

**Mirosław Rzycznik\***

## **EKWIWALENTNE I ZASTĘPCZE ŚREDNICE ZEWNĘTRZNE OBCIĄŻNIKÓW SPIRALNYCH\*\***

### **1. WSTĘP**

Jednym z kroków projektowania hydraulicznych parametrów technologii wiercenia otworów jest obliczanie wartości strat ciśnienia na pokonanie oporów przepływu płuczki wiertniczej w układzie jej krążenia, m.in. wewnątrz przewodu wiertniczego oraz w przestrzeni pierścieniowej między ścianą otworu (ścianą kolumny rur okładzinowych) i zewnętrzną ścianą przewodu wiertniczego.

W przypadku standardowych konstrukcji przewodów wiertniczych, zbudowanych z rur płuczkowych i obciążników okrągłych, dla których znane są wartości średnic wewnętrznych i zewnętrznych, wykorzystuje się np. wzory Hagena–Poiseuille’a, Darcy’ego–Weisbacha czy Fanninga, do obliczeń oporów przepływu wewnątrz rur i w przestrzeni pierścieniowej między dwiema współosiowymi kolumnami rur [7].

W nowoczesnych konstrukcjach przewodów wiertniczych do wierceń normalnośredniowych stosowane są obciążniki spiralne [2, 5].

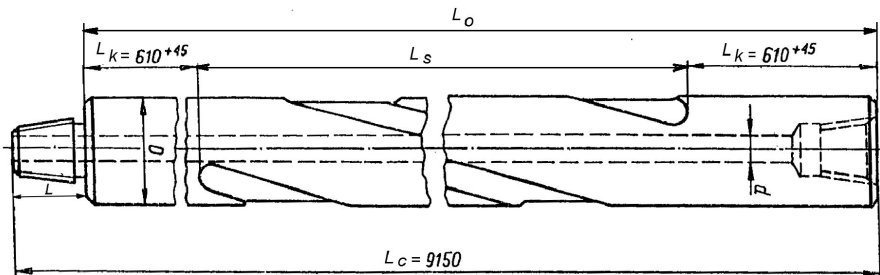
Z obciążników takich (rys. 1) mogą być konstruowane tzw. kolumny przewymiarowane, tzn. o większej średnicy zewnętrznej od średnicy obciążników okrągłych, które projektuje się zgodnie z następującymi zasadami [1]:

- normalne warunki wiercenia – iloraz zewnętrznej średnicy kolumny obciążników i średnicy świdra powinien wynosić  $0,75 \div 0,85$  (dla świdrów o średnicy  $\leq 0,2953$  m) oraz  $0,65 \div 0,75$  (dla świdrów o średnicy  $> 0,2953$  m);
- utrudnione warunki wiercenia – należy przyjmować obciążniki o zewnętrznych średnicach o jedną klasę mniejszych.

---

\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków

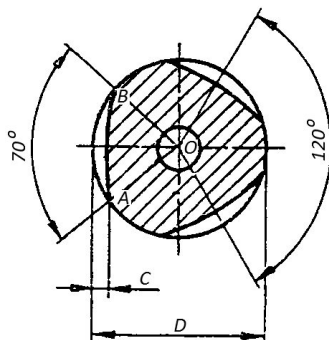
\*\* Praca wykonana w ramach badań statutowych 11.11.190.01



Rys. 1. Schemat obciążnika spiralnego [4]

Przy użyciu obciążników spiralnych konstruuje się zestawy o podwyższonej sztywności zginania [6], umożliwiając stosowanie zwiększonych wartości nacisków osiowych na narzędzia wierzące i efektywniejszą kontrolę trajektorii otworów wiertniczych.

