

Jerzy Marek GRUDZIŃSKI<sup>1</sup>

## BADANIE SKUTECZNOŚCI SEPARACJI EMULSJI OLEJOWO-WODNEJ NA FILTRZE KOALESCENCYJNYM Z PRZEGRODĄ WŁÓKNINOWĄ STOSOWANYM W SEPARATORACH OKRĘTOWYCH

**Streszczenie.** W niniejszym referacie przedstawiono wyniki prac nad nowym rozwiązaniem przegród filtracyjnych opartych na wielowarstwowych włókninach syntetycznych wykonanych techniką igłowania firmy MITPOL z Łodzi [6]. Przegrody te zastosowano w filtrach koalescencyjnych w drugim stopniu odolejaczy wód zęzowych systemu NEPTUN o wydajnościach 0,25; 0,5; 1; 2,5; 10 m<sup>3</sup>/h, produkowanych od 1985 r. przez Pomorskie Zakłady Urządzeń Okrętowych WARMA w Grudziądzu. Odolejacze te są powszechnie stosowane na statkach, jak również i na lądzie. Spełniają one wymagania konwencji MARPOL 73/78 Aneks 1, Praw. 16.

## RESEARCH RESULTS ON EFFICIENCY OF DE-OILONG PROCESS ON A COALESCENCE FILTER WITH TEXTILE FIBRE MEMBRANE USED IN SHIP'S SEPARATORS

**Summary.** The article presents results of research over a new solution of filter-membranes based on multi-layered synthetic fibres made in MITPOL Centre of Technical Textile articles in Łódź firm [6], by using needling method. These membranes were applied as coalesces filters in a second stage of an oily bilge Water Separator of "Neptune" System with throughputs of 0.25, 0.5, 1, 2.5 and 10 m<sup>3</sup>/h, produced since 1985 by Pomorskie Zakłady Urządzeń Okrętowych. These de-oiling devices are commonly used on ships and also ashore. They fulfill requirements of the Marpol Convention 73/78, Annex 1, Regulation 16.

---

<sup>1</sup> Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, Instytut Eksploatacji Siłowni Okrętowych, ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, e-mail: grud@wsm.szczecin.pl

## 1. Wstęp

Ze ściekami ropopochodnymi mamy do czynienia wszędzie tam, gdzie występują urządzenia energetyczne napędzane paliwem płynnym, jak również przy wydobywaniu ropy, jej przeróbce i dystrybucji. Jak wynika z szacunków IMO, 50% zanieczyszczeń olejowych dostających się do morza powodują statki podczas normalnej eksploatacji instalacji i platform wiertniczych na morzu. Działanie konwencji Marpol w latach 90. znacznie zmniejszyło w skali makro poziom wydalanych wód zaolejonych bezpośrednio przez statki, niemniej należy się liczyć z tym, że instalacje, odolejaczce, ich eksploatacja, stosowanie zabezpieczeń kontrolnych nie są w sposób zadowalający rozwiązane i eksploatowane, bo, jak donoszą raporty służb nadbrzeżnych Urzędów Morskich, ilość rozlewów olejowych nie maleje i stanowi około 0,5 mln ton/rok [1].

Rozwiązanie odolejacza, jego sposób eksploatacji, jak wykazała praktyka, nie jest optymalny, tym bardziej że aby sprostać wymaganiom konwencji Marpol, w ściekach odprowadzanych za burtę statku powinno być mniej niż 15 ppm oleju. W związku z tym w artykule przedstawiono rezultaty badań skuteczności odolejania na filtrze koalescencyjnym z przegrodą włókninową stosowaną w polskim odolejaczku systemu Neptun firmy WARMA – Grudziądz.

## 2. Parametry mechaniczno-fizyczne przegrody W-5/1 oraz FINET KAF i POP

Przy doborze przegrody podczas rozdziału oleju od wody założono, że [2, 3]:

- złożo powinno być wielowarstwowe;
- struktura złoża, tj. grubość włókien, gęstość upakowania, zmienna w poszczególnych warstwach;
- materiał włókien powinien mieć różne właściwości hydro- i olejofilne w warstwach;
- złożo powinno zapewniać wyłapywanie drobnych kropelek oleju, ich łączenie, przepływ zatrzymwanego oleju w postaci strug i wydzielanie się dużych kropelek;
- przepływ fazy ciągłej powinien być laminarny w kanałach porowych, nawet przy zaleganiu oleju;
- przegroda nie powinna zmieniać swoich wymiarów przy ciśnieniu do 0,4 MPa.

