

prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński*
dr inż. Marek Maj*

Metody pomiarowe stosowane w określeniu naporu i temperatury w silosie na materiały sypkie

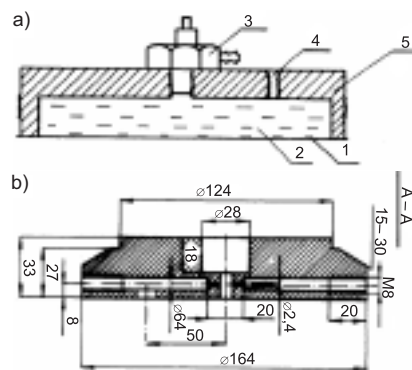
The methods of measuring pressure and temperature in materials stored in silos

Od prawie 50 lat w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej działa Zespół Badawczy zajmujący się problematyką związaną z silosami. Zainteresowania członków Zespołu koncentrowały się m.in. na doświadczalnym wyznaczeniu obciążeń stałych i zmiennych oddziałujących na ściany, dno i konstrukcje. W szczególności badano kinematykę przepływu materiału sypkiego przez silos, wyznaczano napór poziomy i pionowy powłoki silosów, pole temperatury składowanych materiałów. Badania były prowadzone na silosach w skali technicznej, półtechnicznej i modelowej. Badania te rozwijali A. Mitzel, A. Borcz, M. Kamiński, S. Kobiela, A. Zubrzycki, J. Kmiła, J. Suleja, R. Banach, J. Kozłowski, S. Jasman, A. Dziendziel, M. Maj, Z. Marcinkowski, A. Trochanowski, R. Antonowicz i wielu innych badaczy, a w szczególności liczne grono doktorantów [1, 2, 3, 5, 9, 10, 12, 14, 16]. Określano wiele cech związanych z parametrami wytrzymałości ścian silosów [6, 12]. Badano wpływ sztywności ścian silosów, zmianę kąta dna stożkowego, sezonowych zmian termicznych, wspomaganie wypływu przez napowietrzanie oraz stosowanie urządzeń odciążających do zmniejszenia wartości naporu oraz wpływu dynamiki przepływającego przez silos materiału sypkiego na zmianę wartości naporu i na zachowanie się konstrukcji silosu. Opracowano teorię drgań samowzbudnych spowodowanych poruszającym się materiałem, mierzono wartości parametrów dynamicznych konstrukcji silosów. Równoległe z badaniami naporu i temperatury przeprowadza-

no numeryczne symulacje przepływu, naprężeń w składowanym materiale, sił wewnętrznych konstrukcji silosu, analizę statystyczną niezawodności ścian silosu. Wyniki pomiarów i obliczeń pozwoliły na stworzenie bazy zmierzonych naporu i temperatury, wykorzystanych w współtworzeniu licznych normatywów dotyczących badanych zagadnień oraz zagadnień bezpiecznego użytkowania silosów [2, 4, 7, 8, 14]. Zespół zorganizował wiele krajowych i zagranicznych konferencji [15].

