

Nowa metoda wizualizacji zmian objętościowych podczas przepływu silosowego na podstawie pomiarów z zastosowaniem promieniowania rentgenowskiego. Część II

Dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Budownictwa i Inżynierii Materiałowej, Politechnika Gdańska

Proces opróżniania silosów charakteryzuje się utrudnieniami i uciążliwościami eksploatacyjnymi, zróżnicowanymi ze względu na konstrukcje silosu, rodzaj składowanego materiału sypkiego oraz sposób opróżniania. W celu rozpoznania mechanizmu płynięcia oraz wpływu parametrów zewnętrznych na zachowanie się materiału sypkiego konieczne jest monitorowanie przepływu za pomocą metod nie wprowadzających zaburzenia w strukturę materiału sypkiego. Do metod takich należy metoda promieniowania rentgenowskiego. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów wypływu piasku bezkohezyjnego z modelu silosu z przepływem kominowym. Niniejszy artykuł (część II) obejmujący wyniki doświadczeń stanowi kontynuację wcześniejszego artykułu (część I), w którym omówiono podstawy teoretyczne pomiarów z zastosowaniem tomografii rentgenowskiej.

Ze względu na fakt, iż niniejszy artykuł stanowi pod względem merytorycznym kontynuację zagadnień przedstawionych w artykule wcześniejszym w pracy zachowano ciągłą numerację poszczególnych rozdziałów, jak również ciągłą numerację rysunków i wykresów. Numeracja pozycji bibliograficznych jest odmienna niż w przypadku części I artykułu.

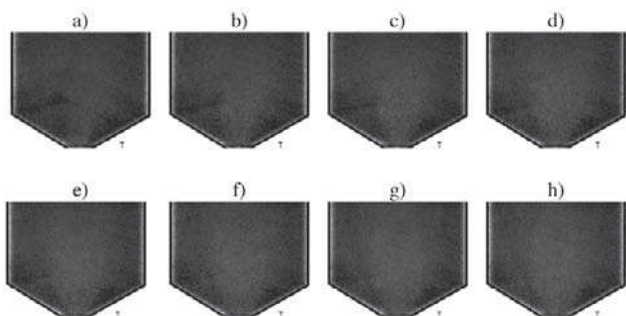
5. Wyniki doświadczeń

Uzyskane w czasie badań wyniki przedstawiono w postaci: a) klasycznych radiografów, w których zmianę koncentracji materiału sypkiego przedstawiono jakościowo w odcieniach szarości: „kolor ciemniejszy” – wzrost koncentracji: *kontraktancja*, „kolor jaśniejszy” – zmniejszenie koncentracji: *dylatancja*, b) wykresów 1D odpowiadających zmianom koncentracji materiału sypkiego w wybranych chwilach opróżniania

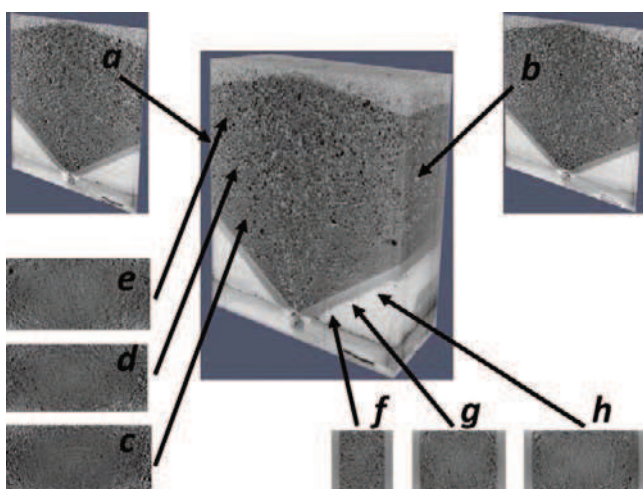
silosu będących ilościowym opisem radiografów zarejestrowanych w systemie projekcji ciągłej: wartość „>1,0” – wzrost koncentracji: *kontraktancja*, wartość „<1.0” – zmniejszenie koncentracji: *dylatancja*, c) zdjęć (map) 2D odpowiadających zmianom koncentracji materiału sypkiego w czasie całego procesu opróżniania silosu będących ilościowym opisem radiografów rejestrowanych w systemie projekcji ciągłej: wartość „>1,0, kolory w kierunku barwy czerwonej” – wzrost koncentracji: *kontraktancja*, wartość „<1.0, kolory w kierunku barwy niebieskiej” – zmniejszenie koncentracji: *dylatancja* [4–7, 14]. Na zdjęciach strzałką oznaczono początek opróżniania silosu. Podczas doboru parametrów aparatu rentgenowskiego uwzględniono zalecenia oraz wyniki doświadczeń opisanych w [8, 10, 11, 15–17]. Zarówno w przypadku wykresów 1D, jak również zdjęć 2D wprowadzona skala liczbowa oraz odpowiadająca jej paleta barw były jednakowe we wszystkich przeprowadzonych badaniach [3].