Zmniejszenie prześwitu między ścianą otworu wiertniczego (wewnętrzną ścianą kolumny rur okładzinowych) a zewnętrzną ścianą obciążników spiralnych nie wpływa ujemnie na proces płukania otworu wiertniczego dzięki wykonaniu w zewnętrznej ścianie obciążników, spiralnych kanałów (rys. 1, 2) i powiększenie w ten sposób przestrzeni dla przepływu płuczki wiertniczej ze zwiercinami.



Rys. 2. Schemat przekroju poprzecznego części spiralnej obciążnika spiralnego [4]

Równocześnie jednak poprzez wykonanie trzech równomiernie rozmieszczonych na wewnętrznej ścianie obciążnika, kanałów spiralnych uzyskuje się kształt przekroju poprzecznego obciążnika spiralnego nie w postaci pierścienia o stałej średnicy wewnętrznej i zewnętrznej, lecz w formie zakreskowanej figury geometrycznej (rys. 2). Tak więc przestrzeń między zewnętrzną ścianą kolumny obciążników a ścianą otworu wiertniczego w części spiralnej obciążnika również nie jest przestrzenią o przekroju pierścieniowym.

W artykule zaproponowano więc, aby przed przystąpieniem do obliczeń oporów przepływu płuczki wiertniczej w tej przestrzeni wyznaczyć, dla stałej wartości średnicy wewnętrznej  $d$  wartość ekwiwalentnej średnicy zewnętrznej części spiralnej obciążnika  $D_e$ , przy założeniu warunku równości pól powierzchni przekrojów poprzecznych części spiralnej obciążnika spiralnego i ekwiwalentnego obciążnika okrągłego ( $S_{os} = S_{oe}$ ). Umożliwi to zastąpienie w obliczeniach hydrauliki otworowej, spiralnej części obciążnika spiralnego teoretycznym obciążnikiem okrągłym o średnicy zewnętrznej  $D_e$ .

## 2. EKWIWALENTNA ŚREDNICA ZEWNĘTRZNA SPIRALNEJ CZĘŚCI OBCIĄŻNIKA SPIRALNEGO

Dna kanałów spiralnych obciążników o średnicach zewnętrznych  $D \in (88,9 \div 177,8)$  mm są płaskimi płaszczyznami [4]. Przyjmując niewielkie uproszczenie w postaci założenia podobnego kształtu dna kanałów spiralnych obciążników o średnicach zewnętrznych  $D \in (184,2 \div 279,4)$  mm można, na podstawie planimetrii przekroju poprzecznego spiralnej części obciążnika spiralnego (rys. 2), obliczyć długość cięciwy  $\overline{AB}$  wzorem:

$$\overline{AB} = (D - 2C)\text{tg}35^\circ = 0,7(D - 2C), \text{ m} \quad (1)$$

Natomiast pole powierzchni przekroju poprzecznego kanału spiralnego  $S_{ks}$ , czyli pole powierzchni zawarte między łukiem  $\widehat{AB}$  i cięciwą  $\overline{AB}$  (rys. 2), można wyznaczyć jako różnicę pola powierzchni wycinka koła o średnicy  $D$  zawartego między ramionami kąta środkowego o rozwartości  $70^\circ$  i pola powierzchni trójkąta  $AOB$ :

$$S_{ks} = \frac{7}{36} \cdot \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\overline{AB}}{2} \cdot \left( \frac{D}{2} - C \right), \text{ m}^2 \quad (2)$$

Po podstawieniu (1) do (2) i przekształceniu uzyskano:

$$S_{ks} = 0,7(D \cdot C - C^2) - 0,022D^2, \text{ m}^2 \quad (3)$$

Ponieważ obciążniki spiralne wykonywane są z trzema kanałami spiralnymi (rys. 2) [4], pole powierzchni przekroju poprzecznego części spiralnej obciążnika spiralnego  $S_{os}$  można obliczyć wzorem:

$$S_{os} = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} - 3S_{ks}, \text{ m}^2 \quad (4)$$