W tabeli 1 przedstawiono charakterystyczne parametry dla wybranej włókniny W-5, FINET KAF-5 i POP-2.

Tabela 1

## Charakterystyka włókniny W-5, FINET KAF-5 i POP-2

Lp.	Parametr / wymiar	W-5	FINET	
			KAF-5	POP-2
1	Grubość [mm]	10,2	1,0	0,95
2	Masa powierzchniowa [g/m <sup>2</sup> ]	1030	500	300 ±10%
3	Wytrzymałość na rozrywanie wzdłuż wszerz	81 232	60 / 5 cm	35 / 5 cm
4	Wydłużenie przy rozrywaniu wzdłuż wszerz	120 74	110 80	60 40
5	Średnia przepuszczalność powietrza [dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s]	205	100	200
6	Porowatość [%]	92	67	43,9
7	Średnice włókien w warstwach			
	I warstwa (włókno poliestrowe) [μm]	16,7	32,27	20,26
	II warstwa (włókno szklane) [μm]	2 ÷ 4		
	III warstwa (włókno poliestrowe) [μm]	20,2		
8	Średnia średnica włókien [μm]	14,6	32,27	20,26
9	Średnice porów (model idealny) [μm]	49,6	33,50	28,12
10	Współczynnik jednostkowy powierzchni wewnętrznej [m <sup>-1</sup> ]	2,18·10 <sup>4</sup>	8,2·10 <sup>4</sup>	7,55·10 <sup>4</sup>

Uwagi: 1) pozycje 1 ÷ 5 podano za zgodą COBRTWW w Łodzi [3],  
 2) pozycje 6 ÷ 10 określił autor,  
 3) gęstość polipropylenu  $\rho_{pp} = 0,910 \text{ g/cm}^3$ .

### 3. Określenie $\varepsilon = f(\Delta p)$

W procesie koalescencji krople oleju z wody przegroda zatrzymuje znaczną część oleju. Olej ulega przemieszczeniu w jej wnętrzu i opuszcza ją jako skoagulowane krople unosząc się ku górze na drodze grawitacyjnej. Biorąc to pod uwagę założono, że porowatość przegrody ulega zmianie, a miarą zmiany porowatości może być np. przyrost ciśnienia na przegrodzie. Zakładając ustalone warunki pracy przegrody, określono przyrost ciśnienia na końcach kapilary z równania Hagera-Poiseuille'a:

$$\Delta p = \frac{32\eta \cdot w_k \cdot L_k}{d_k^2} \quad (1)$$

gdzie:  $\eta$  – współczynnik lepkości dynamicznej,  
 $w_k$  – prędkość w kapilarze,  
 $L_k$  – długość kapilary,  
 $d_k$  – średnica kapilary.

Zakładając  $d_p = d_k$  oraz

$$w_k = \frac{w}{\varepsilon} \quad (2)$$

i

$$d_p = d_w \sqrt{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}} \quad (3)$$

podstawiając (2) i (3) do zależności (1) po przekształceniach otrzymano porowatość:

$$\varepsilon = \frac{32 \cdot w \cdot \eta (1-\varepsilon)}{\Delta p \cdot d_w^2 \cdot \varepsilon} \quad (4)$$

Po przekształceniu wzoru (4) otrzymamy:

$$\varepsilon^2 + \frac{w \cdot C_1}{\Delta p} \cdot \varepsilon - \frac{w \cdot C_1}{\Delta p} = 0 \quad (5)$$

gdzie dla czystej przegrody W-5/1 założono:

$$\begin{aligned} q_v &= 50 \text{ dm}^3/\text{h}, & w &= 1,770 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}, & \eta &= 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m s} \\ \Delta p &= 300 \text{ Pa}, & L &= 0,0102 \text{ m}, & d_w &= 1,46 \cdot 10^{-5} \text{ m} \end{aligned}$$

$$C_1 = \frac{32 \cdot \eta \cdot L}{d_w^2} = 1,74 \cdot 10^6 \quad (6)$$

Rozwiązując zależność (5) otrzymano:

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 + 10,266 \cdot \varepsilon - 10,226 &= 0 \\ \varepsilon_1 &= \frac{-10,266 + 12,10}{2} = 0,9179 \quad (7) \end{aligned}$$

Porowatość przegrody W-5:

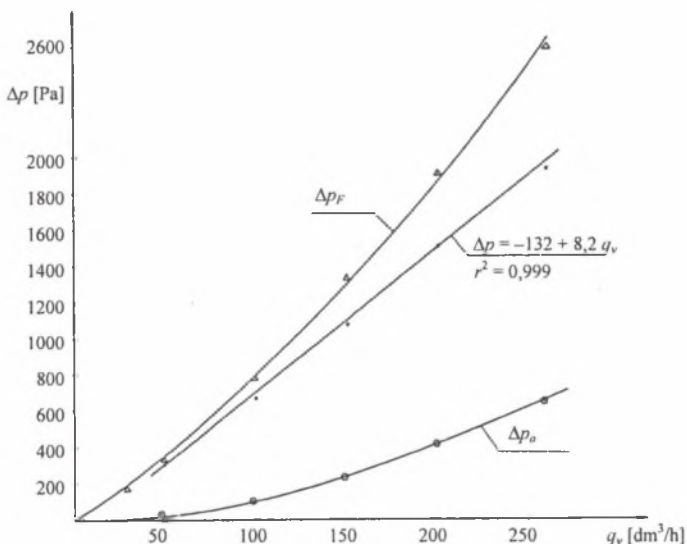
$$\varepsilon_1 = 0,918 \approx 0,920 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

#### 4. Określenie charakterystyki filtracyjnej $\Delta p = f(q_w)$

Filtr z przegrodą W-5/1 poddano zasilaniu czystą wodą. Wykonano charakterystykę  $\Delta p_o = f(q_v)$  – filtr bez przegrody oraz  $\Delta p_f = f(q_v)$  – filtr z przegrodą. Charakterystykę filtracyjną przegrody uzyskano z zależności  $\Delta p = \Delta p_f - \Delta p_o$ , co przedstawiono na rys. 1.

Z przebiegu krzywych  $\Delta p_o$  i  $\Delta p_f$  na rys. 1 wynika, że zależą one wykładniczo od przepływu. Obliczony graficznie przebieg spadku ciśnienia na przegrodzie  $\Delta p = f(q_v)$  przyjmuje

zależność liniową dla  $q_v = 50 \div 200 \text{ dm}^3/\text{h}$ , wynika stąd wniosek, że przepływ w kanałach przegrody jest laminarny [4, 5].



Rys. 1. Charakterystyka filtra  $\Delta p = f(q_v)$  z przegrodą W-5/1:

$\Delta p_F$  – filtr z przegrodą,  $\Delta p_o$  – filtr bez przegrody

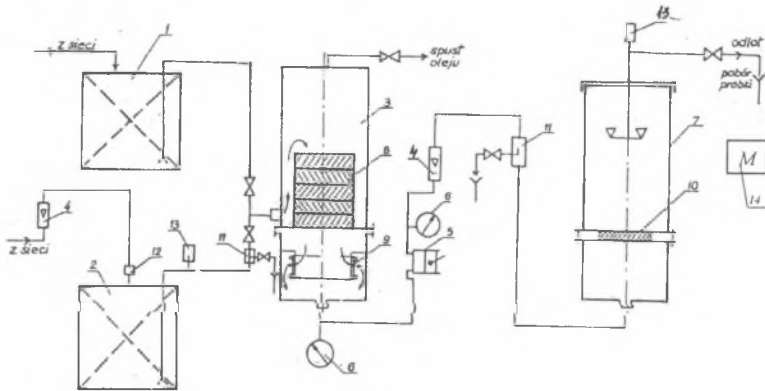
Fig. 1. Characteristic  $\Delta p = f(q_v)$ , with partition W – 5/1:

$\Delta p_F$  – filter with partition,  $\Delta p_o$  – filter with no partition

## 5. Badanie skuteczności odolejania – paliwo lekkie

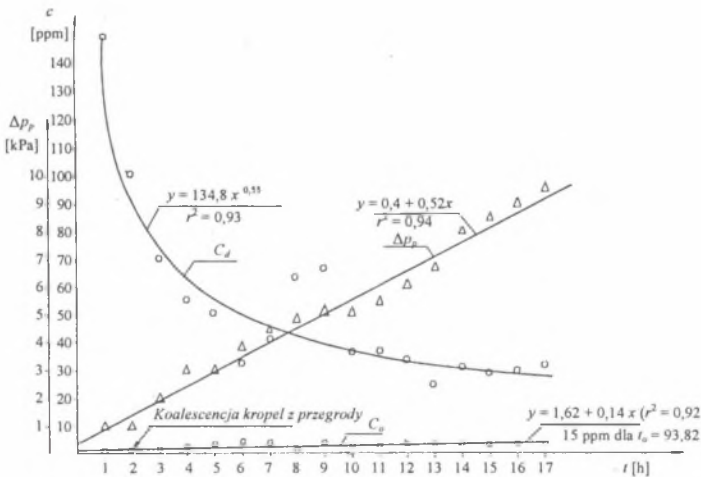
Badania wykonano na stanowisku przedstawionym na rys. 2. Odolejacz zasysał 1% mieszaninę o/w (paliwo lekkie (MDO) o gęstości  $\rho_{15} = 0,846 \text{ kg}/\text{dm}^3$  i lepkości kinematycznej  $\nu = 7 \text{ cSt}$ ) wytworzoną w zbiorniku 2. Stężenie oleju określono za pomocą miernika HORIBA OCMA 220, różnicę ciśnień mierzono na filtrze, temperaturę wody i natężenie przepływu na rotametrze 4.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań skuteczności odolejania przed i za filtrem oraz różnicę ciśnień w funkcji natężenia przepływu.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego: 1 – zbiornik wody płuczającej  $V = 40$  l,  $D_p = 10$  cm, 2 – zbiornik z badaną mieszaniną oleju (emulsji o/w), 3 – odolejacz I stopnia, 4 – rotameter, 5 – pompa  $Q = 0 \div 350$  l/h, 6 – manowakuometr o zakresie  $1,5 \div 2$  bar, 7 – II stopień odolejania, 8 – pakiet płyt koalescencyjnych, 9 – filtr welurowy, 10 – filtr koalescencyjny W-5/1, 11 – pobór próbek, 12 – dysza, 13 – termometr, 14 – miernik stężenia oleju HORIBA OCMA 220

Fig. 2. Measuring stand scheme: 1 – water tank  $V = 50$  l, 2 – tank emulsion o/w, 3 – oil separator I grade, 4 – rotameter, 5 – pump  $q_v = 0 \div 300$  l/h, 6 – manovacuumeter  $-1,5 \div 2$  bar, 7 – oil separator II grade, 8 – panel kit coalescer, 9 – filter cloth, 10 – filter with analyzed partition, 11 – sampling, 12 – nozzle, 13 – thermometer, 14 – oil content analyzer HORIBA OCMA 220



Rys. 3. Zależność  $c_d = f(t)$ ;  $c_o = f(t)$  i  $p = f(t)$  – paliwo lekkie, gdzie:  $c_d$  – stężenie oleju przed przegrodą,  $c_o$  – stężenie oleju za przegrodą,  $p$  – spadek ciśnienia na przegrodzie

Fig. 3. Characteristic  $c_d = f(t)$ ;  $c_o = f(t)$ ;  $\Delta p_p = f(t)$ ; (MDO);  $c_d$  – oil concentration before partition,  $c_o$  – o.c. behind partition,  $\Delta p_p$  – pressure drop

Analiza uzyskanych wyników przedstawionych na rys. 3 pozwala stwierdzić, że w pierwszym okresie pracy układu odolejacz uległ stopniowemu nasyceniu i po 5 – 6 h osiągnął stały poziom zaolejenia. Natomiast koalescencja na przegrodzie następowała po około 2 h pracy układu. Po nasyceniu przegrody olejem zaobserwowano stały wzrost ciśnienia na przegrodzie. Stężenie oleju w badanym okresie (17 h) nie przekraczało 5 ppm.

