



„Hydrocyklony separujące cząstki stałe i odolejające wodę  
zeczową w układzie szeregowym”

Jerzy Gutteter-Grudziński

Szczecin, 2010



**INNOWACYJNA  
GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



## **Hydrocyklony separujące cząstki stałe i odolejające wodę zęzową w układzie szeregowym**

Słowa kluczowe: *hydrocyklony separacja oleju i zawieszin y; miału węglowego, śruty, rudy żelaza, piasku, z wody zęzowej na statkach*

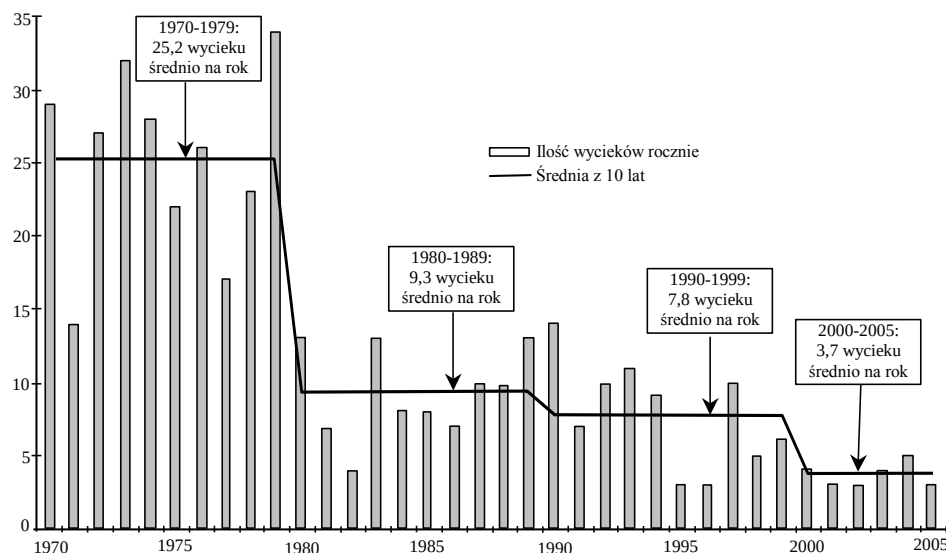
### **Summary**

The paper presents changes taking place in the marine environment with increasing transport of crude oil in year 1970–2005, shown on a diagram of spills from ships. Made known are also results of research on hydro cyclones separating solid particles and de-oiling bilge water connected in series. During research hydro cyclones of JS-40 and Li type were used, designed by the authors, applied were four JS-40 hydro cyclones of  $v_s = 500$  l/h capacity each for separating solid particles and a hydro cyclone Li for de-oiling of  $v_s = 2000$  l/h capacity. In diagrams and tables shown are separation efficiencies of following matters: coal powder, sand, abrasive shot and iron. A volumetric distribution measurement of shot particles before and after the JS-40 hydro cyclone at an output of  $v_s = 1500$  l/h using a Malvern 2000 UK instrument was carried out. As a result of the research it could be stated that a system of connected in series hydro cyclones can be applied as a first stage of bilge waters purification.

### **Wprowadzenie**

Wody zęzowe maszynowni to mieszaniny wody morskiej, wody słodkiej, wody z układów chłodzenia, przecieków paliwa i oleju smarnego. Często zawierają one różne środki powierzchniowo czynne (SPC) stosowane przy myciu urządzeń w maszynowni, środki antykorozyjne dodawane do układów chłodzenia, różnego rodzaju dodatki do uzdatniania wody kotłowej oraz ścieki z umywalni mieszczących się w pomieszczeniach maszynowni. Typowe odolejacz okrętowe (wykorzystujące zwykle separację grawitacyjną i koalescencyjną), w przypadku występowania w wodach zęzowych oleju w postaci emulsji, nie są w stanie oczyścić tych wód do obowiązującego standardu 15 ppm zawartości oleju [1]. Wpływ transportu morskiego na skażenie środowiska morskiego jest praktycznie niewielki, według różnych źródeł [1, 2, 3] nie przekracza 4% w stosunku do wszystkich zanieczyszczeń emitowanych do mórz. Większość zanieczyszczeń olejowych dostających się do mórz pochodzi z lądu, zanieczyszczenia transportowane są rzekami i w postaci aerozoli z powietrza. Pocieszającym jest fakt, że ilość wycieków (1 wyciek > 5000 baryłek, 1 bar = 156 l) powstających na statkach i platformach wiertniczych systematycznie spada, co przedstawiono na rys. 1. [4, 5] (dane: ITOPI Ltd. – Międzynarodowa Federacja Właścicieli Tankowców). Na uwagę zasługuje ponad 50% spadek wycieku do poziomu 3,7 wycieku/rok przy wzroście przewozu ropy.