Pomiar naporu i temperatury w silosach

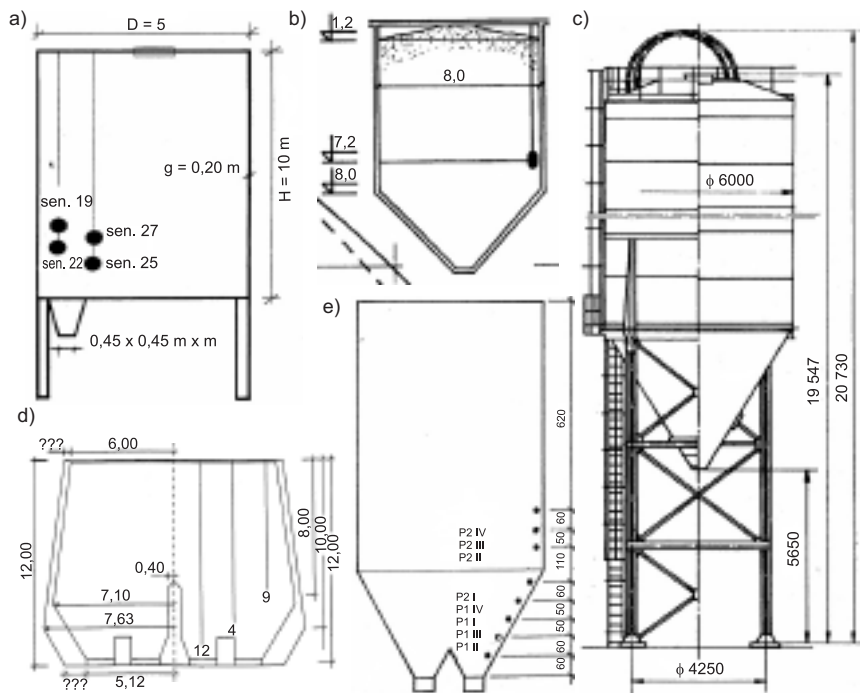
Do pomiaru naporu materiału sypkiego na ściany i dno silosu generalnie stosuje się dwie metody: pośrednią i bezpośrednią. Metoda pośrednia dotyczy pomiaru odkształceń konstrukcji silosu, np. odkształcenia prętów zbrojeniowych, odkształcenia zewnętrznej powierzchni ściany silosu. W tym przypadku pomiary prowadzone są z wykorzystaniem techniki tensometrycznej. Pomiar taki jest jednak zniekształcony przez wpływ termiczne, jakość współpracy betonu i stali zbrojeniowej, wytłumienie lokalnych efektów dynamicznych mierzonych wielkości. Metody bezpośredniego pomiaru naporu zostały opisane w [12, 16]. Zespół stworzył czujniki olejowe, powietrzne, magnetosprężyste (rysunek 1a, b), tensometryczne, piezoelektryczne. Główna powierzchnia czujników bezpośrednio styka się z materiałem sypkim, a odkształcenia powierzchni rejestrowane są przez elektroniczne urządzenia przetwarzające, np. zmianę ciśnienia powietrza lub oleju albo zmiany napięcia prądu lub oporności uzwojeń, tensometrów. W badaniach użyto czujni-



Rys. 1. Czujniki do pomiaru naporu w ścianie silosu: a – czujnik olejowy; 1 – membrana; 2 – olej; 3 – przetwornik ciśnienia; 4 – otwór uzupełnienia oleju; 5 – obudowa; b – czujnik magnetosprężysty umieszczony w ścianie silosu, pomiędzy stalowymi membranami napięty uzwojony rdzeń

ków stacjonarnych umieszczonych w ścianach lub dnie w specjalnie przygotowanych gniazdach. Czujniki te mają średnicę 10 ÷ 30 cm i ich pomiary traktowane są jako punktowe. Zastosowano także czujniki – sondy umieszczone wewnątrz materiału sypkiego. Czujniki te, w postaci dysku zawieszzone na stalowej linie używane do pomiaru naporu wewnątrz składowanego materiału w silosach w skali naturalnej, mają średnicę 30 cm i grubość 1,5 cm. Czujników tych użyto w pomiarach naporu wielu materiałów sypkich (rysunek 2). Wykonano wiele badań silosów w skali technicznej oraz modeli. Za pomocą czujników stacjonarnych oraz czujników – sond przeprowadzono badania naporu popiołu lotnego cementu i mączki surowcowej w silosach w Cementowni Górażdże [2, 14]. Sondy zastosowano też przy pomiarze naporu pszenicy w silosach w Wilkowie Namysłowskim [14], naporu rzepaku w silosach żelbetonowych, stalowych i cera-

* Politechnika Wroclawska

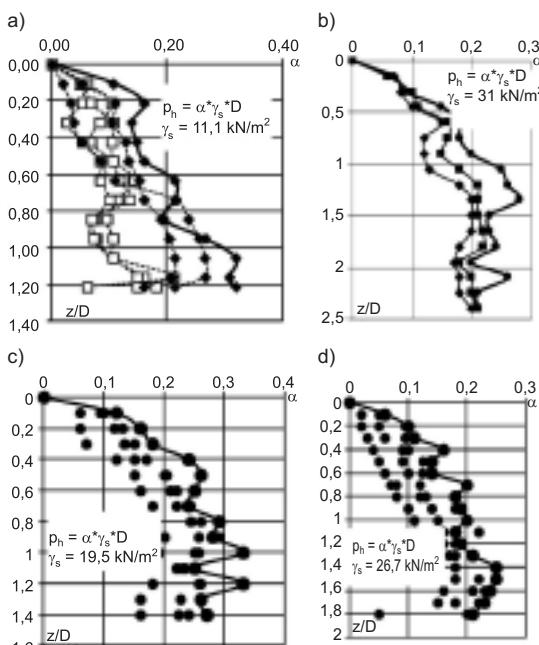


Rys. 2. Silosy z umieszczonymi wewnątrz czujnikami – sondami na: a) piasek; b) gips; c) cement; d) koncentrat miedzi; e) węgiel

