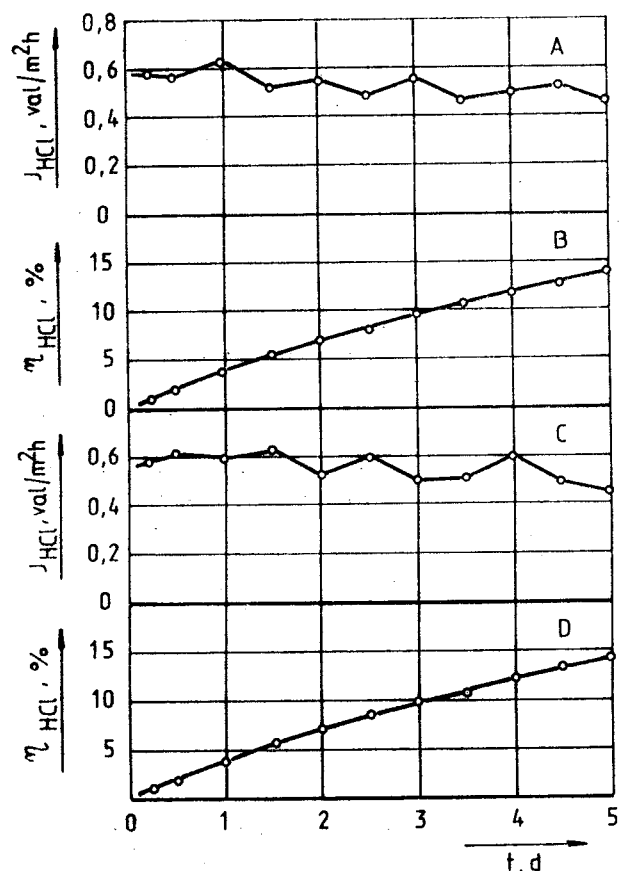
Rodzaj membrany	Stopień odkwasz. α_{H^+}	Strumień kwasu solnego		Strumień jonów żelaza	
		J _{H⁺}	J _{H⁺Fe}	J _{Fe}	J _{Fe²⁺}
	%	val/m ² h		val/m ² h	
CM+AM	14,5	7,67	6,98	0,918	0,918
	26,3	6,28		0,918	
	40,8	7,67		1,102	
	51,3	5,58		0,0	
	67,1	8,37		0,734	
	78,9	6,28		1,836	
CME+AME	12,5	6,28	5,52	0,551	0,551
	26,4	6,33		0,918	
	41,7	7,67		0,184	
	54,2	6,28		0,918	
	69,4	7,67		0,184	
	78,5	4,53		0,551	
KESD+AESD	21,5	4,86	4,36	0,751	0,845
	45,6	5,43		1,128	
	65,8	4,57		0,751	
	77,2	2,57		0,751	

danych wynika, że strumień jonów kwasu przez membranę osiąga najwyższą wartość dla układu z membranami CM i AM: jest on o ok. 25% większy niż dla układu z membranami CME i AME i aż o 60% większy niż dla układu z membranami KESD-2 i AESD-2a. Również strumień jonów żelaza osiąga najwyższą wartość w układzie z membranami CM i AM — jest on blisko o 70% większy niż w przypadku membran CME i AME. Zależności te wynikają ze zróżnicowanej oporności powierzchniowej membran. Przedstawione dane jednoznacznie wskazują, że najkorzystniejsze właściwości w procesie elektrodialitycznego odkwaszania i odżelaziania roztworów mają membrany CM i AM.