Liczba wycieków ropy naftowej spada, mimo że wielkość przewozów znacznie wzrosła – z niespełna 20 000 miliardów tono mil w 1994 roku do 27 500 miliardów tono mil w 2004 roku, z czego 45% stanowi ropa naftowa.



Rys. 1. Liczba wycieków ropy naftowej ze statków (1 wyciek > 5000 baryłek, 1 baryłka = 156 litrów) [4]  
 Fig. 1 Number of crude oil spills from ships (1 spill > 5000 barrels, 1 barrel = 156 Litrów)

Istotnym czynnikiem zmniejszającym ten trend jest działanie Konwencji Marpol 73/78, która w bardzo rygorystyczny sposób wymusza na Armatorach budowę coraz lepszych i bezpieczniejszych statków i ich odpowiednią eksploatację przez lepiej wyszkolone załogi – nowe wymagania konwencji SCTW (Międzynarodowej konwencji o wymaganiach w zakresie wykształcenia marynarzy, wydawaniu im świadectw oraz pełnienia wacht, Art. VI 1978).

Nowe przepisy [3], obowiązujące od 2005 r. wymagają wyposażenia statków w coraz sprawniejsze instalacje zabezpieczające przed niekontrolowanym wyciekem wody zanieczyszczonej olejem za burtę, którego stężenie nie powinno przekroczyć poziomu 15 ppm.

W wyniku tego firmy zajmujące się produkcją odolejaczy statkowych proponują nowe typy odolejaczy, które sprawdzają się również przy oczyszczaniu wód zęzowych zawierających SPC i zapewniają spełnienie standardu nawet poniżej 5 ppm oleju w wodach zrzutowych. Stało się to możliwe dzięki zastosowaniu procesu UF do obróbki tych wód jako drugiego stopnia oczyszczania po separacji grawitacyjno-koalescencyjnej [2]. W ostatnim czasie obserwuje się stosownie UF moduły do oczyszczania emulsji o/w w zakładach przemysłu maszynowego [8].

W wodach zęzowych zanieczyszczenia olejowe pochodzą z następujących źródeł:

- naturalnych przecieków ropy z dna morskiego;
- przecieków z instalacji występujących przy wydobywaniu ropy naftowej i jej transporcie po dnie morza;
- rozlewów awaryjnych powstałych w trakcie kolizji statków;
- podczas normalnej eksploatacji statków w trakcie usuwania zaolejonej wody z zęz, siłowni i ładowni;
- odpadów ropopochodnych z przemysłowych instalacji lądowych.

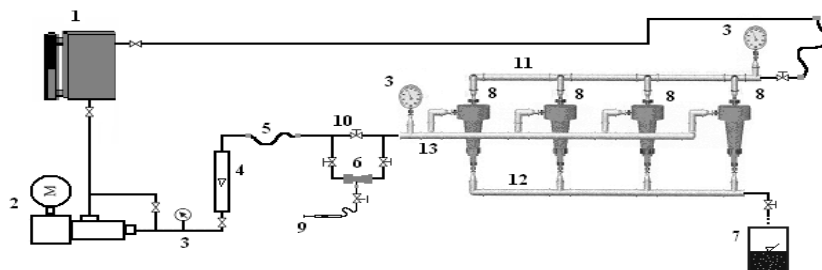
Rygorystyczne egzekwowanie na statkach postanowień wymogów zawartych w konwencji Marpol spowodowało, że ilość szkodliwych zanieczyszczeń olejowych jest znacznie mniejsza. W samym 1990 r. do mórz i oceanów dostało się ze statków z wyżej wymienionych przyczyn tylko 570 000 Mg oleju [2, 3].

## 1. Założenia do badań

Przebieg badań ze względu na ich pilotażowy charakter, oraz szeroki zakres, podzielono na dwie fazy.

Do realizacji założonego programu badań fazy pierwszej, czyli sprawdzenia skuteczności separacji cząstek stałych z wody, konieczne było zbudowanie odpowiedniego stanowiska badawczego z hydrocyklonami JS-40 i Li wykonanymi według koncepcji autorów. W drugiej fazie badań

hydrocyklony podłączono szeregowo w celu określenia skuteczności oczyszczania w nowym układzie mieszanki oleju napędowego z cząstkami zanieczyszczeń, które dozowano do instalacji hydrocyklonów. Zaoilejenie wody na wylewie i przed hydrocyklonem analizowano na mierniku Horiba OCMA 310.

