

*Wiesława Banachewicz
Katedra Konstrukcji Budowlanych
Politechnika Lubelska*

LEKKI, STALOWY SILOS NA PRODUKTY ROLNE – KONCEPCJA KONSTRUKCJI I MONTAŻU

Streszczenie

Istotnym problemem przemysłu rolno-spożywczego jest przechowywanie niezbędnych do produkcji surowców i półfabrykatów. Zagadnienie to dotyczy zwłaszcza materiałów sypkich, wrażliwych na zanieczyszczenia środowiska oraz zmiany atmosferyczne. Tradycyjne formy składowania zastępuje się więc magazynowaniem w zbiornikach metalowych, w formie stalowych lub aluminiowych silosów. W różnych ośrodkach badawczych w kraju opracowano szereg rozwiązań, które ze względów konstrukcyjnych można podzielić na dwie grupy: silosy z lejem stożkowym na konstrukcji wsporczej oraz z dnem płaskim. Koncepcja konstrukcji cienkościennego stalowego silosu na zboże i inne produkty pochodzenia organicznego, opracowana w Politechnice Lubelskiej ma wiele zalet, jest łatwa w transporcie i montażu.

Słowa kluczowe: przechowywanie zbóż, silos stalowy, konstrukcja

Cel pracy

Celem pracy jest przedstawienie koncepcji lekkiego, stalowego silosu na produkty sypkie z przeznaczeniem do zastosowania w rolnictwie. Szczególną uwagę zwrócono na istotne walory proponowanego zbiornika a są to: odporność na obciążenia dynamiczne, prosty montaż konstrukcji, niekoniecznie w warunkach warsztatowych, możliwość demontażu całości bądź wybranych fragmentów zbiornika, łatwość transportu. Wymienione cechy powodują, że proponowana konstrukcja, będąc funkcjonalną i użyteczną, nie jest droga, a więc może być dostępna dla wielu producentów.

Przegląd stosowanych rozwiązań

Współczesne silosy stalowe często służą do przechowywania materiałów niezbędnych do produkcji rolno-spożywczej takich jak: zboża, nasiona, pasze sypkie, mąka czy cukier. Rozwiązania konstrukcyjne tego typu zbiorników są dosyć trudne do jednoznacznego scharakteryzowania, gdyż zazwyczaj są budowane z myślą o konkretnym przeznaczeniu i niejednokrotnie stanowią fragment ciągu produkcyjnego. Odmienny charakter ze względu na obciążenia i konstrukcję mają silosy przeznaczone do produkcji i przechowywania kiszonek. Najczęściej jednak stalowe silosy mają cylindryczne komory, wykonane z blach płaskich lub falistych, z górnym zasypem oraz opróżnianiem poprzez jej wysypowy. Wyjątek stanowią zbiorniki z dnem płaskim, w których odbiór składowanego materiału odbywa się przez urządzenia wspomagające. W grupie dużych zbiorników, będących aktualnie eksploatacji, należy wymienić dwa typy silosów: SZG 200 i SZG 400, zaprojektowane przez COBPKM Mostostal Warszawa.

