

# Projekt i budowa urządzenia stabilizującego ciśnienie zaczynu cementowego w technologii Deep Soil Mixing

## Design and construction of a pressure stabilizing device of cement slurry used in Deep Soil Mixing Technology

ŁUKASZ NOWAKOWSKI  
WOJCIECH DEPCZYŃSKI \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.12.209>

Przedstawiono prace nad projektowaniem i budową urządzenia stabilizującego ciśnienie robocze zaczynu cementowego, który jest wykorzystywany w technologii Deep Soil Mixing (DSM).

**SŁOWA KLUCZOWE:** technologia DSM, tłumik pulsacji ciśnienia, zawiesina cementowa, bentonit

*The article describes research carried out for design and construction of devices stabilizing the working pressure of cement slurry, with use of Deep Soil Mixing (DSM).*

**KEYWORDS:** Deep Soil Mixing Technology (DSM), pressure stabilizing device, cement slurry, bentonite

Opisano projekt oraz budowę urządzenia stabilizującego ciśnienie robocze zaczynu cementowego, wykorzystywanego w technologii Deep Soil Mixing (DSM). Technologia ta jest stosowana na świecie do wzmacniania słabego podłoża budowlanego i polega na wykonaniu w gruncie kolumn (przesłon) z cementogruntu (rys. 1) [1]. Do gruntu wprowadza się stalowe mieszadło, które zazwyczaj obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Równocześnie do rozluźnionego gruntu podawany jest zaczyn, którego główne składniki to woda i cement.

Technika ta znajduje coraz szersze zastosowanie i jest przedmiotem intensywnych badań eksperymentalnych oraz prac teoretycznych [2, 3].



Rys. 1. Przystony wykonane w technologii DSM [1]

Do podawania zaczynu cementowego wykorzystano elektryczny agregat iniekcyjny AIE-400 firmy Bipromasz. Agregat (rys. 2) składa się z dwóch pomp tłuczковых nurnikowych PPN-250, pracujących w parach, w których nurniki pracują naprzemiennie, by zapewnić ciągłość i równomierność tłuczonego strumienia. Parametry pomp tłuczkowych zamieszczono w tabl. I [4].

Jedną z wad pomp nurnikowych jest pulsacja tłuczowego czynnika, która w przypadku eksploatacji instalacji iniekcyjnej bez urządzenia stabilizującego ciśnienie (tłumika pulsacji) prowadzi do uszkodzenia przewodów iniekcyjnych.



Rys. 2. Agregat iniekcyjny AIE-400 [4]

**TABLICA I. Parametry pracy agregatu iniekcyjnego AIE-400**

Pompa tłuczkowa	PPN-250 – 2 szt.
Iniekt	zawiesiny cementowe i bentonitowe
Wydajność na 1 cykl	4,6 × 2 dm <sup>3</sup>
Wydajność w zestawie AIE-400	do 400 dm <sup>3</sup> /min
Ciśnienie maksymalne	4 (6 dla mikropali) MPa
Napęd	siłownik 50/36 × 250AH

Producenci agregatu iniekcyjnego zalecają zastosowanie na przewodzie tłuczowym dodatkowego tłumika (kompensatora), którego głównym zadaniem jest znaczące zmniejszenie pulsacji ciśnienia w możliwie szerokim paśmie częstotliwości przy nieznaczących stratach ciśnienia, niezależnie od wahań temperatury lub ciśnienia. Niestety, dostępne na rynku rozwiązania konstrukcyjne tłumików pulsacji nie są przystosowane do współpracy z zawiesinami cementowymi i bentonitowymi, ponieważ mają ograniczoną możliwość samooczyszczania podczas ciągłej pracy, w wyniku czego w komorze tłumika pozostaje dużo zanieczyszczeń, co prowadzi do uszkodzenia urządzenia.

W niniejszym artykule przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne tłukowego tłumika pulsacji z systemem ciągłego czyszczenia wewnętrznych powierzchni cylindra w czasie pracy.