Przed rozpoczęciem doświadczeń z opróżnianiem silosu zrekonstruowano w postaci obrazu 3D strukturę wewnętrzną piasku. Zastosowanie tomografii rentgenowskiej wymagało rotacji układu nadajnik-odbiornik (silos obracał się wokół osi symetrii) [9, 18–20]. Czas potrzebny na wykonanie pomiarów umożliwiających późniejszą rekonstrukcję struktury materiału sypkiego wynosił $t \approx 720$ s.

W czasie wypływu piasku luźnego z silosu ze ścianami gładkimi na radiografach zaobserwowano powstawanie kanału przepływu bezpośrednio od chwili rozpoczęcia opróżniania silosu (rys. 7). Szerokość kanału była zmienna w czasie przepływu, bardzo szybko się powiększała i wynosiła od 70 mm ($88 \times d_{50}$) (faza wstępna przepływu)



Rys. 7. Radiografy przepływu kominowego piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w stanie luźnym w modelu silosu ze ścianami gładkimi: a) 1 s, b) 2 s, c) 6 s, d) 8 s, e) 10 s, f) 12 s, g) 14 s, h) 16 s (wypływ grawitacyjny)

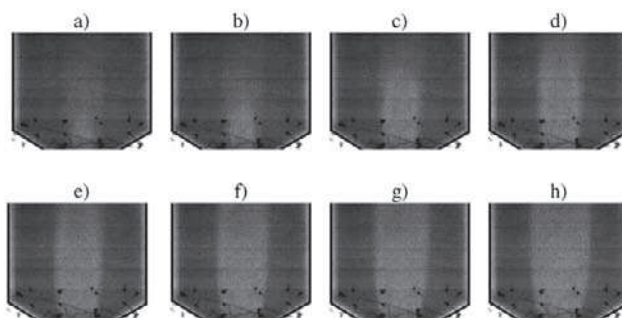


Rys. 8. Rekonstrukcja 3D przepływu kominowego piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w stanie luźnym w modelu silosu ze ścianami gładkimi w 8 s opróżniania-przekroje pionowe: a) przyścienny, b) w środku grubości modelu, przekroje poziome: c) $h/h_b=0,25$, d) $h/h_b=0,50$, e) $h/h_b=0,75$, (h_b -wysokość powyżej przejścia leja w część równoległą silosu), f) $h/h_n=0,25$, g) $h/h_n=0,50$, h) $h/h_n=0,75$ (h_n -wysokość powyżej otworu wylotowego)

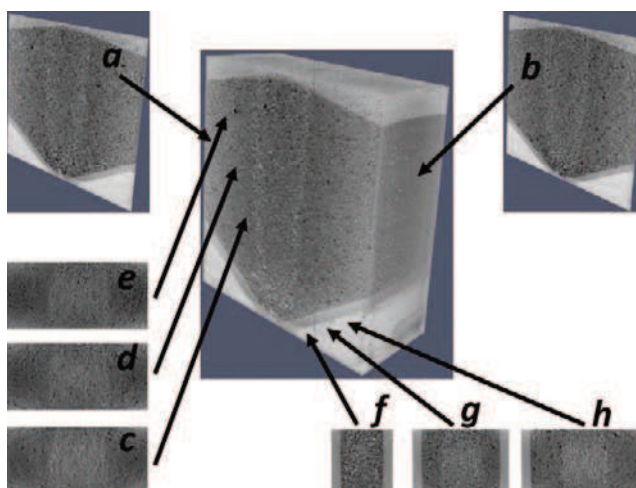
do 110 mm ($138 \times d_{50}$) (przepływ zaawansowany). W końcowej fazie opróżniania kąt pochylenia do poziomu kanału przepływu wynosił $\approx 60^\circ$. Podczas opróżniania silosu wzdłuż ścian części równoległej nie stwierdzono występowania lokalizacji odkształceń w postaci stref ścinania. W wytworzonym kanale przepływu nie zaobserwowano występowania lokalizacji odkształceń w postaci parabolicznych łuków rozchodzących się wewnątrz kanału przepływu ku górze i odbijających się od nieruchomych stref martwych. Na podstawie wykonanej rekonstrukcji 3D stwierdzono, że różnice w koncentracji pomiędzy kanałem przepływu a nieprzemieszczającym się materiałem w strefie przyściennej są w praktyce jednakowe na całej grubości modelu. Nie stwierdzono zróżnicowania w rozkładzie koncentracji pomiędzy przekrojem przyściennym a przekrojem w środku grubości silosu (rys. 8). Jednocześnie zaobserwowano, że znaczący wzrost szerokości kanału przepływu występuje