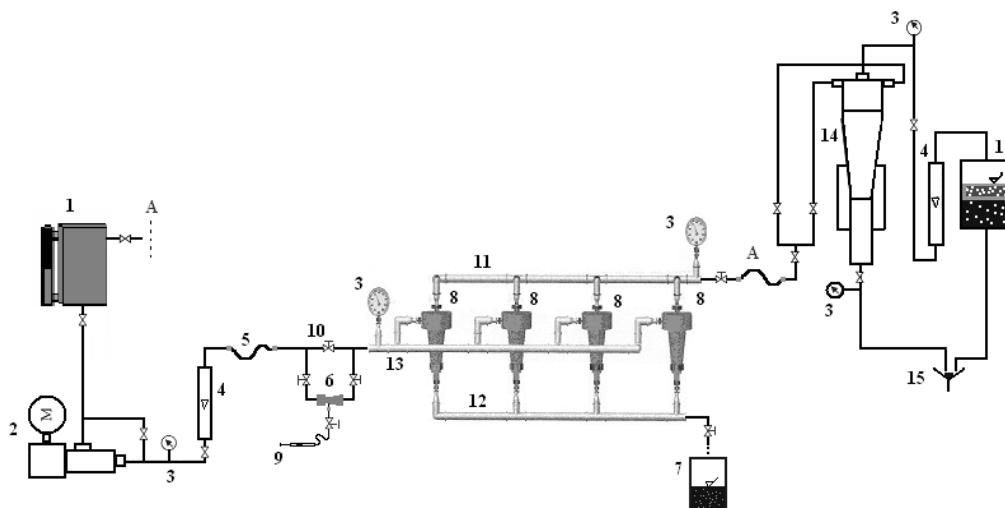


Rys. 2. Stanowisko hydrocyklonów cząstek stałych JS-40  
Fig. 2. Testing stand of hydro cyclones for solid particles separation

Na rysunku 2 przedstawiono schemat stanowiska z 4-ma hydrocyklonami JS-40 o nominalnej wydajności  $q_v = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , z wymiennymi dyszami na wylewie  $d = 2, 3, 4 \text{ mm}$  według pomysłu autorów opisanym i zrealizowanym [6, 7 i 9].

## 2. Przebieg badań

Stały przepływ wody zasilającej o średniej temperaturze  $20^\circ\text{C}$  zapewnia pompa śrubowa (2, rys. 3), z możliwością zmiany wydajności poprzez zawór odcinający kierujący część tłoczzonej cieczy na ssanie pompy. Rotametr szklany (4) umożliwił dokładne nastawienie strumienia przepływu. Układ typu by-pass z pompą strumieniową (6) samozasysającą umożliwia podanie poprzez tłokowy dozownik (9) próbki cząstek stałych i oleju o określonej objętości [ml] do układu hydrocyklonów (8) poprzez wspólny kolektor dolotowy (13). Kolektorem wylewowym (12) następuje spływ odseparowanych zanieczyszczeń niezaolejonych do zbiornika odbioru próbki (7).



Rys. 3. Stanowisko hydrocyklonów JS-40 sprzęgnięte z hydrocyklonem separującym oleje Li;  
1 – zbiornik wody czystej zasilany z sieci miejskiej ( $V = 0,5 \text{ m}^3$ ), 2 – pompa śrubowa (typ-PSR 32, wydajność  $Q_v = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ ), 3 – manometr, 4 – rotametr szklany (typ-RIN, ciśnienie robocze 6 bar), 5 – przewód gumowy, 6 – pompa strumieniowa, 7 – zbiornik odbioru próbki ( $V = 0,01 \text{ m}^3$ ), 8 – hydrocyklon JS-40,  
9 – tłokowy dozownik cząstek stałych ( $V = 100 \text{ ml}$ ), 10 – zawór odcinający, 11 – kolektor przelewowy, 12 – kolektor wylewowy, 13 – kolektor dolotowy, 14 – hydrocyklon modelowy Li, 15 – studzienka żęzowa, 16 – zbiornik odzyskanego oleju ( $V = 50 \text{ l}$ ), A – połączenie obiegu zamkniętego dla stanowiska hydrocyklonów JS-40

Fig. 3. Hydro cyclones JS-40 stand coupled with a hydro cyclone separating oil Li



Fot. 1. Stanowisko hydrocyklonów JS-40 sprzęgnięte z hydrocyklonem modelowym Li (zdjęcie autorów)  
 Photo 1. Hydro cyclone JS-40 stand coupled with model hydro cyclone Li (author's photo)

W przypadku schematu (rys. 2) kolektorem przelewowym (11) następuje przepływ oczyszczonej cieczy poprzez przewód gumowy (5) do zbiornika wody. Jest to zatem układ zamknięty.

