

**Dariusz Knez\***

## **DOBÓR DYSZ DO ZABIEGÓW INIEKCJI STRUMIENIOWEJ\*\***

### **1. WSTĘP**

Metody iniekcji od lat są przedmiotem badań prowadzonych na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazy AGH [2, 4, 5]. Iniekcja strumieniowa przeniesiona została do Europy z Japonii, a w Polsce stosowana jest od lat dziewięćdziesiątych [7]. Zabiegi iniekcji strumieniowej wykonywane są w celu wzmocnienia lub uszczelnienia górotworu tam, gdzie niemożliwe jest zastosowanie klasycznej iniekcji ze względu na niską przepuszczalność skał [1]. Technologia ta bardzo dobrze sprawdza się między innymi w takich zastosowaniach, jak: wzmocnianie posadowienia budowli, zabezpieczanie budowli hydrotechnicznych i drogowych, budowa ekranów przeciwfiltracyjnych, uszczelnianie wałów przeciwpowodziowych, stabilizacja skarp i osuwisk. Jej istota polega na mieszanii zaczynu uszczelniającego z gruntem, wskutek czego powstają kolumny o odpowiednich właściwościach fizycznych. Strumień zaczynu uszczelniającego wypływa z wysoką prędkością z jednej lub kilku dysz umieszczonych w monitorze, urabiając ścianę otworu wiertniczego. Jednocześnie obracając przewód wiertniczy i podnosząc go, formuje się kolumnę powstałą przez zmieszanie zaczynu, najczęściej cementowego, z urobioną skałą. W praktyce iniekcja strumieniowa pojedyncza umożliwia najczęściej tworzenie kolumn o średnicy od 0,4 m do 1 m. Różne aspekty technologii iniekcji były przedmiotem modelowania komputerowego [3, 6]. Jednym z nich zajmuje się niniejszy artykuł. Bardzo ważne jest odpowiednie dobranie dysz w zależności od warunków geologicznych, właściwości zaczynu uszczelniającego i posiadanego sprzętu. Artykuł prezentuje próbę zastosowania symulacji komputerowej w celu określenia rozkładu ciśnienia i prędkości zaczynu cementowego wewnątrz dyszy oraz u jej wylotu. Dzięki znajomości tych wielkości można dobrać odpowiednią dyszę do zabiegu iniekcji strumieniowej.

---

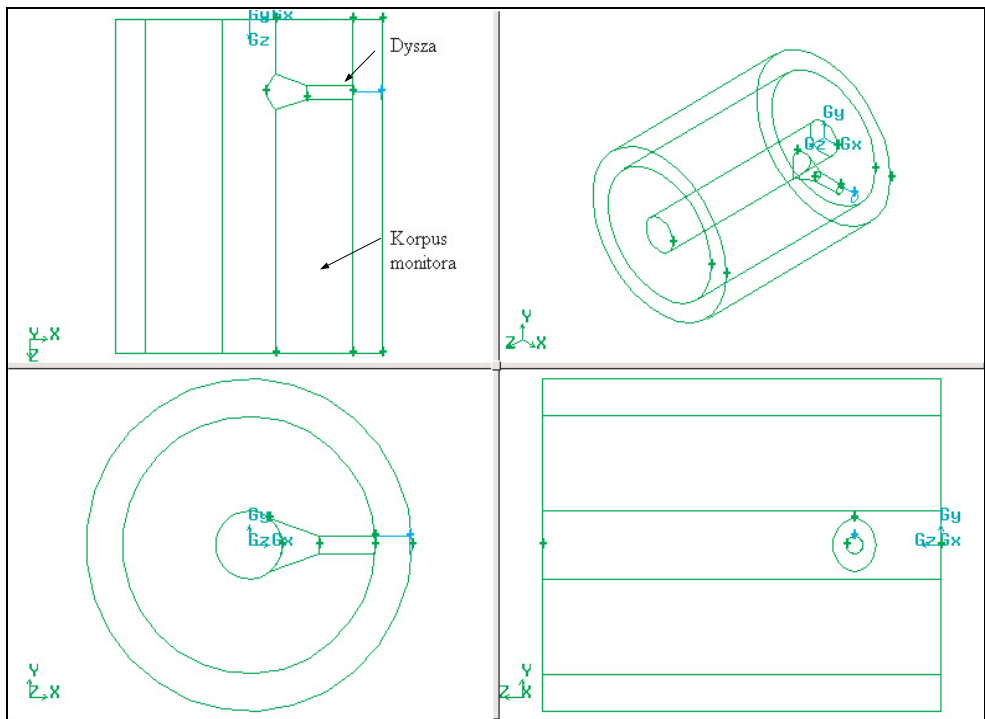
\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Pracę wykonano w Katedrze Wiertnictwa i Geoinżynierii na Wydziale WNiG w ramach badań statutowych nr 11.11.190.01