od 0,25 wysokości leja. Na podstawie wykresów 1D stwierdzono, że w początkowej fazie opróżniania silosu (8 s) na wysokości $h/h_b=0,25$ w kanale przepływu dylatacja osiągnęła $\approx 10\%$ wartości koncentracji w stanie początkowym (rys. 11A). Przy użyciu zdjęć 2D uzyskano obraz zachowania się piasku luźnego odpowiadający przedstawionemu na wykresach 1D (rys. 12A). Pomierzone wartości zmian koncentracji były zbliżone do wyznaczonych za pomocą wykresów 1D.

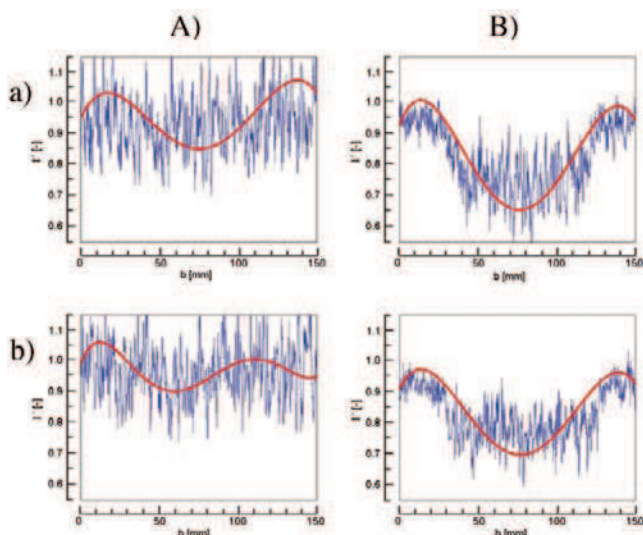
Podczas wypływu piasku zagęszczonego z silosu ze ścianami gładkimi na radiografach zaobserwowano powstawanie kanału przepływu bezpośrednio od chwili rozpoczęcia opróżniania silosu, podobnie jak w doświadczeniach z piaskiem luźnym (rys. 9). Szerokość kanału była zdecydowanie mniejsza, jednak sukcesywnie się poszerzała w czasie i wynosiła od 45 mm ($57 \times d_{50}$) do 100 mm ($125 \times d_{50}$).



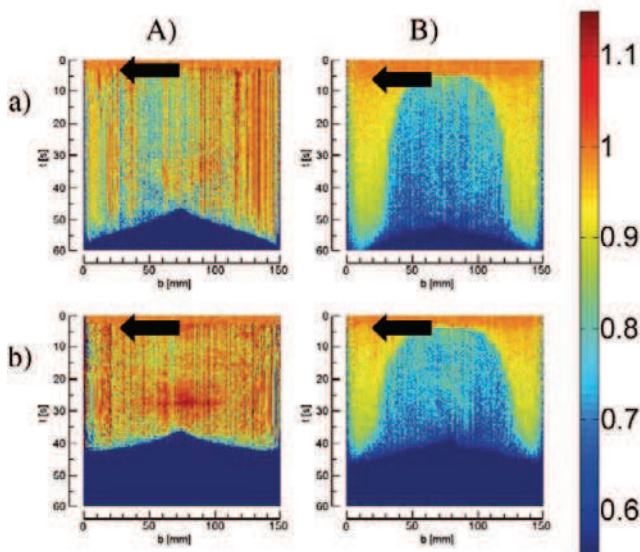
Rys. 9. Radiografy przepływu kominowego piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w stanie zagęszczonego w modelu silosu ze ścianami gładkimi: a) 1 s, b) 2 s, c) 6 s, d) 8 s, e) 10 s, f) 12 s, g) 14 s, h) 16 s (wypływ grawitacyjny)



Rys. 10. Rekonstrukcja 3D przepływu kominowego piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w stanie zagęszczonego w modelu silosu ze ścianami gładkimi w 8 s opróżniania-przekroje pionowe: a) przyścienny, b) w środku grubości modelu, przekroje poziome: c) $h/h_b=0,25$, d) $h/h_b=0,50$, e) $h/h_b=0,75$, (h_b -wysokość powyżej przejścia leja w część równoległą silosu), f) $h/h_n=0,25$, g) $h/h_n=0,50$, h) $h/h_n=0,75$ (h_n -wysokość powyżej otworu wylotowego)