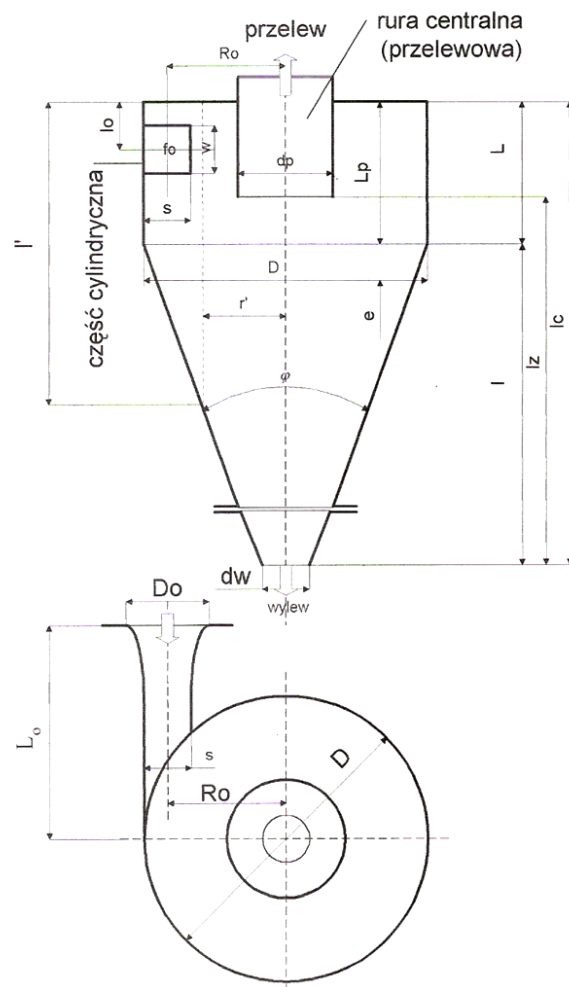
Podczas badań układu (rys. 2 i 3) dokonywano zmian średnicy dysz wylewu w hydrocyklonach JS-40. Dla przypadku zilustrowanym na schemacie (rys. 3) zaolejona przy dozowaniu mieszaniny cząstek stałych i oleju woda przepływająca przez kolektor przelewowy (11) jest kierowana przewodami gumowymi na zasilanie hydrocyklonu modelowego (14). Po separacji w hydrocyklonie oczyszczona woda kieruje się do studzienki żęzowej (15). Górnym przewodem z przelewu hydrocyklonu odzyskany w procesie olej napędowy gromadzi się w zbiorniku odzyskanego oleju (16).

Przy badaniu sprawności odolejania mieszanin tylko o małym stężeniu badania skierowane były na dokładny pomiar zaolejenia wody z wylewu hydrocyklonu i poddane były analizie miernikiem HORIBA OCMA 310.

### 3. Parametry hydrocyklonu JS-40 i hydrocyklonu modelowego Li

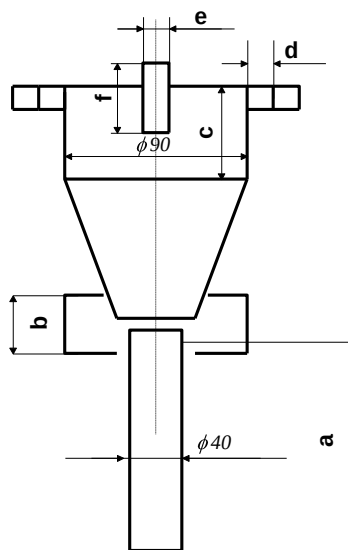
Oznaczenia i dane parametrów konstrukcyjnych hydrocyklonu JS-40 (rys. 4):

- $D$  – średnica części cylindrycznej (40 mm),
- $L$  – wysokość części cylindrycznej (24 mm),
- $d_o$  – średnica otworu króćca wlotowego (8 mm),  
 gdzie:  $s$  – szerokość [m],  $w$  – wysokość otworu wlotowego [m],
- $L_o$  – długość króćca wlotowego do osi hydrocyklonu (59 mm),
- $d_p$  – średnica króćca przelewu (8 mm),
- $d_w$  – średnica dyszy wylewu (2, 3, 4 mm),
- $l$  – wysokość części stożkowej (103 mm),
- $\varphi$  – kąt wierzchołkowy części stożkowej ( $14^\circ$ ),
- $l_c = L + l$  – całkowita wysokość hydrocyklonu (127 mm).



Rys. 4. Hydrocyklon JS-40  
Fig. 4. Hydrocyclone JS-40

Wymiary hydrocyklonu modelowego Li:  $a = 600$ ,  $b = 700$ ,  $c = 165$ ,  $d = 8$ ,  $e = 10$ ,  $f = 0 + 25$ ,  $g = 410$  (wysokość stożka),  $\alpha = 7^\circ$  (kąt wierzchołkowy).