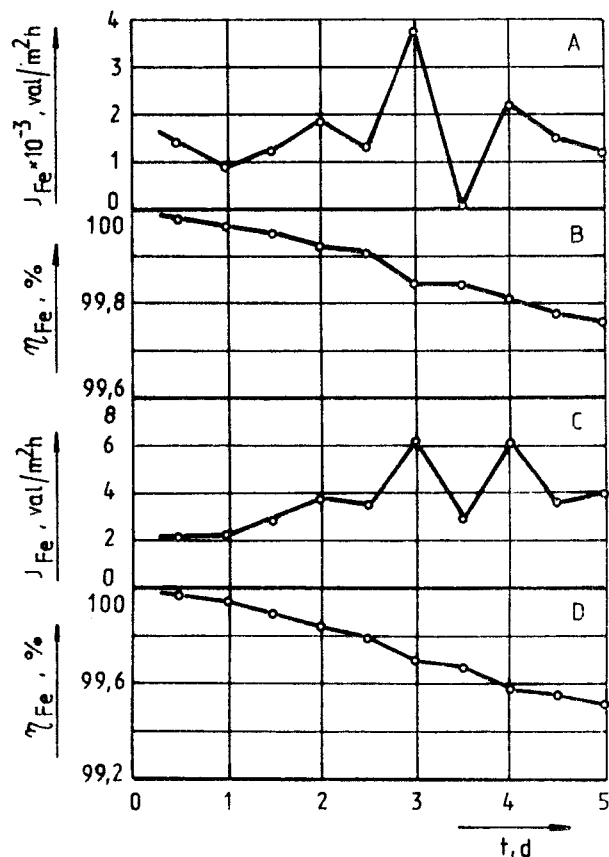
Ocena przydatności membran AM i AME do dialitycznego odzysku kwasu solnego

Badaniom podano modelowy roztwór kwasu solnego i jonów żelaza o stężeniu ok. 5 razy większym, niż w roztworze poddanym procesowi elektrodializy (stężenia takie mogą charakteryzować zatężone elektrodialitycznie wody z płukania elementów po trawieniu) [3]. Na rysunku 4 przedstawiono zmienność w czasie strumienia kwasu solnego i stopnia jego odzysku, a na rysunku 5 — zmienność strumienia jonów żelaza i stopnia ich zatrzymania dla membrany typu AM i AME.

Analizując przedstawione wyniki należy podkreślić, że badania prowadzono w dializerze wyposażonym tylko w dwie membrany danego typu o niewielkiej powierzchni przenoszenia (86 cm²). W związku z tym stopień odzysku kwasu solnego był relatywnie niski i wynosił ok. 14% po 5 dobach procesu. Stwierdzono,



Rys. 4. Zależność strumienia kwasu solnego i stopnia jego odzysku od czasu dializy dla membrany anionowymiennej typu AM (A, B) i AME (C, D)



Rys. 5. Zależność strumienia jonów żelaza i stopnia ich zatrzymania od czasu dializy dla membrany anionowymiennej typu AM (A, B) i AME (C, D)

że początkowe wartości strumienia kwasu były zbliżone dla obu rodzajów membran i wynosiły ok. 0,6 val/m²h. Wartości te są nieznacznie wyższe od tych, które charakteryzują membrany SELEMION AMV [3].

Bardzo wysoko należy ocenić właściwości separacyjne membran AM i AME wobec jonów żelaza (rys. 5). Stopień zatrzymania jonów żelaza wynosił 99,75% (membrany AM) i 99,5% (membrany AME) po 5 dobach procesu. Średni strumień jonów żelaza stanowił tylko 0,26% i 0,62% początkowego strumienia kwasu transportowanego przez membranę AM i AME. W tabeli 5 zestawiono parametry charakteryzujące właściwości transportowe i separacyjne badanych membran oraz membran japońskich typu SELEMION AMV.

Tabela 5. Średnie wartości współczynników dializy kwasu solnego (U_{HCl}), jonów żelaza (U_{Fe}) oraz współczynnika rozdziału jonów żelaza wobec kwasu solnego (F) dla różnych membran anionowymyennych.