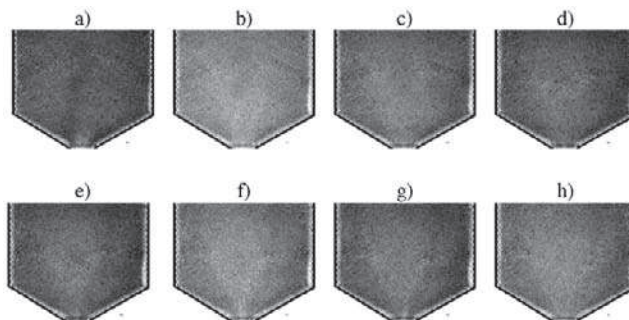
Rys. 11. Wykresy 1D (na podstawie radiografów) zmian koncentracji piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w 8 s opróżniania w modelu silosu z przepływem kominowym i ścianami gładkimi, A) piasek luźny, B) piasek zagęszczony: a) $h/h_b=0,25$, b) $h/h_b=0,50$ (h_b -wysokość powyżej przejścia leja w część równoległą silosu) (>1,0-wzrost koncentracji: kontraktancja, <1,0-zmniejszenie koncentracji: dylatacja)



Rys. 12. Mapy 2D (na podstawie radiografów) zmian koncentracji piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w modelu silosu z przepływem kominowym i ścianami gładkimi, A) piasek luźny, B) piasek zagęszczony: a) $h/h_b=0,25$, b) $h/h_b=0,50$ (h_b -wysokość powyżej przejścia leja w część równoległą silosu) (>1,0-wzrost koncentracji: kontraktancja, <1,0-zmniejszenie koncentracji: dylatacja, → początek opróżniania silosu)

W końcowej fazie opróżniania kąt pochylenia do poziomu kanału przepływu wynosił $\approx 85^\circ$. Wzrost zagęszczenia materiału sypkiego nie spowodował powstania lokalizacji odkształceń w strefach przyściennych, które pozostały nieruchome. Na podstawie wykonanej rekonstrukcji 3D stwierdzono, że wzrost koncentracji

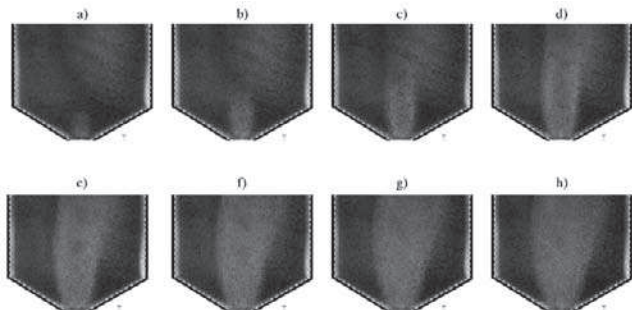
materiału sypkiego w stanie początkowym skutkuje zmniejszeniem szerokości kanału przepływu (rys. 10). Wykazano, że różnice w koncentracji pomiędzy kanałem przepływu a nieprzemieszczającym się materiałem w strefie przyściennej w praktyce są jednakowe na całej grubości modelu, podobnie jak w doświadczeniach z piaskiem w stanie luźnym. Szerokość kanału przepływu w poszczególnych chwilach czasowych opróżniania silosu była w praktyce jednakowa na całej wysokości modelu. Na podstawie wykresów 1D stwierdzono, że w początkowej fazie opróżniania silosu (8 s) na wysokości $h/h_b=0,25$ w kanale przepływu dylatacja osiągnęła $\approx 32\%$ wartości koncentracji w stanie początkowym (rys. 11B). Na podstawie zdjęć 2D uzyskano (podobnie jak w doświadczeniach z piaskiem luźnym) obraz zachowania się piasku zagęszczonego odpowiadający przedstawionemu za pomocą wykresów 1D (rys. 12B). Pomierzone wartości zmian koncentracji odpowiadały wyznaczonym na wykresach 1D.



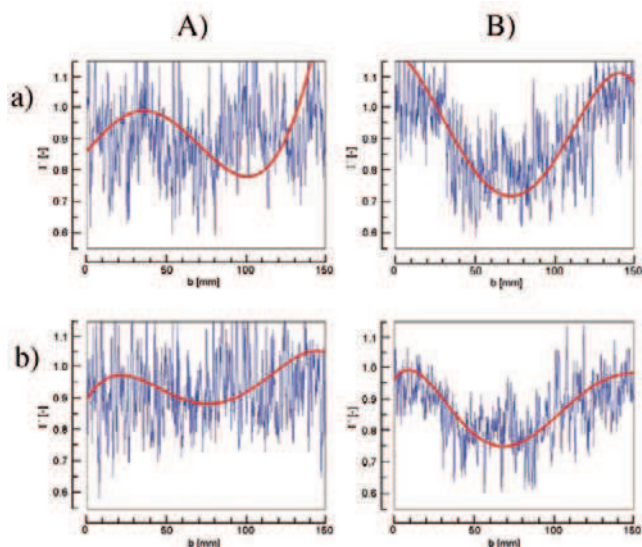
Rys. 13. Radiografy przepływu kominowego piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w stanie luźnym w modelu silosu ze ścianami bardzo szorstkimi: a) 1 s, b) 2 s, c) 6 s, d) 8 s, e) 10 s, f) 12 s, g) 14 s, h) 16 s (wyptyw grawitacyjny)