Natomiast pole powierzchni przekroju ekwiwalentnego obciążnika okrągłego  $S_{oe}$ , dla spiralnej części obciążnika spiralnego, przy założeniu tej samej średnicy wewnętrznej można wyznaczyć z zależności:

$$S_{oe} = \frac{\pi D_e^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}, \text{ m}^2 \quad (5)$$

Przyjmując założenie równości pól powierzchni przekrojów poprzecznych obciążnika spiralnego i ekwiwalentnego obciążnika okrągłego  $S_{os} = S_{oe}$ , można wyznaczyć wartość ekwiwalentnej średnicy zewnętrznej obciążnika okrągłego  $D_e$  ze wzoru:

$$D_e = \sqrt{\frac{4 \left( \frac{\pi D^2}{4} - 3S_{ks} \right)}{\pi}}, \text{ m} \quad (6)$$

Po podstawieniu (3) do (6) otrzymano ostateczną postać wzoru na obliczanie wartości ekwiwalentnej średnicy zewnętrznej obciążnika okrągłego, dla określonej wartości średnicy zewnętrznej obciążnika spiralnego  $D$  oraz głębokości kanału spiralnego  $C$ :

$$D_e = \sqrt{1,08D^2 - 2,67(D \cdot C - C^2)}, \text{ m} \quad (7)$$

Wartości ekwiwalentnych średnic zewnętrznych  $D_e$  produkowanych obciążników spiralnych o standardowych wymiarach [4] zestawiono w tabeli 1.

### 3. DŁUGOŚĆ CZĘŚCI SPIRALNEJ OBCIĄŻNIKA SPIRALNEGO

Kanały spiralne nie obejmują całej długości obciążnika spiralnego. Znajdują się one pomiędzy końcówkami obciążnika, które są wykonane w postaci gładkich odcinków obciążnika okrągłego, o długościach  $L_k \cong 610$  mm (rys. 1). Zatem średnicą ekwiwalentną  $D_e$  można posługiwać się w obliczeniach oporów przepływu płuczki w przestrzeni między ścianą otworu (wewnętrzną ścianą rur okładzinowych) a częścią spiralną obciążników spiralnych. Natomiast w wypadku przestrzeni pierścieniowej między gładkimi końcówkami obciążnika a ścianą otworu (wewnętrzną ścianą rur okładzinowych) należy do obliczeń przyjmować wartość średnicy zewnętrznej obciążnika spiralnego  $D$ .

Długości części spiralnych  $L_s$  obliczonych wzorem:

$$L_s = L_c - 2L_k - L, \text{ m} \quad (8)$$

z uwzględnieniem wymiarów produkowanych obciążników [4] oraz rodzajów ich połączeń gwintowych [3] zestawiono w tabeli 1. Obliczenia wykonano z uwzględnieniem podstawowych wymiarów obciążników spiralnych, bez dopuszczalnych tolerancji wymiarów.

### 4. ZASTĘPCZA ŚREDNICA ZEWNĘTRZNA OBCIĄŻNIKA SPIRALNEGO

W celu uproszczenia obliczeń strat ciśnienia związanych z pokonywaniem oporów przepływu płuczki wiertniczej w przestrzeni między ścianą otworu wiertniczego i zewnętrzną ścianą obciążnika spiralnego proponuje się zastosować zastępczą średnicę zewnętrzną obciążnika spiralnego  $D_z$ . Określono ją jako średnią ważoną średnicy ekwiwalentnej części spiralnej  $D_e$  oraz zewnętrznej średnicy końcówek obciążnika spiralnego  $D$  wzorem:

$$D_z = \frac{L_s \cdot D_e + 2L_k \cdot D}{L_o}, \text{ m} \quad (9)$$

Zastosowanie zastępczej zewnętrznej średnicy obciążników umożliwia zastąpienie w obliczeniach hydrauliki otworowej rzeczywistej kolumny, zbudowanej z obciążników spiralnych o zewnętrznej średnicy  $D$ , wewnętrznej średnicy  $d$  oraz ekwiwalentnej zewnętrznej średnicy części spiralnej  $D_e$ , teoretyczną kolumną obciążników okrągłych o średnicy zewnętrznej  $D_z$  i średnicy wewnętrznej  $d$ , przy zachowaniu tej samej długości kolumn.