Liczbę Re dla przegrody porowatej określono wg wzoru:

$$Re = \frac{w_k \cdot d_p \cdot \rho_w}{\eta} \quad (8)$$

$$Re = \frac{w \cdot d_w \cdot \varphi}{\eta[\varepsilon(1 - \varepsilon)]^{0,5}} = \frac{1,77 \cdot 10^{-3} \cdot 1,46 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3}{[0,92(1 - 0,92)]^{0,5} \cdot 1,14 \cdot 10^{-3}}$$

$$Re = 8,36 \cdot 10^{-2} = 0,0836$$

Wykonano również badania przy  $q_v = 200 \text{ dm}^3/\text{h}$  na tej samej zaolejonej przegrodzie. Stwierdzono, że wzrost strumienia przepływu pogarsza proces koalescencji, praktycznie  $w = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  (prędkość filtracji) powoduje wymywanie oleju z przegrody i zanik koalescencji oleju, spadek ciśnienia 16 kPa i stężenie za filtrem do 200 ppm. Liczba Re wg wzoru (8) dla tego przypadku wyniesie:

$$Re = 1,183$$

$$\text{dla } w = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\varepsilon = 0,408$$

W tabeli 2 przedstawiono rezultaty badań dla przegród FINET KAF-5 i POP-2.

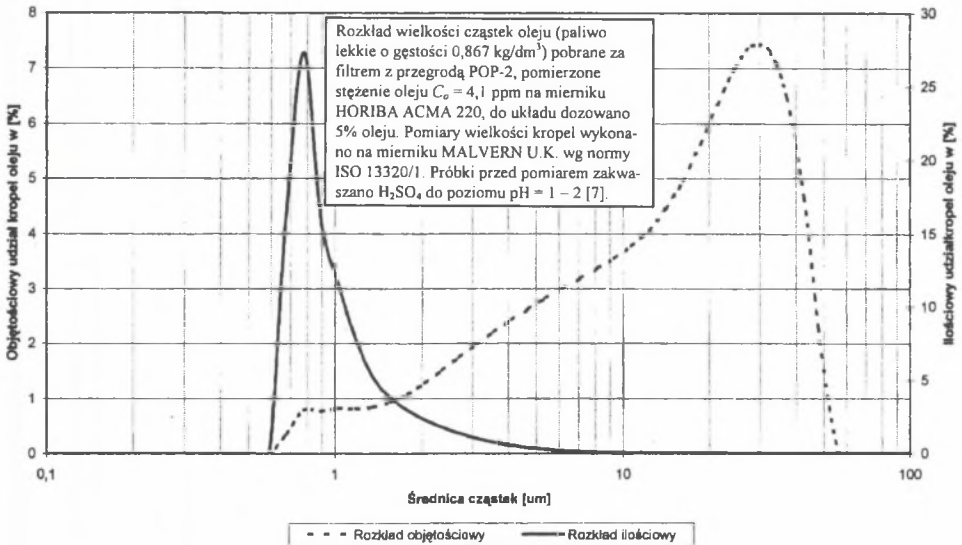
Tabela 2

Parametry przegród uzyskanych w trakcie procesu odolejania

Przegroda \ Parametry		Porowatość		Średnica poru obl. wg wzoru (3) $d_p$ mm	Spadek ci- śnienia $\Delta p$ kPa	Stężenie na dolocie przy $q_v$ = $60 \text{ dm}^3/\text{h}$ $c_o$ ppm*
		obliczona wg wzoru (5)	zmie- rzona			
W-5/1	czysta	0,918	0,920	49,60	$0,300 \pm 0,05$	$f$
	moment koalescencji	0,750	0,740	22,80	1,50	< 5
	po badaniach $t = 27,5 \text{ h}$	0,370	0,408	11,30	14,90	< 6
FINET KAF-5	czysta	0,669 $\pm 10\%$	0,643	35,52	2,00	–
	po badaniach	0,447	0,395	22,55	3,00	< 6,1
FINET POP-2	czysta	0,439 $\pm 10\%$	0,485	28,12	2,00	–
	po badaniach	0,376	0,328	17,22	4,00	< 9,1

\*do układu dozowano 1% emulsję o/w ze zbiornika 2 (rys. 2).