Rys. 5. Hydrocyklon modelowy Li  
Fig. 5. Model hydrocyclone Li

#### 4. Wyniki badań skuteczności separacji cząstek stałych

Substancje dozowane użyte w badaniach:

- 1) cząstki stałe mialu węglowego ( $\rho_{\text{nasypowa}} = 0,82 \text{ t/m}^3$ ),
- 2) cząstki stałe piasku białego ( $\rho_{\text{nasypowa}} = 1,52 \text{ t/m}^3$ ),
- 3) cząstki stałe śruty ( $\rho_{\text{nasypowa}} = 1,56 \text{ t/m}^3$ ),
- 4) cząstki stałe piasku budowlanego ( $\rho_{\text{nasypowa}} = 1,66 \text{ t/m}^3$ ),
- 5) cząstki stałe rudy żelaza ( $\rho_{\text{nasypowa}} = 2,42 \text{ t/m}^3$ ).

W tabelach 1 ÷ 3 przedstawiono wybrane sprawności separacji cząstek stałych w funkcji wydajności dla określonych parametrów konstrukcyjno-ruchowych hydrocyklonu JS-40.

Tabela 1. Substancja dozowana: cząstki stałe mialu węglowego  
Table 1. Dosage of matter: solid particles of fine coal

| Parametry konstrukcyjne hydrocyklonów                                              |                           |              |                     |                       |                       |                              |                     |                       |                 |              |                     |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|--------------|---------------------|-----------------------|
| średnice dysz wylewu                                                               |                           |              |                     |                       | $\phi = 2 \text{ mm}$ |                              |                     |                       |                 |              |                     |                       |
| średnice króćców wlotowych                                                         |                           |              |                     |                       | $\phi = 8 \text{ mm}$ |                              |                     |                       |                 |              |                     |                       |
| średnice króćców przelewu                                                          |                           |              |                     |                       | $\phi = 8 \text{ mm}$ |                              |                     |                       |                 |              |                     |                       |
| Sposób pracy hydrocyklonów: bez dławienia na wylewie                               |                           |              |                     |                       |                       |                              |                     |                       |                 |              |                     |                       |
| Badanie separacji cząstek stałych i sprawności oczyszczania w hydrocyklonach JS-40 |                           |              |                     |                       |                       |                              |                     |                       |                 |              |                     |                       |
| Zasi-<br>lanie<br>$Q_v$                                                            | Zawartość cząstek stałych |              |                     |                       |                       |                              |                     |                       |                 |              |                     |                       |
|                                                                                    | Dozowanie 10 ml           |              |                     |                       | Dozowanie 20 ml       |                              |                     |                       | Dozowanie 30 ml |              |                     |                       |
| [l/h]                                                                              | Wlot<br>[g]               | Wylot<br>[g] | Czas<br>doz.<br>[s] | Spraw-<br>ność<br>[%] | Wlot<br>[g]           | Wylot<br>[g]                 | Czas<br>doz.<br>[s] | Spraw-<br>ność<br>[%] | Wlot<br>[g]     | Wylot<br>[g] | Czas<br>doz.<br>[s] | Spraw-<br>ność<br>[%] |
| 1500                                                                               | 8,1                       | 8,1          | 5                   | 100                   | 16,7                  | 16,7                         | 10                  | 100                   | 24,8            | 24,8         | 10                  | 100                   |
| 2000                                                                               | 8,1                       | 7,7          | 5                   | 95,06                 | 16,7                  | 16,4                         | 10                  | 98,20                 | 24,8            | 24,3         | 10                  | 97,98                 |
| 2500                                                                               | 8,1                       | 7,4          | 5                   | 91,35                 | 16,7                  | 15,9                         | 10                  | 95,20                 | 24,8            | 23,1         | 10                  | 93,14                 |
| 3000                                                                               | 8,1                       | 6,7          | 5                   | 82,71                 | 16,7                  | analiza na<br>MS2000<br>14.1 | 10                  | 84,43                 | 24,8            | 22,1         | 10                  | 89,11                 |

Tabela 2. Substancja dozowana: cząstki stałe śruty  
Table 2. Dosage of matter: solid particles of abrasive shot