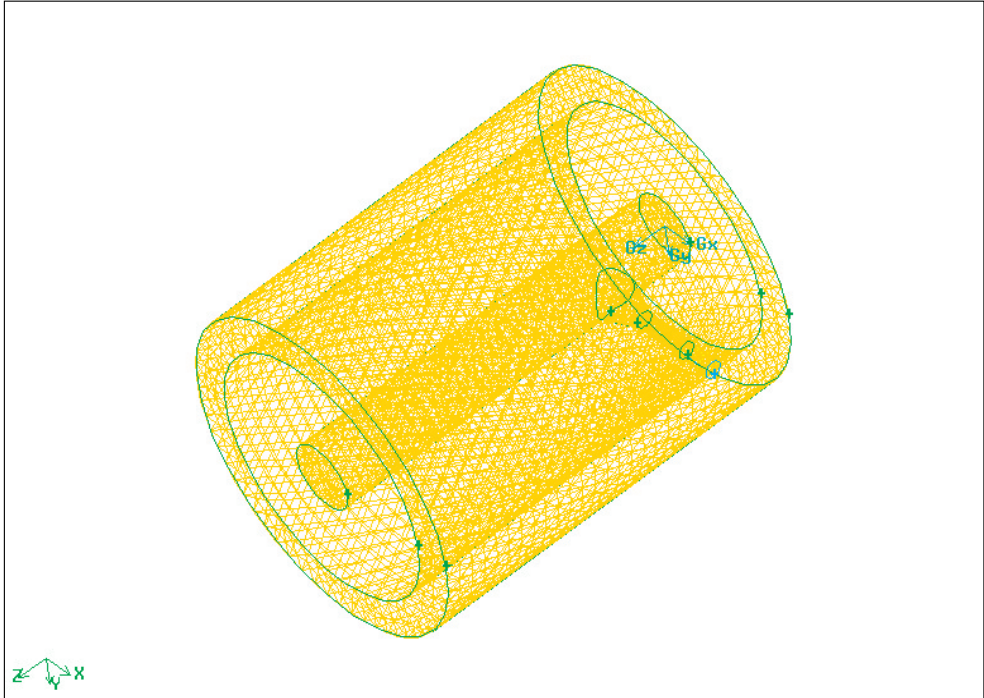
## 2. SYMULACJA KOMPUTEROWA

Symulację przepływu zaczynu iniekcyjnego wykonano przy użyciu symulatora Fluent 6.3.26 jako preprocesor wykorzystano Gambit 2.4.6. W pierwszym etapie pracy wykonany został model geometryczny fragmentu monitora o średnicy 76 mm z zamontowaną dyszą w otworze wiertniczym o średnicy 98,4 mm (rys. 1). Na tak przygotowany model geometryczny naniesiono siatkę elementów skończonych odpowiednio dobierając wcześniej węzły na krawędziach modelu. Następnie zagęszczono ją w miejscach gdzie średnia wartość prędkości przepływu zaczynu uszczelniającego była największa. Efekt końcowy prac nad przygotowaniem modelu elementów skończonych przedstawia rysunek 2.

Rozpatrywano dwa przypadki monitora z dyszą o średnicy wewnętrznej 2 mm oraz 5 mm. Do obliczeń przyjęto ciśnienie zatłaczania poniżej 40 MPa oraz strumień masy przepływu zaczynu iniekcyjnego  $Q = 5 \text{ kg/s}$ . Z praktyki wiadomo, że współczynnik w/m określający stosunek zawartości wody do cementu w zaczynie iniekcyjnym ma istotny wpływ na efekt iniekcji strumieniowej. Dlatego wykonano obliczenia dla zaczynów o różnych właściwościach przedstawionych w tabeli 1.