W czasie wyptywu piasku luźnego z silosu ze ścianami bardzo szorstkimi na radiografach zaobserwowano powstawanie kanału przepływu po rozpoczęciu opróżniania silosu (rys. 13). Szerokość kanału była zmienna w czasie przepływu, poszerzała się wolniej niż w doświadczeniach ze ścianami gładkimi i wynosiła od 65 mm ($81 \times d_{50}$) do 105 mm ($132 \times d_{50}$). Wprowadzenie ścian bardzo szorstkich spowodowało nieznaczne podwyższenie kąta pochylenia do poziomu kanału przepływu, który wynosił $\approx 65^\circ$. Podobnie jak w doświadczeniach ze ścianami gładkimi wzdłuż ścian części równoległej nie stwierdzono występowania lokalizacji odkształceń w postaci stref ścinania – ze względu na obecność stref martwych materiał nie przemieszczał się bezpośrednio przy ścianach. Na podstawie rekonstrukcji 3D stwierdzono różnice koncentracji pomiędzy dylatacją w części środkowej silosu a kontraktacją w strefie przyściennej, podobnie jak w doświadczeniach ze ścianami gładkimi. Na podstawie wykresów 1D wykazano, że w początkowej fazie opróżniania silosu (8 s) na wysokości $h/h_b=0,25$ w kanale przepływu dylatacja osiągnęła $\approx 12\%$ wartości koncentracji w stanie początkowym (rys.

15A). Stosując wizualizację w postaci zdjęć 2D, uzyskano obraz zachowania się piasku luźnego odpowiadający przedstawionemu na wykresach 1D (rys. 16A), a pomierzone wartości zmian koncentracji odpowiadały wyznaczonym za pomocą wykresów 1D.



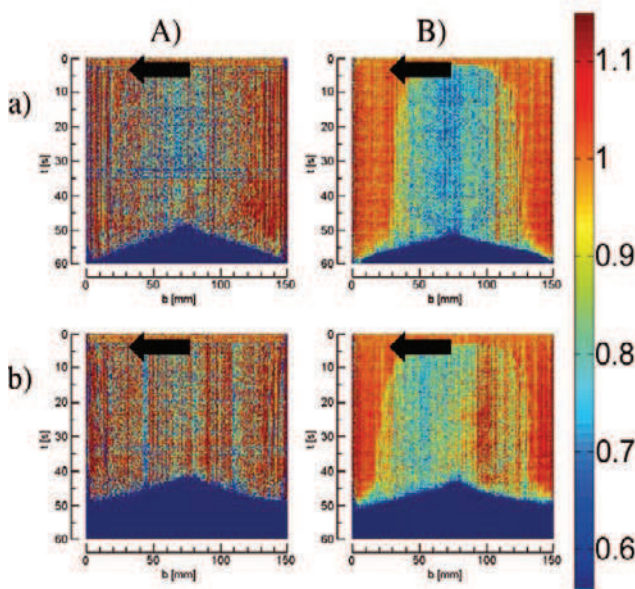
Rys. 14. Radiografy przepływu kominowego piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w stanie zagęszczonym w modelu silosu ze ścianami bardzo szorstkimi: a) 1 s, b) 2 s, c) 6 s, d) 8 s, e) 10 s, f) 12 s, g) 14 s, h) 16 s (wyptyw grawitacyjny)



Rys. 15. Wykresy 1D (na podstawie radiografów) zmian koncentracji piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w 8 s opróżniania w modelu silosu z przepływem kominowym i ścianami bardzo szorstkimi, A) piasek luźny, B) piasek zagęszczony: a) $h/h_b=0,25$, b) $h/h_b=0,50$ (h_b -wysokość powyżej przejścia lejki w część równoległą silosu) ($>1,0$ -wzrost koncentracji: kontrakcja, $<1,0$ -zmniejszenie koncentracji: dylatacja)

W czasie wyptywu piasku zagęszczonego z silosu ze ścianami bardzo szorstkimi na radiografach zaobserwowano powstawanie kanału przepływu bezpośrednio od chwili rozpoczęcia opróżniania silosu, podobnie jak w doświadczeniach z piaskiem zagęszczonym i ścianami gładkimi (rys. 14). Szerokość kanału była nieznacznie węższa niż w doświadczeniach ze ścianami gładkimi i wynosiła od 40 mm ($50 \times d_{50}$) do 90 mm ($113 \times d_{50}$). W końcowej fazie opróżniania kąt pochylenia do poziomu kanału przepływu wynosił $\approx 85^\circ$. Wzrost