| Parametry konstrukcyjne hydrocyklonów                                              |                           |              |                  |                  |                       |                        |                  |                  |                 |              |                  |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------------|------------------|------------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|
| średnice dysz wylewu                                                               |                           |              |                  |                  | $\phi = 3 \text{ mm}$ |                        |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| średnice króćców wlotowych                                                         |                           |              |                  |                  | $\phi = 8 \text{ mm}$ |                        |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| średnice króćców przelewu                                                          |                           |              |                  |                  | $\phi = 8 \text{ mm}$ |                        |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Sposób pracy hydrocyklonów: bez dławienia na wylewie                               |                           |              |                  |                  |                       |                        |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Badanie separacji cząstek stałych i sprawności oczyszczania w hydrocyklonach JS-40 |                           |              |                  |                  |                       |                        |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Zasilanie<br>$Q_v$                                                                 | Zawartość cząstek stałych |              |                  |                  |                       |                        |                  |                  |                 |              |                  |                  |
|                                                                                    | Dozowanie 10 ml           |              |                  |                  | Dozowanie 20 ml       |                        |                  |                  | Dozowanie 30 ml |              |                  |                  |
| [l/h]                                                                              | Wlot<br>[g]               | Wylot<br>[g] | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] | Wlot<br>[g]           | Wylot<br>[g]           | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] | Wlot<br>[g]     | Wylot<br>[g] | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] |
| 1500                                                                               | 15,3                      | 11,8         | 10               | 77,12            | 31,5                  | analiza na MS2000 27,5 | 15               | 87,30            | 47,7            | 45,1         | 15               | 94,54            |
| 2000                                                                               | 15,3                      | 13,7         | 10               | 89,54            | 31,5                  | 30,2                   | 15               | 95,87            | 47,7            | 46,8         | 15               | 98,11            |
| 2500                                                                               | 15,3                      | 15,1         | 10               | 98,69            | 31,5                  | 31,1                   | 15               | 98,73            | 47,7            | 47,5         | 15               | 99,58            |
| 3000                                                                               | 15,3                      | 15,3         | 10               | 100              | 31,5                  | 31,5                   | 15               | 100              | 47,7            | 47,7         | 15               | 100              |

Tabela 3. Substancja dozowana: cząstki stałe rudy żelaza

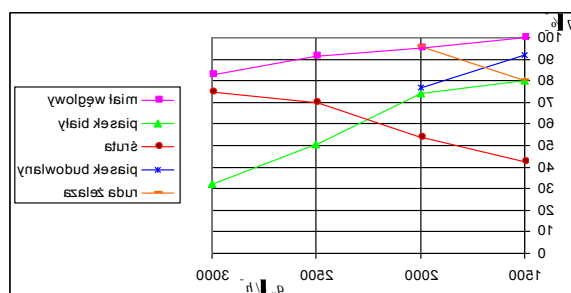
Table 3. Dosage of matter: solid particles of iron

|                                                                                    |                           |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|------------------|------------------|-----------------------|--------------|------------------|------------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|
| Parametry konstrukcyjne hydrocyklonów                                              |                           |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| średnice dysz wylewu                                                               |                           |              |                  |                  | $\phi = 4 \text{ mm}$ |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| średnice króćców wlotowych                                                         |                           |              |                  |                  | $\phi = 8 \text{ mm}$ |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| średnice króćców przelewu                                                          |                           |              |                  |                  | $\phi = 8 \text{ mm}$ |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Sposób pracy hydrocyklonów: bez dławienia na wylewie                               |                           |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Badanie separacji cząstek stałych i sprawności oczyszczania w hydrocyklonach JS-40 |                           |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Zasilanie<br>$Q_v$                                                                 | Zawartość cząstek stałych |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
|                                                                                    | Dozowanie 10 ml           |              |                  |                  | Dozowanie 20 ml       |              |                  |                  | Dozowanie 30 ml |              |                  |                  |
| [l/h]                                                                              | Wlot<br>[g]               | Wylot<br>[g] | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] | Wlot<br>[g]           | Wylot<br>[g] | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] | Wlot<br>[g]     | Wylot<br>[g] | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] |
| 1500                                                                               | 24,2                      | 18,9         | 5                | 78,09            | 48,5                  | 34,9         | 10               | 71,95            | 72,7            | 50,2         | 10               | 69,05            |
| 2000                                                                               | 24,2                      | 22,4         | 5                | 92,56            | 48,5                  | 40,5         | 10               | 83,50            | 72,7            | 56,5         | 10               | 77,71            |
| 2500                                                                               | 24,2                      | 23,8         | 5                | 98,34            | 48,5                  | 44,2         | 10               | 91,13            | 72,7            | 62,7         | 10               | 86,24            |
| 3000                                                                               | 24,2                      | 24,1         | 5                | 99,58            | 48,5                  | 47,9         | 10               | 98,76            | 72,7            | 71,1         | 10               | 97,79            |

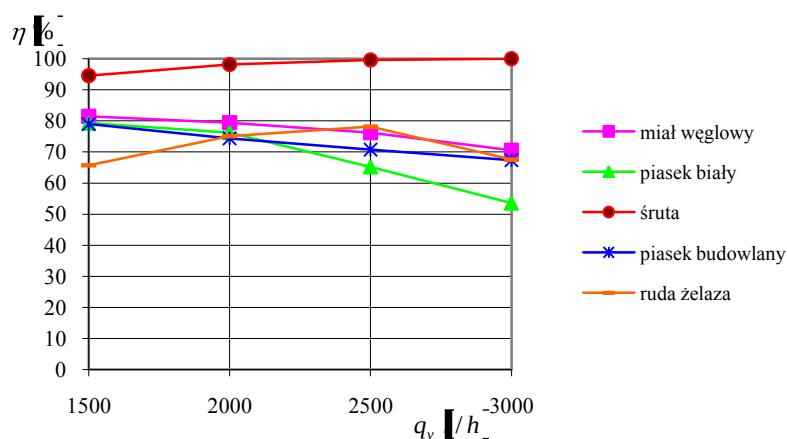
Tabela 4. Substancja dozowana: cząstki stałe piasku budowlanego