**Rys. 1.** Rysunek modelu geometrycznego fragmentu monitora o średnicy 76 mm z zamontowaną dyszą w otworze wiertniczym o średnicy 98,4 mm



**Rys. 2.** Model elementów skończonych fragmentu monitora o średnicy 76 mm z zamontowaną dyszą w otworze wiertniczym o średnicy 98,4 mm

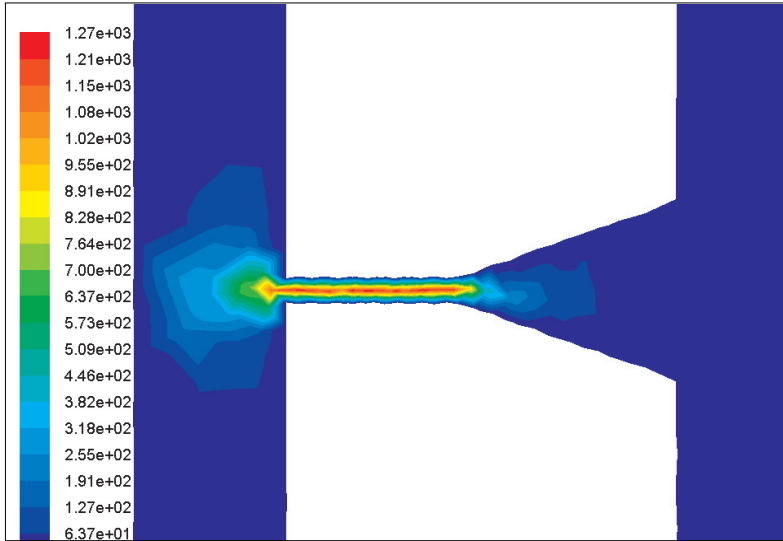
**Tabela 1**

Właściwości zaczynów iniekcyjnych przyjęte do obliczeń

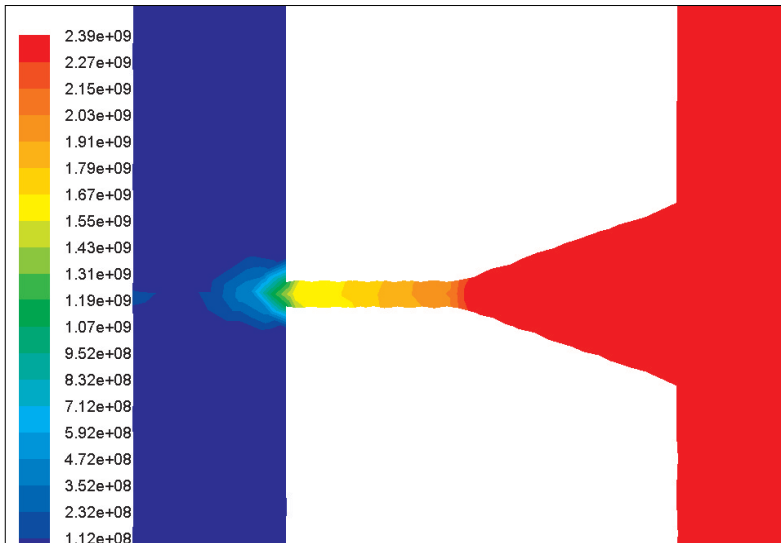
Współczynnik wodno-mieszaninowy w/m	Efektywna lepkość dynamiczna $\mu$	Gęstość $\rho$
[-]	[Pa·s]	[kg/m <sup>3</sup> ]
1	0,008	1500
0,75	0,02	1640
0,5	0,1	1830

Symulacja komputerowa wykazała wyraźny wpływ średnicy dysz oraz współczynnika wodno-mieszaninowego na parametry technologiczne iniekcji strumieniowej. Dla zilustrowania niektórych wyników przedstawiono ich reprezentację graficzną na rysunkach 3 do 6. W tym celu wybrano przekrój przechodzący przez płaszczyznę wyznaczoną przez oś symetrii dyszy oraz oś otworu wiertniczego. Widać wyraźnie, że górotwór będzie urabiany