micznych we Wrocławiu, Kruszwicy i Brzegu [3, 7, 9, 12, 14] oraz piasku, gipsu, węgla i koncentratu miedzi [14]. Wpływy różnych parametrów na zmiany naporu badano na modelach silosów na cukier, rzepak, piasek. Zmianie podlegała sztywność, kąt nachylenia ścian i dna, szybkość napełniania i opróżniania silosów itp. [10]. Do ba-

dań modelowych silosów wykonano czujniki do pomiaru naporów stycznych i normalnych oraz sondy mające średnicę 5 cm i grubość 0,5 cm. Czujniki te zostały użyte do pomiaru naporu w modelach o zmiennej sztywności ścian i zmiennym kącie nachylenia dna oraz zmiennej średnicy otworu wysypowego. Jednocześnie wraz z pomiarem naporu rejestrowano wartości

temperatury. W każdym z prezentowanych czujników wewnątrz umieszczono zwykle czujniki temperatury lub termoparę. Wyniki badań naporu P_h zaprezentowano za pomocą bezwymiarowego współczynnika α [2], $P_h = \alpha \cdot \gamma_s \cdot D$, gdzie D – średnica silosu, przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przykładowe wyniki badań doświadczalnych naporu poziomego na silosach na: a) rzepak; b) cement; c) popiół lotny; d) piasek

Abstract

There is presented methods of measuring pressure and temperature of bulk materials against silo wall in this paper. This is results of work of silo team research in Institute of Building Engineering in Technical University of Technology in Wrocław. Historical and modern solutions of gauges constructions and some examples of application are presented.

Literatura

- [1] Borcz A., Silosy w przemyśle materiałów wiążących, Skrypt, Wrocław 1987.
- [2] Borcz A., Maj M., Trochanowski A., Guiding principles of silo designing, construction and operating, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, 1991.
- [3] Borcz A., El Rahim H. A., Poland A New Method To Measure Pressure And Temperature In Silos, Bulk Solids & Processing Volume 1, Number 4, November 1989.
- [4] Dyduch K., Kamiński M., Mrozowicz J., Wzmocnienie silosów żelbetonowych poprzez sprężenie ciągniami zewnętrznymi, niskotarciovymi. XVIII Konf. Nauk.-Techn. „Awary budowlane”. Szczecin-Międzyzdroje 1997.
- [5] Kamiński M., Badania naporu bezkohezyjnych mat. sypkich w silosach, Wrocław 1986.
- [6] Kamiński M., Maj M., Reliability Analysis Of The Global Safety Index Design For Concrete Silo., The Third Israeli Conference For Conveying And Handling Of Particulate Solids, Dead Sea, Israel, May 2000.
- [7] Kamiński M., Mrozowicz J., Maj M., Podolski B., Wróblewski R., Gawron K.: Stan awaryjny baterii zablokowanych silosów na nasionach oleiste. XIX Konf. Nauk.-Techn. „Awary budowlane”. Szczecin-Międzyzdroje 1999, s. 821 – 828.
- [8] Kamiński M., Maj M., Reliability analysis of the global safety index design for concrete silo., The Third Israeli Conf. for Conveying and Handling of Particulate Solids, Israel, 2000.
- [9] Kamiński M., Antonowicz R., Badania przepływu materiału sypkiego w silosach wyposażonych w rurowe urządzenia odciążające, Konferencja, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Szklarska Poręba 2007.
- [10] Kamiński M., Maj M., Experimental and design loads of pressure of bulk materials... Bulk Europe 2006.
- [11] Maj M., The Statistical Estimation Of Loads Coincidence Factor For Silo For Hot Materials, Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, Budapeszt 2003.
- [12] Maj M., Wyznaczanie doświadczalne wielkości naporu materiałów sypkich i pola temperatury na wybranych silosach, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1995.
- [13] PN-B-03262/2002, Silo Polish Standard, Silosy żelbetonowe na materiały sypkie. Obliczenia statyczne i projektowanie, wykonawstwo.
- [14] 4 X Intern. Conf. „Reinforced and post-tensioned concrete silos. „, Kraków, 1995 Poland.
- [15] XII i XIII Konf. Silosowa. Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Szklarska Poręba 2007, Karpacz 2012.
- [16] Kobiela S.: Przyrządy i metodyka pomiaru parcia materiałów rozdrobnionych w zbiornikach. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, 58, 1990.