\* Dr inż. Łukasz Nowakowski (lukasn@tu.kielce.pl) – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii Politechniki Świętokrzyskiej; dr inż. Wojciech Depczyński (wdep@tu.kielce.pl) – Katedra Metaloznawstwa i Technologii Materiałowych Politechniki Świętokrzyskiej

## Projekt urządzenia stabilizującego ciśnienie

Celem projektu było opracowanie tłokowego tłumika pulsacji z systemem ciągłego czyszczenia wewnętrznych powierzchni cylindra w czasie pracy, przeznaczonego do redukcji pulsacji ciśnienia zawieszin cementowych i bentonitowych.

Opracowana konstrukcja urządzenia stabilizującego ciśnienie ma korpus z otworami doprowadzającymi i odprowadzającymi czynnik roboczy. W korpusie osadzony jest również cylinder uszczelniony gumowym pierścieniem.

Na cylindrze jest zainstalowana głowica z manometrem i czwórnikiem doprowadzającym gaz roboczy (azot) do cylindra. W cylindrze jest osadzony suwliwie tłok, który dzieli komorę cylindra na część górną – nad tłokiem – i dolną – pod tłokiem. Do tłoka i górnej części korpusu jest przytwierdzona sprężyna, której krawędzie boczne są oparte o wewnętrzną powierzchnię cylindra.

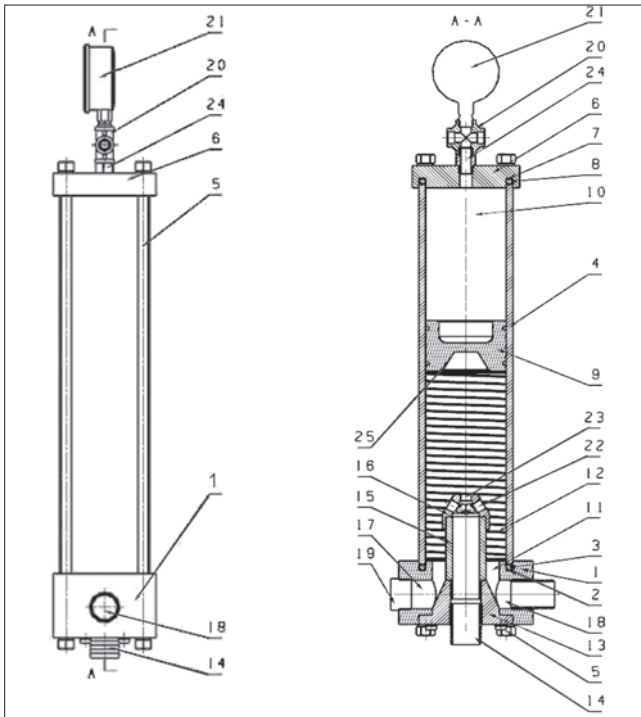
W dolnej części korpusu jest zainstalowana tuleja w postaci stożka ściętego, w której jest osadzona rura z przymocowaną dyszą rozprowadzającą ciecz wewnątrz dolnej komory.

W opracowanym rozwiązaniu dysza ma kształt stożka ściętego z otworami rozmieszczonymi promieniowo na tworzącej stożka oraz otworem umiejscowionym osiowo na czole dyszy.

Tłok jest wyposażony w gniazdo, którego kształt odpowiada kształtowi dyszy.

## Zasada działania urządzenia stabilizującego ciśnienie

Tłoczony przez pompę tłokową lub nurnikową płynny czynnik w postaci cieczy, w tym cieczy nienewtonowskiej lub zawiesziny, jest podawany do tłumika pulsacji za pomocą przewodu podłączonego do wlotu złączki 14 osadzonej w tulei 13. Następnie ciecz przepływa przez rurę 15



Rys. 3. Urządzenie stabilizujące ciśnienie [8]: 1 – korpus, 2 – rowek pierścieniowy, 3 – gumowy pierścień, 4 – cylinder, 5 – śruby łączące, 6 – głowica, 7 – rowek pierścieniowy, 8 – oring, 9 – tłok, 10 – komora górna nad tłokiem, 11 – komora dolna pod tłokiem, 12 – element sprężysty, 13 – tuleja stożkowa, 14, 18 – wlot, 15 – rura, 16 – dysza, 17 – otwór rewizyjny, 19 – korek, 20 – czwórnik, 21 – manometr, 22, 23 – otwory dyszy, 24 – łącznik, 25 – gniazdo

i dyszę 16, tym samym wypełniając dolną komorę 11 pod tłokiem 9. Zadaniem dyszy 16 jest mieszanie, uformowanie oraz ukierunkowanie strugi cieczy, tak aby opłukiwała wewnętrzne ścianki cylindra 4 i wprawiała element sprężysty 12 w dodatkowe drgania, które będą intensyfikowały proces mechanicznego czyszczenia wewnętrznych powierzchni cylindra 4.