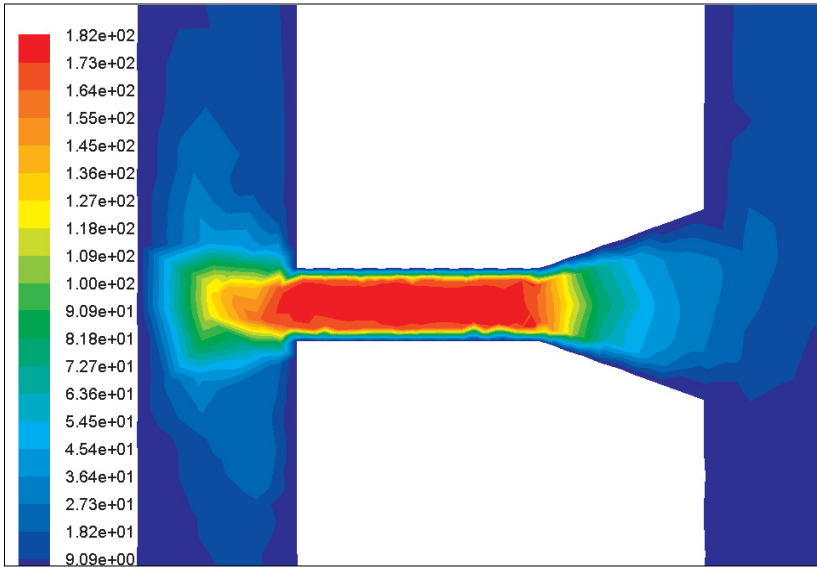
z lepszą skutecznością przy zastosowaniu dyszy o większej średnicy. Zmianę maksymalnego ciśnienia zatłaczania i maksymalnej prędkości w dyszy w zależności od współczynnika wodno-mieszaninowego przedstawia tabela 2.



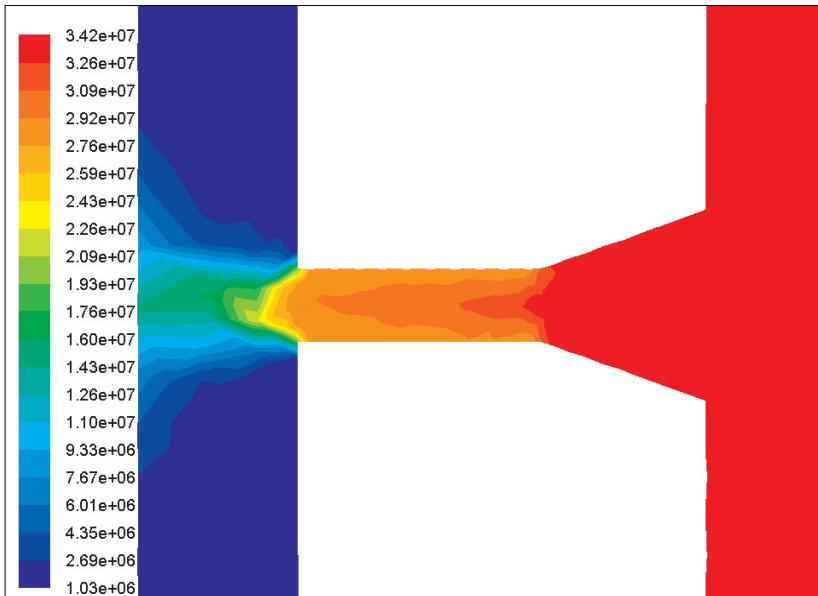
**Rys. 3.** Rozkład prędkości zaczynu iniekcyjnego o  $w/m = 1$  wypływającego z dyszy o średnicy 2 mm (skala wyrażona w m/s)



**Rys. 4.** Rozkład ciśnienia zaczynu iniekcyjnego o  $w/m = 1$  wypływającego z dyszy o średnicy 2 mm (skala wyrażona w Pa)



**Rys. 5.** Rozkład prędkości zaczynu iniekcyjnego o  $w/m = 1$  wypływającego z dyszy o średnicy 5 mm (skala wyrażona w m/s)



**Rys. 6.** Rozkład ciśnienia zaczynu iniekcyjnego o  $w/m = 1$  wypływającego z dyszy o średnicy 5 mm (skala wyrażona w Pa)

**Tabela 2**

Maksymalne ciśnienia zatłaczania i maksymalne prędkości w dyszy w zależności od współczynnika wodno-mieszaninowego dla  $Q=5$  kg/s

Średnica dyszy [mm]	2			5		
Wsp. wodno-mieszaninowy [-]	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
Prędkość [m/s]	1040	1160	1270	150	166	182
Ciśnienie [MPa]	2020	2200	2390	31	31	34,2

