

Silosy są konstrukcjami powszechnie używanymi w przemyśle budowlanym, chemicznym i rolniczym do przechowywania różnego rodzaju materiałów. Są one często wykonywane jako lekkie konstrukcje z blach fałdowych wzmocnionych wzdłuż obwodu cienkościnnymi słupami. Pomimo powszechności występowania tego typu konstrukcji, nadal istnieją zagadnienia, takie jak zjawisko ścięcia materiału sypkiego w pobliżu ścian silosu o fałdowym profilu, których analiza nie została w całości przeprowadzona. Profil blachy ma istotny wpływ, szczególnie podczas przepływu materiału, na efektywny kąt tarcia obu ośrodków, a co za tym idzie na obciążenia przekazywane na ściany silosu. Generalnie, można wyróżnić dwa sposoby oddziaływania materiału sypkiego na konstrukcje silosu. Pierwszy, gdy granulat, znajdujący się w środku silosu, oddziałuje na niego statycznie. W tej sytuacji, określenie sił działających na płaszczyznę jest możliwe na podstawie wzorów analitycznych znanych od dekad. W drugim przypadku, materiał przepływający przez silos powoduje dynamiczne i trudne do określenia oddziaływanie przekazywane na ścianę silosu. Wielkość obciążeń jest w znacznym stopniu zależna od skomplikowanych zjawisk zachodzących w strefie kontaktu (tzw. interfejsie materiał granulowany/powierzchnia fałdowa). Obowiązujące normy, w przypadku określania wielkości efektywnego współczynnika tarcia o ścianę silosu, proponują przeprowadzanie indywidualnej analizy zachowania się materiału sypkiego w obszarze sfałdowania lub zalecają uproszczone podejście zakładające przyjęcie stałego współczynnika dla wszystkich blach, niezależnie od ich geometrii.

Celem badań doświadczalno-numerycznych jest zrozumienie mechanizmu zachodzącego w strefie kontaktu między granulatem a ścianą fałdową podczas przepływów w silosach. Analiza zjawisk zachodzących na granicy obu ośrodków, a w szczególności fenomenu powstawania strefy ścięcia, umożliwi określenie zależności między efektywnym współczynnikiem tarcia o ścianę a geometrią profilu z którego wykonana jest ściana. W tym celu, zostaną wykonane badania laboratoryjne i analiza numeryczna przy użyciu nowoczesnych i zaawansowanych urządzeń oraz metod. W przypadku części doświadczalnej, stanowisko do badań przepływów silosowych w pomniejszonej skali będzie częściowo wykonane przy użyciu technologii druku 3D. Umożliwi ona wykonanie wymiennych ścian bocznych silosu o zróżnicowanym profilu geometrycznym powierzchni fałdowych (np. różnorodna wysokość profilu). Ponadto, w trakcie badań przepływów silosowych zostanie wykonana dokumentacja fotograficzna materiału sypkiego, która pozwoli na zastosowanie metody DIC (*digital image correlation* – DIC). Technika ta umożliwi analizę ruchu materiału sypkiego w obszarze sfałdowania na podstawie jego odkształceń. W celu określenia obciążeń przekazywanych przez granulat na ściany silosu zostaną użyte autorskie czujniki naporów umożliwiające pomiary naporów na kierunkach normalnym i stycznym do ściany. Niestety, nieciągła, niejednorodna i stale zmienna postać materiału sypkiego podczas przepływów silosowych uniemożliwia pomiar wielu parametrów badawczych. W związku z tym, zostanie przeprowadzona analiza numeryczna za pomocą stale rozwijanej, nowoczesnej metody elementów dyskretnych (*discrete element method* – DEM). DEM jest specjalistycznym narzędziem do analizy materiałów sypkich, umożliwiającym odtworzenie mikrostruktury granulatu z uwzględnieniem zachowanie pojedynczych ziaren. W modelu numerycznym zostaną zastosowane współczesne rozwiązania umożliwiające np. wykorzystanie w obliczeniach rzeczywistych kształtów ziaren materiału sypkiego na podstawie zdjęć mikroskopowych.

Projekt składa się z dwóch zasadniczych części: badań doświadczalnych i analizy numerycznej. Początkowym etapem będzie przeprowadzenie badań doświadczalnych przepływów silosowych z użyciem ścian o różnym stopniu sfałdowania (od profili gładkich do mocno pofałdowanych) wykonanych w technologii druku 3D. Na podstawie pomiarów naporów normalnych i stycznych przekazywanych na ścianę oraz analizy przemieszczeń i odkształceń materiału sypkiego metodą DIC będzie możliwe określenie zależności między geometrią sfałdowania ściany a efektywnym współczynnikiem tarcia o nią. Rezultaty doświadczalne posłużą również do walidacji modelu numerycznego DEM. Obliczenia numeryczne umożliwią kompleksową analizę zachowania się materiału sypkiego w pobliżu ściany silosu wraz z dokładnym określeniem lokalizacji strefy ścięcia. Na podstawie obliczeń numerycznych określone zostaną takie parametry materiału sypkiego jak przemieszczenia i obroty pojedynczych ziaren czy siły powstające między nimi. Rezultaty zostaną użyte do określenia lokalizacji i parametrów strefy ścięcia na granicy dwóch ośrodków.

Rezultaty proponowanego projektu będą istotne dla rozwiązań projektowych dotyczących konstrukcji silosowych powszechnie występujących w wielu gałęziach przemysłu. Na podstawie badań doświadczalnych i analizy numerycznej, zostanie zdefiniowany mechanizm zjawiska ścinania zachodzący między materiałem granulowanym a ścianami silosu. W wyniku naszych badań zostaną przedstawione wiarygodne zalecenia umożliwiające określenie wielkości obciążeń działających na ściany silosu z blach fałdowych w trakcie przepływów silosowych. Zaproponowane wytyczne pozytywnie wpłyną na poprawę bezpieczeństwa nowoprojektowanych konstrukcji.