Table 4. Dosage of matter: solid particles of sand

|                                                                                    |                           |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|------------------|------------------|-----------------------|--------------|------------------|------------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|
| Parametry konstrukcyjne hydrocyklonów                                              |                           |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| średnice dysz wylewu                                                               |                           |              |                  |                  | $\phi = 4 \text{ mm}$ |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| średnice króćców wlotowych                                                         |                           |              |                  |                  | $\phi = 8 \text{ mm}$ |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| średnice króćców przelewu                                                          |                           |              |                  |                  | $\phi = 8 \text{ mm}$ |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Sposób pracy hydrocyklonów: bez dławienia na wylewie                               |                           |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Badanie separacji cząstek stałych i sprawności oczyszczania w hydrocyklonach JS-40 |                           |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
| Zasilanie<br>$Q_v$                                                                 | Zawartość cząstek stałych |              |                  |                  |                       |              |                  |                  |                 |              |                  |                  |
|                                                                                    | Dozowanie 10 ml           |              |                  |                  | Dozowanie 20 ml       |              |                  |                  | Dozowanie 30 ml |              |                  |                  |
| [l/h]                                                                              | Wlot<br>[g]               | Wylot<br>[g] | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] | Wlot<br>[g]           | Wylot<br>[g] | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] | Wlot<br>[g]     | Wylot<br>[g] | Czas doz.<br>[s] | Sprawność<br>[%] |
| 1500                                                                               | 16,6                      | 11,1         | 5                | 66,86            | 33,4                  | 23,5         | 10               | 70,35            | 49,9            | 37,7         | 10               | 75,55            |
| 2000                                                                               | 16,6                      | 13,4         | 5                | 80,72            | 33,4                  | 28,4         | 10               | 85,02            | 49,9            | 43,4         | 10               | 86,97            |
| 2500                                                                               | 16,6                      | 14,1         | 5                | 84,93            | 33,4                  | 29,8         | 10               | 89,22            | 49,9            | 46,1         | 10               | 92,38            |
| 3000                                                                               | 16,6                      | 12,2         | 5                | 73,49            | 33,4                  | 26,6         | 10               | 79,64            | 49,9            | 43,2         | 10               | 86,57            |

Rys. 6. Sprawność separacji cząstek stałych hydrocyklonu JS-40 z dyszami wylewu przy dozowaniu 20 ml cząstek stałych i średnicy wylewu  $\phi 2 \text{ mm}$ Fig. 6. Separation efficiency of solid particles in JS-40 hydro cyclone with a 20 ml dosage of solid particles and underflow diameter  $\phi 2 \text{ mm}$





Rys. 7. Skuteczność separacji cząstek stałych hydrocyklonu JS-40 przy dozowaniu 30 ml i średnicy wylewu  $\phi$  3 mm

Fig. 7. Separation efficiency of solid particles in JS-40 hydro cyclone with a 30 ml dosage and underflow diameter  $\phi$  3 mm

## 5. Badanie skuteczności odolejania emulsji o/w i cząstek stałych w układzie szeregowym hydrocyklonów JS-40 i Li

Do układu hydrocyklonów połączonych szeregowo (rys. 3) dozowano mieszaninę składającą się z 50% cząstek stałych i 50% paliwa lekkiego DMA. Cząstki stałe miały węglowego 7,5 g i cząstki stałe piasku budowlanego 7,5 g. Paliwo lekkie DMA o gęstości 0,832 g/ml, lepkość  $\nu = 12,7$  cSt w 100°C w ilości 15 g.

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 5.

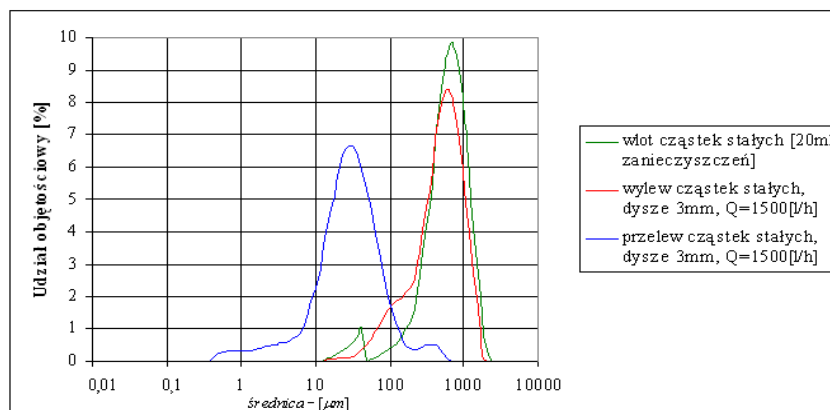
Tabela 5. Badanie skuteczności odolejania i separacji cząstek stałych w hydrocyklonach JS-40 i Li połączonych szeregowo (rys. 3)