Przy użyciu obecnie stosowanego sprzętu do iniekcji strumieniowej nie ma możliwości uzyskania takich ciśnień zatłaczania zaczynu iniekcyjnego jak wynika to z obliczeń dla dyszy 2 mm przedstawionych w tabeli 2. Dlatego przeprowadzono wiele cykli symulacji aby dobrać strumień masy przepływu odpowiedni dla tej dyszy i otrzymano wartość około 0,6 kg/s. Maksymalne ciśnienia zatłaczania i maksymalne prędkości w dyszy 2 mm w zależności od współczynnika wodno-mieszaninowego zebrano w tabeli 3. W praktyce często zabieg iniekcji strumieniowej wykonywany jest przy użyciu większej liczby dysz. Wówczas należy dobierać je tak aby suma pól powierzchni ich przekroju była zbliżona do pola przekroju pojedynczej dyszy, dla której ustalono tą samą wartość ciśnienia zatłaczania. Na przykład w celu uzyskania podobnych parametrów iniekcji jak dla dyszy 5 mm należy zastosować więc 6 dysz o średnicy 2 mm.

**Tabela 3**

Maksymalne ciśnienia zatłaczania i maksymalne prędkości w dyszy 2 mm w zależności od współczynnika wodno-mieszaninowego dla  $Q = 0,6$  kg/s

Współczynnik wodno-mieszaninowy [-]	0,5	0,75	1
Prędkość [m/s]	125	140	153
Ciśnienie [MPa]	32,8	34,8	37,7

Należy zwrócić uwagę na to, że dla tego samego zaczynu uszczelniającego stosując większą dyszę zmniejszamy straty wynikające z oporów przepływu. Dlatego porównując wyniki zestawione w tabelach 2 i 3 można stwierdzić, że przy wyższym ciśnieniu zatłaczania uzyskujemy niższe wartości prędkości wypływu zaczynu z dyszy o mniejszej średnicy.

### 3. WNIOSKI

- 1) Symulacja komputerowa umożliwia uzyskanie wyników dużo niższym kosztem i szybciej niż badania laboratoryjne.
- 2) O ile parametry pomp pozwalają na utrzymanie projektowanego ciśnienia i strumienia objętości przepływu, należy stosować dysze o jak największej średnicy co umożliwi skuteczniejsze urabianie skały.

- 3) Dla precyzyjnego doboru dysz i parametrów iniekcji strumieniowej konieczne jest wykonanie obliczeń z wykorzystaniem symulacji komputerowej.
- 4) Współczynnik wodno-mieszaniowy ma istotny wpływ na dobór dysz oraz parametry iniekcji strumieniowej.

## LITERATURA

- [1] Bin-Chen Benson Hsiung, Nash D.F.T., Lings M.L., Hsieh H.S.: *Effects of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structures*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, No. 12, 2001
- [2] Gonet A., Stryczek S.: *Iniekcja rurociągową i otworową nowoczesnym sposobem zabezpieczania kopalń*. Warsztaty 2001 nt. Zagrożeń naturalnych w górnictwie : materiały sympozjum : sesja okolicznościowa: Przywracanie wartości użytkowych terenom górniczym : sesja specjalna: Stare kopalnie – nowe perspektywy: Wieliczka, 29 maja–1 czerwca 2001
- [3] Knez D., Stryczek S.: *Symulacja przepływu zaczynu uszczelniającego w przestrzeni pierścieniowej otworu iniekcyjnego*. X Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna: Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie, Kraków, 24–25 czerwca 1999
- [4] Stryczek S., Niżnik D.: *Iniekcja ciśnieniowa z hydraulicznym urabianiem skał górotworu (Jet Grouting)*. X Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie; Kraków, 24–25 czerwca 1999
- [5] Stryczek S., Wiśniowski R., Korzeń B.: *Badania modelowe określające wpływ ciśnienia iniekcji na zasięg rozchodzenia się zaczynu uszczelniającego w różnych ośrodkach gruntowych*. Górnictwo i Geologia, 2007
- [6] Wang J.G., Oh B., Lim S.W., Kumar G.S.: *Effect of Different Jet-Grouting Installations on neighboring structures*. Field Measurements in Geomechanics, Balkema 1999
- [7] Wójcik M., Knez D.: *Stabilizacja górotworu metodą iniekcji wysokociśnieniowej z hydraulicznym urabianiem skał górotworu*. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie, Kraków, czerwiec 1995