Rodzaj membrany	Współczynniki dializy		Współczynnik rozdziału $F \cdot 10^{-3}$
	kwasu U_{HCl}	jonów żelaza $U_{Fe} \cdot 10^{-3}$	
	val/m ² ·h	val/dm ³	—
AM	0,700	7,04	10,14
AME	0,756	13,59	18,12
AMV	0,591	16,23	28,92

Właściwości transportowe membran AM i AME, których miarą jest wielkość współczynnika dializy kwasu solnego (U_{HCl}) są korzystniejsze niż membran SELEMION AMV. Lepsze są również właściwości separacyjne tych membran wobec jonów żelaza, ze względu na niższe wartości współczynnika dializy jonów żelaza (U_{Fe}). Istotnych informacji dostarcza również wielkość współczynnika rozdziału jonów żelaza wobec kwasu solnego (F). Parametr ten wskazuje na udział jonów żelaza w strumieniu transportowanych jonów, toteż im mniejszą ma wartość, tym korzystniejsze są właściwości membrany. Z przedstawionych danych wynika, że właściwości membran AM są lepsze niż membran AME oraz SELEMION AMV. Potwierdza to wcześniejsze spostrzeżenia dotyczące tych membran.

Wnioski

1. Pojemność membran anionowymyennych typu AM (1,99 mmol/g) i AME (2,04 mmol/g) jest porównywalna z pojemnością membran SELEMION AMV (2,2 mmol/g). Pojemność membran kationowymyennych typu CM (2,75 mmol/g) i CME (2,73 mmol/g) przewyższa znacznie pojemność membran SELEMION CMV (1,7 mmol/g). Membrany CM i CME wymagają cyklowania po procesie spełnienia.

2. Najniższą opornością powierzchniową charakteryzują się membrany AM ($2,22 \Omega \cdot \text{cm}^2$) i CM ($1,91 \Omega \cdot \text{cm}^2$). Jest ona nieco niższa niż dla membrany SELEMION AMV i CMV ($2,7 \Omega \cdot \text{cm}^2$). Natomiast oporność membran AME ($5,18 \Omega \cdot \text{cm}^2$) i CME ($4,63 \Omega \cdot \text{cm}^2$) jest znacznie wyższa.

3. Z wymienionych względów membrany AM i CM są najkorzystniejsze do elektrodialitycznego odkwaszania i odżelaziania roztworów zawierających kwas solny i jony żelaza. Proces prowadzony z wykorzystaniem tych membran charakteryzuje się niskim zużyciem energii i stosunkowo wysokim strumieniem kwasu solnego usuwanego z dializatu. Jednostkowy wskaźnik zużycia energii jest ok. 2 razy mniejszy, a strumień kwasu przez membranę — 1,6 raza większy niż w przypadku polskich membran KESD-2 i AESD-2a.

4. Bardzo wysoko należy ocenić właściwości transportowe i separacyjne membran AM i AME w procesie dialitycznego odzysku kwasu solnego. Współczynnik dializy kwasu jest wyższy, a jonów żelaza — niższy, niż w przypadku membran SELEMION AMV. Umożliwia to szybszy odzysk kwasu przy mniejszym przenikaniu jonów żelaza do dyfuzatu, niż w przypadku membran SELEMION AMV.

LITERATURA

1. F. H. MELLER: *Electrodialysis and electro-dialysis reversal technology*, IONICS Inc., 1984.
2. A. KITAMOTO, Y. TOKASHIMA: *Chem. Eng. Jpn.*, 3, 2 (1970) 182.
3. A. BIAŁECKI i inni: *Wytyczne technologiczne mające na celu zmniejszenie lub wyeliminowanie ścieków i popłuczyn kwaśnych z ocynkowni zanurzeniowych*. OBR POLMETAL, Bytom 1989.
4. T. WINNICKI i inni: *Zastosowanie technik dialitycznych do odzysku wody i kwasu ze ścieków przemysłowych*. Raport Inst. Inż. Ochr. Środow. PW. nr SPR-33, Wrocław 1991.

ON THE APPLICABILITY OF CM-, CME-, AM- AND AME-TYPE ION EXCHANGE MEMBRANES TO DIALYSIS

The membranes under study are manufactured in Czechoslovakia. The investigations reported in this paper aimed

at assessing their usability when applied to dialytic processes. Thus, AM- and CM-type membranes were found to be suitable for the removal of hydrochloric acid and iron ions from solutions by electrodialysis. AM and AME membranes showed excellent transport and separation properties in hydrochloric acid recovery from the dialysis process.