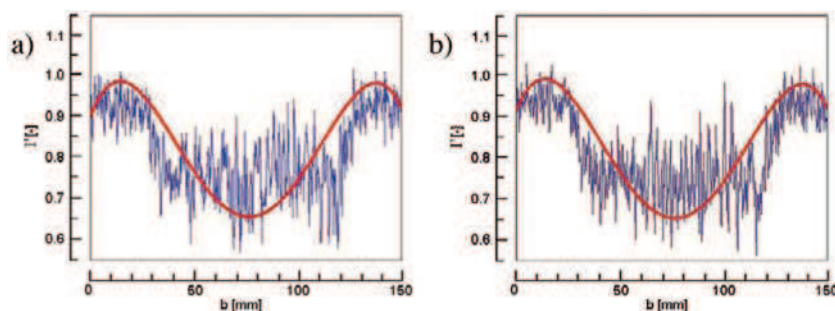
zagęszczenia materiału sypkiego spowodował zwiększenie asymetrii przepływu. Wykonana rekonstrukcja 3D potwierdziła, że wzrost koncentracji materiału sypkiego w stanie początkowym skutkuje zmniejszeniem szerokości kanału przepływu, niezależnie od szorstkości ścian. Na podstawie wykresów 1D stwierdzono, że w początkowej fazie opróżniania silosu (8 s) na wysokości $h/h_b=0,25$ w kanale przepływu dylatacja osiągnęła $\approx 28\%$ wartości koncentracji w stanie początkowym (rys. 13B). Na podstawie zdjęć 2D uzyskano obraz zachowania się piasku zagęszczonego odpowiadający przedstawionemu na wykresach 1D (rys. 14B). Pomierzone wartości zmian koncentracji odpowiadały wartościom wyznaczonym na wykresach 1D, podobnie jak w doświadczeniach z piaskiem luźnym i ścianami bardzo szorstkimi.



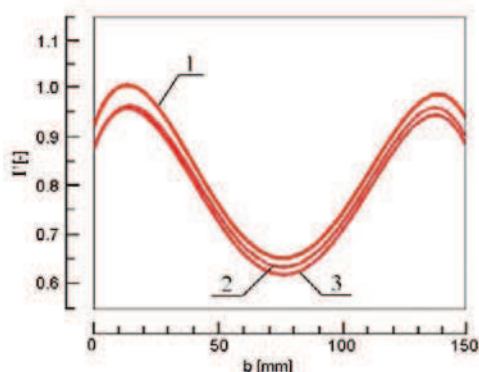
Rys. 16. Mapy 2D (na podstawie radiografów) zmian koncentracji piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w modelu silosu z przepływem kominowym i ścianami bardzo szorstkimi, A) piasek luźny, B) piasek zagęszczony: a) $h/h_b=0,25$, b) $h/h_b=0,50$ (h -wysokość powyżej przejścia lejki w część równoległą silosu) ($>1,0$ -wzrost koncentracji: kontrakcja, $<1,0$ -zmniejszenie koncentracji: dylatacja, \rightarrow początek opróżniania silosu)

6. Porównanie metod pomiarowych

W celu porównaniu zbieżności wyników uzyskiwanych z zastosowania klasycznych radiografów (rys. 11Ba) oraz obrazów zrekonstruowanych 3D wykonano porównanie zmian koncentracji materiału sypkiego na wysokości $h/h_b=0,25$. Porównania dokonano dla przypadku piasku zagęszczonego oraz ścian gładkich, a wyniki przedstawiono w postaci wykresów 1D. Uzyskane na podstawie obrazów zrekonstruowanych wykresy wykazywały tendencję do zmian koncentracji zbliżoną do otrzymanych z klasycznych radiografów [1–2, 12, 13]. Na podstawie obrazów zrekonstruowanych 3D w części przysicennej



Rys. 17. Wykresy 1D (na podstawie rekonstrukcji 3D) zmian koncentracji zagęszczonego piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w 8 s opróżniania w modelu silosu z przepływem kominowym i ścianami gładkimi na wysokości $h/h_0=0,25$ dla przekroju: a) przyściennego, b) w środku głębokości silosu (h_b -wysokość powyżej przejścia leja w część równoległą silosu) ($>1,0$ -wzrost koncentracji: kontraktancja, $<1,0$ -zmniejszenie koncentracji: dylatacja)