Ciągła zmiana ciśnienia wywołana pracą pompy oddziałuje na tłok 9, który przemieszcza się w osiowo górną i dół wzdłuż cylindra 4. Zmiana położenia tłoka 9, wywołana zmianą objętości dolnej komory 11 względem górnej komory 10, pozwala na tłumienie pulsacji tłoczonego czynnika dzięki sprężaniu i rozprężaniu gazu znajdującego się w górnej komorze 10 nad tłokiem 9. Poruszający się naprzemiennie w górę i dół tłok 9 wprawia w ruch element sprężysty 12, którego krawędzie ocierają się o wewnętrzną powierzchnię cylindra 4, powodując jego mechaniczne czyszczenie. Element sprężysty 12 jest wykonany z materiału sprężystego zwiniętego spiralnie, którego przekrój może mieć zarys koła, kwadratu, prostokąta, trójkąta, trapezu oraz ich pochodnych z wklęsłymi lub wypukłymi bokami.

## Obliczenia urządzenia stabilizującego ciśnienie

Pierwszym etapem obliczeń urządzenia stabilizującego ciśnienie było wyznaczenie objętości gazu roboczego, na podstawie której określono wymiary gabarytowe tłoka

TABLICA II. Parametry do określenia objętości gazu roboczego w komorze urządzenia stabilizującego ciśnienie

Temperatura	20°C
Wydatek pompy	400 l/min
Typ pompy	Single Acting
Liczba cykli pompy	53/min
Liczba cylindrów	2 szt.
Ciśnienie tłoczenia	40 bar
Pulsacja resztkowa	8,1%

TABLICA III. Dane wejściowe i tok obliczeń wymiarów gabarytowych urządzenia stabilizującego ciśnienie

Dane wejściowe	
Ciśnienie pracy	$P_p = 40 \text{ bar}$
Średnica tłoka	$d_t = 120 \text{ mm}$
Minimalna objętość gazu	$v_k = 15 \text{ l}$
Obliczenia	
Pole powierzchni tłoka	
$A_k = \pi \cdot \left(\frac{d_t}{2}\right)^2$	$A_k = 11309,7 \text{ mm}^2$
Wysokość cylindra	
$h_k = \frac{v_k}{\pi \cdot \left(\frac{d_t}{2}\right)^2}$	$h_k = 1326,3 \text{ mm}$
Siła na tłoku	
$F_k = p_p \cdot A_k$	$F_k = 45,2 \text{ kN}$
Naddatek na korozję	Wsp. wytrzymałościowy
$c = 2 \text{ mm}$	$k_r = 14 \text{ MPa}, z = 1 \text{ mm}$
Grubość ścianki cylindra	
$g = \frac{p_p \cdot d_t}{(2,3 \cdot k_r - p_p) \cdot z} + c$	$g = 3,24 \text{ mm}$
Grubość dna	
$h_d = 0,433 \cdot d_t \cdot \sqrt{\frac{p_p}{k_r}}$	$h_d = 8 \text{ mm}$

i wysokość cylindra. W celu ustalenia minimalnej wymaganej objętości gazu roboczego posłużono się aplikacjami producentów dostępnych na rynku urządzeń tłumiących pulsacje czynnika roboczego [5,6] oraz pracą [7], kompleksowo opisującą przedmiotowe zjawiska.

Dane wykorzystane do określenia objętości gazu roboczego w komorze urządzenia stabilizującego ciśnienie przedstawiono w tabl. II.

Uzyskano następujące wyniki obliczeń: minimalna objętość gazu roboczego  $\sim 10\div 15$  l, wstępne ciśnienie ładowania 24 bary.