Rys. 4. Rozkład wielkości cząstek oleju (paliwo lekkie) za filtrem POP-2 [8]  
 Fig. 4. Oil drop size distribution (MDO) after the filter POP 2 [8]

## 6. Wnioski końcowe

Reasumując, odolejanie paliw lekkich na przegrodach wykonanych z włókien syntetycznych po ich zaolejeniu jest możliwe przy zachowaniu przepływu laminarnego i nieprzekraczaniu liczby Reynoldsa  $Re \leq 0,1$ . Wiąże się to ze spełnieniem następujących warunków:

- z zastosowaniem odpowiedniej lepkości i rodzaju separowanego oleju,
- z określeniem dopuszczalnego spadku ciśnienia na przegrodzie, które nie powinno przekroczyć  $\Delta p \leq 10 \div 12 \text{ kPa}$ . W przypadku przekroczenia należy poddać regeneracji filtr przepływem zwrotnym lub wymienić na nowy.

W związku z wymaganiami BHP włókniny z włóknem szklanym są wycofywane z produkcji. Firma Mitpol z Łodzi [5] oferuje włókniny zamienne do prezentowanych w artykule. Nowe włókniny pozbawione włókien szklanych oparte na włóknach polipropylenowych FINET KAF i POP swoimi właściwościami nie odbiegają pod względem wytrzymałościowym od W-5. W tabelach 1 i 2 przedstawiono charakterystyki włókien i ich parametry eksploatacyjne. Wstępne wyniki badań na skuteczność separacji oleju z wody wykonane na włóknach FINET KAF i POP pozwalają na użycie ich jako zamienników włókien W-5 (patrz tabela 2).



## Literatura

1. IMO Naws nr 3/1999.
2. Grudziński J.M.: Filtry koalescencyjne z przegrodą włókninową do odolejania wód zęzowych i balastowych na statkach. Praca doktorska, Politechnika Wroclawska 1985.
3. Badania nad przegrodą W-5/1. Etap I, II, III. Materiały COBRT WW – Łódź 1985. Tekst nie publikowany.
4. Baczewski K., Hebda M.: Filtracja płynów eksploatacyjnych, tom II. Radom 1992, str. 200.
5. Baczewski K., Hebda M., Jaroszczyk T.: Filtracje oleju, paliwa i powietrza. WKŁ, Warszawa 1977, str. 193.
6. Prospekty reklamowe firmy MITPOL Sp. z o.o., ul. Kościuszki 123, Łódź.
7. Rawle A.: Materiały firm Malvern Instruments Ltd., „Particle Sizing”, [www.malvern.co.uk](http://www.malvern.co.uk).
8. Treichel P.: Opracowanie wyników pomiarów wielkości cząstek na analizatorze Malvern Instruments Ltd. „Particle Sizing”, Instrukcja wewnętrzna WSM, Szczecin 2001.

## Abstract

The article presents results of a new solution of filter-membranes research based on multi-layered synthetic fibres made in the Central Centre of Technical Textile articles in Łódź [3] and recently in MITPOL firm in Łódź [6], by using needling method. These membranes were applied as coalesces filters in a second stage of an oily bilge Water Separator of “Neptune” System with throughputs of 0.25, 0.5, 1, 2.5 and 10 m<sup>3</sup>/h produced since 1985 by Pomorskie Zakłady Urządzeń Okrętowych. These de-oiling devices are commonly used on ships and also ashore. They fulfill requirements of the Marpol Convention 73/78, annex 1, regulation 16.

Presented characteristics of W-5 KAF POP textile fibre membrane are defined by:  $\beta$  – coefficient of filling of fibres in a membrane,  $\varepsilon$  – coefficient of porosity of a membrane,  $d_w$  – inside measurement of membrane fibres in particular layers,  $d_p$  – inside measurement of pores in particular layers and  $S_o$  – individual coefficient. Using equalization of flow of Hagen Poisenille on a theoretical way the following characteristic was specified:  $\varepsilon = f(w, \eta, L, d_w, \Delta p)$ . Estimation of resistance of membrane’s flow by measurements on model filter was pointed:  $\Delta p = f(q_w)$ . Results of efficiency of de-oiling process and pressure drop on de-oiling model devices, and on filter position, in function of time, was presented.

Inside porosity ( $\varepsilon'$ ), measurement of pores ( $d_p$ ) and Reynold’s number ( $Re$ ) for oiled membrane was estimated. Presents characteristics weight distribution oil particle for Malvern Instruments.