Rys. 18. Porównanie wykresów 1D zmian koncentracji zagęszczonego piasku średnioziarnistego ($d_{50}=0,8$ mm) w 8 s opróżniania w modelu silosu z przepływem kominowym i ścianami gładkimi na wysokości $h/h_0=0,25$: 1) na podstawie radiografów, na podstawie rekonstrukcji 3D dla przekroju: 2) przyściennego, 3) w środku głębokości silosu (h_b -wysokość powyżej przejścia leja w część równoległą silosu) ($>1,0$ -wzrost koncentracji: kontraktancja, $<1,0$ -zmniejszenie koncentracji: dylatacja)

(wzdłuż ściany wąskiej) wartość koncentracji była o $\approx 4\%$ mniejsza od wartości uzyskanej z radiografów klasycznych (jednowymiarowych). Sytuacja ta dotyczy zarówno przekroju przyściennego (rys. 10a oraz rys. 17a), jak i przekroju w środku grubości silosu (rys. 10b oraz rys. 17b). Bezpośrednią przyczyną różnic jest wpływ ściany modelu – w klasycznych radiografach uzyskany wynik jest zaburzony ze względu na uwzględnienie w analizie gęstości 2 równoległych ścian silosu, w rekonstrukcji 3D uwzględniana jest jedynie pojedyncza ściana.

W profilu w środku głębokości silosu zróżnicowanie pomiędzy wynikami uzyskanymi z różnych metod pomiarowych-radiografów klasycznych oraz rekonstrukcji 3D jest mniejsze. Bezpośrednią przyczyną tej sytuacji jest fakt, że wielkość dylatacji w kanale przepływu jest zdecydowanie większa niż wzrost koncentracji spowodowany uwzględnieniem obecności ścian modelu. Dla wyników uzyskanych z klasycznych radiografów w kanale przepływu w 8 s opróżniania wielkość dylatacji wyniosła $\approx 34\%$ wartości koncentracji w stanie początkowym, dla przekroju przyściennego 36% , natomiast dla przekroju w środku głębokości silosu 38% wartości

w stanie początkowym. Nieznaczna różnica pomiędzy profilem w środku głębokości a profilem przyściennym wynika z faktu, że mimo zastosowania otworu listwowego (na całej grubości silosu) przepływ w środku głębokości jest zazwyczaj szybszy niż przepływ po ścianach silosu (rys. 18).

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że dla zastosowanego modelu silosu wpływ grubości ścian jako elementów tłumiących promieniowanie rentgenowskie, a tym samym zmieniających obraz zmian koncentracji materiału sypkiego jest w praktyce nieistotny. Różnice dylatacji uzyskane dla przekroju przyściennego oraz profilu w środku szerokości silosu wynoszą do 4% wartości koncentracji w stanie spoczynku. Dla zastosowanego modelu wpływ grubości materiału sypkiego jest również nieistotny.

7. Podsumowanie

Promieniowanie rentgenowskie jest bezinwazyjną metodą pomiarową umożliwiającą zmianę struktury materiału sypkiego podczas opróżniania silosu. Rotacja próbki poddanej kontynuálnemu naświetlaniu promieniowaniem umożliwia rekonstrukcję obrazu w technice tomografii rentgenowskiej.

W doświadczeniach z silosem prostokątnym dla przepływu kominowym nie zidentyfikowano lokalizacji odkształceń wewnątrz kanału przepływu.

Wzrost koncentracji materiału sypkiego w stanie początkowym skutkował zmniejszeniem szerokości kanału przepływu.

W zastosowanym do badań modelu wpływ tłumienia ścian oraz wpływ grubości materiału sypkiego na wyznaczone zmiany koncentracji przy zastosowaniu techniki promieniowania rentgenowskiego był w praktyce pomijalny.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Barthel F., Franz R., Hampel U. (2013), Visualization of boiling processes in a 3×3 rod bundle using ultrafast X-ray tomography. Proceedings of the 7th World Congress on Industrial Process Tomography (WCIPT-7), Cracow, Poland, s. 847–854
- [2] Boden S., Hampel U. (2013), Synchrotron X-ray tomography of a Taylor bubble. Proceedings of the 7th World Congress on Industrial Process Tomography (WCIPT-7), Cracow, Poland, s. 1248–1256
- [3] Grudzień K. (2012), Radiography image processing for analysis of

gravitational funnel flow. Computer science in Novel applications, Lodz University of Technology, Łódź, s. 137–158