Znając objętość gazu roboczego, dobrano średnicę tłoka równą  $\varnothing 120$  mm, na podstawie której wyznaczono wysokość cylindra urządzenia stabilizującego ciśnienie. Dane wejściowe i tok obliczeń pozostałych wymiarów gabarytowych urządzenia stabilizującego ciśnienie przedstawiono w tabl. III.

### Dobór materiałów, z których zostanie wykonane urządzenie stabilizujące ciśnienie

Po obliczeniu minimalnej objętości gazu roboczego oraz wymiarów gabarytowych urządzenia do stabilizacji ciśnienia roboczego dobrano rodzaj materiału i wymiary gabarytowe półfabrykatów, z których zostanie zbudowane urządzenie. Zestawiono je w tabl. IV.

**TABLICA IV. Rodzaj materiału oraz wymiary gabarytowe półfabrykatów**

Część	Materiał	Wymiary, mm
Głowica	C45	160 × 160 × 35
Korpus	C45	200 × 160 × 100
Cylinder	St52.3	$\varnothing 120 \times H 8 \times 1400$
Tuleja stożkowa	C45	$\varnothing 150 \times 80$
Tłok	C45	$\varnothing 130 \times 85$
Rura	C45	$\varnothing 60 \times 500$
Dysza	C45	$\varnothing 150 \times 80$

### Obrobka elementów urządzenia stabilizującego ciśnienie

Na rys. 4 zaprezentowano wybrane elementy składowe urządzenia do stabilizacji ciśnienia.



Rys. 4. Części urządzenia do stabilizacji ciśnienia

### Podsumowanie

Przeprowadzone prace projektowe oraz montażowe, mające na celu opracowanie i zbudowanie urządzenia stabilizującego ciśnienie robocze zaczynu cementowego,



Rys. 5. Widok modelu 3D i gotowego urządzenia do stabilizacji ciśnienia

który jest wykorzystywany w technologii DSM, wskazują, że założenia konstrukcyjne zostały spełnione.

Na rys. 5 porównano model 3D ze zbudowanym urządzeniem do stabilizacji ciśnienia.

Udało się opracować urządzenie, które ma możliwość samooczyszczania podczas ciągłej pracy. Wstępne badania wykazały, że zastosowana dysza z otworami rozmieszczonymi promieniowo na tworzącej stożka ukierunkowuje strugę cieczy zgodnie z założeniami, powodując opłukiwanie oraz oczyszczanie wewnętrznych ścianek cylindra. Rozwiązanie stało się przedmiotem zgłoszenia patentowego pt. „Tłumik pulsacji ciśnienia” [8].

**Budowa urządzenia stabilizującego ciśnienie została zrealizowana w ramach projektu pod nazwą „Nowoczesne i innowacyjne technologie iniekcji gruntów”, dofinansowanego z funduszy europejskich. Projekt jest realizowany przez firmę Ekokanwod Czystości i Półtrak sp.j.**

### LITERATURA

- <http://www.toutpourleforage.com/deep-soil-mixing-definition-usages/>.
- Zaika Y., Rachmansyah A. “The estimation of bearing capacity and swell potential of deep soil mixing on expansive soil by small scale model test”. *International Journal of GEOMATE*. 13, 38 (2017): s. 09–15. Geotec., Const. Mat. & Env., ISSN:2186-2990, Japan, DOI: <http://dx.doi.org/10.21660/2017.38.6527>.
- Pittaro G.A. “Use of pressure relief wells to optimize ground improvement layer thickness in deep excavations”. *Geotechnical Engineering*. 48, 2 (2017): s. 80–85.
- Instrukcja obsługi: „Agregat iniekcyjny elektryczny AIE-400” 2017.
- <https://www.hydac.com/pl-pl/serwis/download/oprogramowanie/software-download/speicherteknik.html>.
- <https://www.hk-hydraulik.com/pl/kalkulator-hydrauliczny>.
- Kudźma Z. „Tłumienie pulsacji ciśnienia i hałasu w układach hydraulicznych w stanach przejściowych i ustalonych”. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2012.
- Nowakowski Ł., Depczyński W. „Tłumik pulsacji ciśnienia”. Zgłoszenie patentowe P. 424788, 2018. ■