**Tabela 1**

Charakterystyka obciążników spiralnych [3, 4]

Wielkość	Średnica zewnętrzna, $D$		Średnica wewnętrzna, $d$		Głębokość kanatu spiralnego, $C$	Zewnętrzna średnica ekwiwalentna, $D_e$	Rodzaj gwintu	Długość stożka czopa $L$	Długość obciążnika $L_o$	Długość części spiralnej obciążnika $L_s$	Zewnętrzna średnica zastępcza, $D_z$
	m·10 <sup>-3</sup>	cale	m·10 <sup>-3</sup>	cale							
–							–				
NC 26-35	88,9	3 1/2	38,1	1 1/2	4,0	87,3	NC 26	76,2	9073,8	7853,8	87,5
NC 31-41	104,8	4 1/8	50,8	2	4,8	102,9	NC 31	88,9	9061,1	7841,1	103,2
NC 35-47	120,6	4 3/4	50,8	2	5,6	118,3	NC 35	95,2	9054,8	7834,8	118,6
NC 38-50	127,0	5	57,2	2 1/4	5,6	124,9	NC 38 No	101,6	9048,4	7828,4	125,2
NC 44-60	152,4	6	57,2	2 1/4	7,2	149,3	NC 44 No	114,3	9035,7	7815,7	149,7
NC 44-60	152,4	6	71,4	2 13/16	7,2	149,3	NC 44 No	114,3	9035,7	7815,7	149,7
NC 44-62	158,8	6 1/4	57,2	2 1/4	7,2	156,0	NC 44 No	114,3	9035,7	7815,7	156,4
NC 46-62	158,8	6 1/4	71,4	2 13/16	7,2	156,0	NC 46 No	114,3	9035,7	7815,7	156,4
NC 46-65	165,1	6 1/2	57,2	2 1/4	8,0	161,5	NC 46 No	114,3	9035,7	7815,7	162,0
NC 46-65	165,1	6 1/2	71,4	2 13/16	8,0	161,5	NC 46 No	114,3	9035,7	7815,7	162,0
NC 46-67	171,4	6 3/4	57,2	2 1/4	8,0	168,0	NC 46 No	114,3	9035,7	7815,7	168,5
NC 50-70	177,8	7	57,2	2 1/4	8,0	174,7	NC 50 No	114,3	9035,7	7815,7	175,1
NC 50-70	177,8	7	71,4	2 13/16	8,0	174,7	NC 50 No	114,3	9035,7	7815,7	175,1
NC 50-72	184,2	7 1/4	71,4	2 13/16	8,7	180,5	NC 50 No	114,3	9035,7	7815,7	181,0
6 5/8 WP-80	203,2	8	71,4	2 13/16	9,5	199,2	6 5/8 WP No	127,0	9023,0	7803,0	199,7
6 5/8 WP-82	209,6	8 1/4	71,4	2 13/16	9,5	205,8	6 5/8 WP No	127,0	9023,0	7803,0	206,3
7 5/8 WP-95	241,3	9 1/2	76,2	3	10,4	237,6	7 5/8 WP No	133,4	9016,6	7796,6	238,1
7 5/8 WP-97	247,6	9 3/4	76,2	3	10,4	244,2	7 5/8 WP No	133,4	9016,6	7796,6	244,7
7 5/8 WP-100	254,0	10	76,2	3	10,4	250,8	7 5/8 WP No	133,4	9016,6	7796,6	251,2
8 5/8 WP-110	279,4	11	76,2	3	12,0	275,2	8 5/8 WP No	136,5	9013,5	7793,5	275,8

Obliczone wzorem (9) wartości zastępczych średnic zewnętrznych  $D_z$  produkowanych obciążników spiralnych o określonych wielkościach zestawiono w tabeli 1. Obliczenia wykonano z uwzględnieniem podstawowych wymiarów obciążników, bez dopuszczalnych tolerancji wymiarów.