Table 5. Testing of de-oil separation efficiency and separation of solid particles in hydro cyclones JS-40 and Li connected in series

|                                          |          |          |          |
|------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Strumień zasilający $q_v$ , l/h          | 1500     | 2000     | 2500     |
| Ilość dozowanego paliwa, l               | 0,01803  | 0,01803  | 0,01803  |
| Czas dozowania, s                        | 5        | 5        | 5        |
| Stężenie oleju, ppm                      | 7160     | 5360     | 4310     |
| Średnica wylewu w JS, mm                 | 2        | 2        | 2        |
| Średnica przelewu w Li, mm               | 10       | 10       | 10       |
| Stężenie oleju na wylewie z Li, ppm      | 63       | 67,8     | 36,5     |
| Skuteczność separacji cząstek stałych, % | 85 – 100 | 88 – 100 | 92 – 100 |
| Skuteczność separacji oleju, %           | 99,1     | 98,7     | 99,1     |

## 6. Rozkład objętościowy cząstek stałych na mierniku Malvern zgodnie z normą ISO 13320/01

Na rys. 8 przedstawiono rozkłady objętościowe cząstek śruty przed i za hydrocyklonem JS-40 określone na mierniku Malvern 2000 zgodnie z normą ISO 13320/01.



Rys. 8. Rozkład objętościowy cząstek stałych śruty na hydrocyklonie JS-40  
Fig. 8. Volumetric distribution of abrasive shot solid particles in JS-40 hydro cyclone

## 7. Wnioski końcowe

W badaniach niektóre cząstki stałe zatykały dysze wylutowe Hydrocyklonu JS-40 o średnicy 2 mm szczególnie ruda żelaza, piasek budowlany i śruta, uniemożliwiając właściwą pracę hydrocyklonu przy zasilaniu powyżej 2000 l/h. Najwyższa sprawność separacji cząstek stałych uzyskano w przedziale 95 – 99,5% dla wydajności 3000 l/h z króćcem wylutowym 3 mm na śrucie (rys. 7). Najniższą sprawność uzyskano dla piasku 35 – 52% (rys. 6 i 7).

Przy pracy szeregowej skuteczność separacji oleju i cząstek stałych mieści się od 85 – 99,9% (tab. 5).

Na podstawie objętościowego rozkładu cząstek stałych (rys. 8) występuje wyraźne zmniejszenie średnicy cząstek z 684 μm na 30 μm (śruta).

Moduł hydrocyklonów separujących cząstki stałe połączony szeregowo z hydrocyklonem separującym cząstki zaolejone mogłoby znaleźć zastosowanie w przyszłości jako pierwszy stopień oczyszczania ścieków olejowych przed modulem membran filtracyjnych

## Literatura

- [1] Marine Engineers Review, Nov. 1999.
- [2] IMO News 1/97.
- [3] Wiewióra A., Ochrona środowiska morskiego w eksploatacji statków. Wyd. AM, Szczecin 2003.
- [4] [http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/pdf/greenpaper\\_brochure\\_pl.pdf](http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/pdf/greenpaper_brochure_pl.pdf). W kierunku przyszłej unijnej polityki morskiej: europejska wizja oceanów i mórz KL-75-06-679-pl-C.
- [5] Lewandowski P., Prawna ochrona wód morskich i śródlądowych przed zanieczyszczeniami. Wyd. UG, Gdańsk 1996.
- [6] Grudziński J., Badanie wpływu stożka na separację cząstek oleju w hydrocyklonie. Pol. Wroc., Energetyka 2002, s. 233-242.
- [7] Biegaj J., Badanie skuteczności separacji cząstek stałych i system odolejania emulsji olejowo wodnej w hydrocyklonach połączonych szeregowo. Praca dyplomowa inż., promotor dr inż. Gutteter-Grudziński J., AM, Szczecin 2007.
- [8] Bartkiewicz B., Oczyszczanie ścieków przemysłowych. PWN, Warszawa 2007.
- [9] Patent RP 191701. Beziukow O., Listewnik J., Reszniak W., Akademia Morska w Szczecinie PL 2006.
- [10] Gutteter-Grudzinski J., Listewnik J., Badanie hydrocyklonów w układzie szeregowym, Energetyka 2008 s.233-242.