- [4] Grudzień K., Niedostatkiwicz M., Adrien J. i in. (2010a), Quantitative description of the bulk solid concentration changes based on X-ray continuous radiation. Proceedings of the 6th World Congress on Industrial Process Tomography (WC IPT-6), Beijing, China, s. 464–479
- [5] Grudzień K., Niedostatkiwicz M., Maire E. i in. (2010b), Measurement of solid concentration changes at funnel flow silo using X-ray tomography. Proceedings of the 6th World Congress on Industrial Process Tomography (WC IPT-6), Beijing, China, s. 1341–1352
- [6] Grudzień K., Niedostatkiwicz M., Adrien J. i in. (2011), Quantitative estimation of volume changes of granular materials during silo flow using X-ray tomography. Chemical Engineering and Processing, vol. 50, nr 1, s. 59–67
- [7] Grudzień K., Niedostatkiwicz M., Adrien J. i in. (2012), Analysis of the bulk solid flow during gravitational silo emptying using X-ray and ECT tomography. Powder Technology, nr 224, s. 196–208
- [8] Hammar L., Wirdelius H. (2007), Radiographic sensitivity improved by optimized high resolution X-ray detector design. DIR 2007-International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography, June 25–27, 2007, Lyon, France
- [9] Marashdeh Q., Warsito W., Fan L.S., Teixeira F. (2008): Dual imaging modality of granular flow based on ECT sensors. Granular Matter, nr 10, s. 75–80.
- [10] Michalowski R.L. (1984), Flow of granular material through a plane hopper. Powder Technology, nr 39, s. 29–40
- [11] Michalowski R.L. (1990), Strain localization and periodic fluctuations in granular flow processes from hoppers. Geotechnique vol. 40, nr 3, s. 389–403

- [12] Moreno-Atanasio R., Williams R.A., Jia X. (2010), Combining X-ray microtomography with computer simulation for analysis of granular and porous materials. Particuology, vol. 8, nr 2, s. 81–99
- [13] Nakashima Y., Watanabe T. (2002), Estimate of transport properties of porous media by microfocus X-ray computed tomography and random walk simulation. Water Resources Research, nr 38, s. 1272
- [14] Niedostatkiwicz M. (2014), Badania deformacji w materiałach sypkich podczas dynamicznego przepływu w silosach. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 145, 1-371
- [15] Pengpan T., Mitchell C.N., Soleimani M. (2010), Compensating for motion artefacts in X-ray CT using Electrical Impedance Tomography data. Proceedings of the 6th World Congress on Industrial Process Tomography (WC IPT-6), Beijing, China, s. 1132–1548
- [16] Rahmanian N., Ghadiri M., Jia X., Stepanek F. (2009), Characterisation of granule structure and strength made in a high shear granulator. Powder Technology, nr 192, s. 184–194
- [17] Richard P., Philippe P., Barbe F. i in. (2003): Analysis by X-ray microtomography of a granular packing undergoing compaction. Physical Review E, nr 68, 020301.
- [18] Roscoe K.H., Arthur J.R.F., James R.G. (1963): The determination of strains in soils by an X-ray method. Civ. Eng. Public Works Rev., nr 58, s. 873–876, 1009–1012.
- [19] Selomulya C., Jia X., Williams R.A. (2005), Direct prediction of structure and permeability of flocculated structures and sediments using 3D tomographic imaging. Chemical Engineering research and Design, nr 83, s. 844–852
- [20] Suzuki M., Tanaka Y., Kimura K., Satone H., Ishii K. (2013), Measuring of capping phenomena in powder compaction process using X-ray computed tomography. Proceedings of the 7th World Congress on Industrial Process Tomography (WC IPT-7), Cracow, Poland, s. 1167–1175



III Ogólnopolska Konferencja Prawnicza

PRAWO INWESTYCJI BUDOWLANYCH

Warszawa, 20 maja 2015 r.

■ **Przesłanki wydania decyzji ustalającej warunki zabudowy**

Prelegent **prof. dr hab. Zygmunt Niewiadomski**

Casusy przedstawią zaproszeni paneliści: sNSA Alicja Plucińska-Filipowicz, mec. Artur Kosicki, Wiesław Bielawski (z-ca prezydenta Gdańska), adw. Andrzej Zwara (NRA)

■ **Zagadnienia proceduralne związane z wydaniem decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu**

Prelegenci **s.WSA Mirosław Gdesz, dr Igor Zachariasz**

Casusy przedstawią zaproszeni paneliści: mec. Jakub Troszyński (GDDKiA), Jacek Szymankiewicz (z-ca prezydenta Gorzowa), mec. Marta Oryl, dr Dariusz Łaguna

■ **Kluczowe problemy w systemie zarządzania przestrzenią i perspektywy zmian ustawodawczych**

Prelegenci **r.pr. dr Anna Fogel, Bartłomiej Kolipiński**

Casusy przedstawią zaproszeni paneliści: dr Adam Kowalewski, Bartłomiej Kolipiński (Towarzystwa Urbanistów Polskich), dr Maciej Borsa (dyr. dolnośląskiego Biura Gosp. Przestrzennej), prof. Paweł Mickiewicz (GDDKiA)

Szczegóły i zapisy: www.businessoption.pl