## 5. WNIOSKI

1. Kształt przekroju przestrzeni między kolumną obciążników spiralnych i ścianą otworu wiertniczego jest przyczyną braku możliwości bezpośredniego zastosowania standardowych wzorów do obliczeń strat ciśnienia wynikających z pokonywania oporów przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej między współosiowymi kolumnami rur.
2. W celu efektywnego określania wartości strat ciśnienia wynikających z pokonywania oporów przepływu płuczki wiertniczej w przestrzeni między ścianą otworu i kolumną obciążników spiralnych zaproponowano posługiwanie się ekwiwalentną średnicą zewnętrzną dla części spiralnej oraz zewnętrzną średnicą kolumny obciążników spiralnych dla części z gładkimi końcówkami.
3. Stosowanie zastępczych, zewnętrznych średnic obciążników spiralnych umożliwia wykonywanie obliczeń hydrauliki otworowej w całej przestrzeni między kolumną obciążników spiralnych i ścianą otworu wiertniczego, bez konieczności rozdzielania na część spiralną oraz część z gładkimi końcówkami.

## LITERATURA

- [1] Gonet A., Stryczek S., Rzyczniak M.: *Projektowanie otworów wiertniczych. Zadania z rozwiązaniami*. Skrypty Uczelniane nr 1470, Wydawnictwa AGH, Kraków 1996.
- [2] Kopertowicz Ł.: *Technika i technologia dowiercania złożą węglowodorów Lubiatów-Międzychód-Grotów*. Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Kraków 2009 (praca dyplomowa niepublikowana).
- [3] PN-G-02050:1980: *Wiercenia obrotowe normalnośrednicowe. Połączenia gwintowe. Gwinty narzędziowe przewodu wiertniczego* (wydanie 2). Wydawnictwo Normalizacyjne ALFA, Warszawa 1988.
- [4] PN-G-57365:1987: *Wiercenia obrotowe normalnośrednicowe. Obciążniki spiralne*. Wydawnictwo Normalizacyjne ALFA, Warszawa 1988.
- [5] *Materiały techniczno-technologiczne i geologiczne dotyczące otworów LMG*. PNiG NAFTA, Piła 2009 (materiały niepublikowane).
- [6] *Mały poradnik mechanika* (praca zbiorowa). Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1988.
- [7] Stryczek S., Gonet A., Rzyczniak M.: *Technologia płuczek wiertniczych i zaczynów uszczelniających*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 1999.

## Spis oznaczeń

$\overline{AB}$  – długość cięciwy  $AB$ , m

$\widehat{AB}$  – długość łuku  $AB$ , m

$C$  – głębokość kanału spiralnego, m

$D$  – zewnętrzna średnica obciążnika spiralnego, m

$D_e$  – ekwiwalentna zewnętrzna średnica części spiralnej obciążnika spiralnego, m

$D_z$  – zastępcza średnica zewnętrzna obciążnika spiralnego, m

$d$  – wewnętrzna średnica obciążnika spiralnego, m

$L$  – długość stożka czopa obciążnika spiralnego, m

$L_c$  – całkowita długość obciążnika spiralnego (z czopem), m

$L_o$  – długość obciążnika spiralnego (bez czopa), m

$L_s$  – długość części spiralnej obciążnika spiralnego, m

$S_{ks}$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego kanału spiralnego, m<sup>2</sup>

$S_{oe}$  – pole powierzchni przekroju ekwiwalentnego obciążnika okrągłego, m<sup>2</sup>

$S_{os}$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego obciążnika spiralnego, m<sup>2</sup>