Przeznaczone do składowania zboża, kukurydzy i nasion strączkowych, mają komory o konstrukcji szkieletowej, złożonej z podłużnic i wręg, pokrytych poszyciem z blachy ocynkowanej o grubości 0.8 mm. Cargi płaszczka łączone są za pomocą zaciskowych listew aluminiowych, natomiast w stykach pionowych występują śruby ocynkowane. Konstrukcję wsporczą stanowią słupy rurowe, usytuowane w linii podłużnic poszycia. Znaczną pojemność ma opracowany przez ZREMB Warszawa silos ZS 360, którego walcowa komora ma konstrukcję całkowicie spawaną, wykonaną z blach o zmiennej grubości, usztywnionej w dolnej części żebrami, stanowiącymi przedłużenie słupów wsporczych. Z myślą o indywidualnych odbiorcach przygotowano mniejsze zbiorniki tego typu: S 15 i S 30. Duże elewatory zbożowe, gromadzące często różne rodzaje zbóż w ilości sięgającej kilkudziesięciu tysięcy ton stanowią zazwyczaj baterię smukłych komór o znacznych pojemnościach (1200 - 1300 m³) każda. Silosy te mają konstrukcję złożoną z prefabrykatów, wykonanych z odpowiednio wyprofilowanej blachy i usztywnionych pionowymi żebrami oraz poziomymi wręgami z kształtowników walcowanych. Konstrukcja obramowania prefabrykatów umożliwia ich łatwe łączenie za pomocą śrub a także dogodnie oparcie poprzez skrzynkowy pierścień na słupach wsporczych. Koncepcja zbiorników, opracowana w Czechach, znalazła w Polsce dość szerokie zastosowanie. W grupie zbiorników z dnem płaskim o znacznej pojemności należy wymienić silos SMZ - 100, zaprojektowany przez Mostostal Warszawa z przeznaczeniem dla gospodarstw rolnych o znacznym areale. Wykonana z blachy falistej komora, usztywniona od wewnątrz podłużnicami, połączona jest w stykach pionowych i poziomych na śruby. Posadowienie na płycie fundamentowej wymaga zastosowania urządzeń wspomagających opróżnianie.

Pomniejszona wersja tego rozwiązania jest obecnie bardzo popularna w małych gospodarstwach pod nazwą silosu typu BIN. Produkowany w trzech typach o zróżnicowanej pojemności, służący do dosuszania i magazynowania zboża zbiornik zbudowany jest z arkuszy blachy ocynkowanej, łączonych na śruby.

Zagrożenia w trakcie eksploatacji silosów

Zagrożenia awaryjne cienkościennych silosów bywają spowodowane względami natury technicznej takimi jak nadmierna korozja, zmęczenie materiału, błędy projektowania lub wykonawstwa [Banachewicz W., Banachewicz K. 2003]. Jednak wieloletnie obserwacje poczynione przez użytkowników [Banachewicz, Nurek 1995] jak również analiza okoliczności awarii zbiorników pozwalają stwierdzić, że największym zagrożeniem dla cienkościennych silosów stalowych są czynniki związane z zachowaniem się przechowywanych produktów a mianowicie:

- przesklepianie się materiału,
- nawisy i tunele (tzw. kominy) w komorze,
- strefy stałego zalegania materiału (tzw. martwe strefy).

Przyczyny tych zjawisk są związane zarówno z naturalnymi cechami składowanego materiału (wilgotność, uziarnienie, zagęszczenie) jak również z okresem ich przechowywania. Pozostają także w zależności od geometrii komory (smukłość, kąt nachylenia leja, parametry otworu wysypowego) jak również zastosowanych urządzeń wspomagających opróżnianie. Spośród wymienionych czynników największe zagrożenie niesie gwałtowny wzrost obciążenia, spowodowany przesklepianiem się składowanego materiału. Dotyczy to zwłaszcza produktów o tendencjach do zestalania się takich jak: mąka, otręby, makuchy roślin oleistych. Powstałe przesklepienie, obrywając się, może wywołać obciążenie o charakterze dynamicznym, stanowiące zagrożenie dla cienkościennej komory, leja i konstrukcji wsporczej.

Generalnie jako przyczynę wspomnianego zjawiska uważa się wzrost wilgotności przechowywanego ziarna. Niejednokrotnie bywa spowodowany przewietrzaniem zawartości silosu powietrzem o wilgotności większej niż względna, odpowiadająca parametrom przechowywanego produktu. Czasami jest następstwem suszenia ziarna za pośrednictwem strumienia nagrzanego powietrza, gdy przemieszczająca się ku górze komory strefa podwyższonej wilgotności, susząc obszar w jej dolnej części, nawilża równocześnie warstwy położone powyżej. Wzrost wilgotności jest istotny nie tylko dla zachowania jakości przechowywanego zboża ale ma również bardzo duży wpływ na przebieg eksploatacji cienkościennych silosów stalowych. Prowadzi bowiem nie tylko do wspomnianych zaburzeń wypływu ziarna lecz także do wzrostu jego objętości, a tym samym przyrostu naporu na ściany zbiornika.

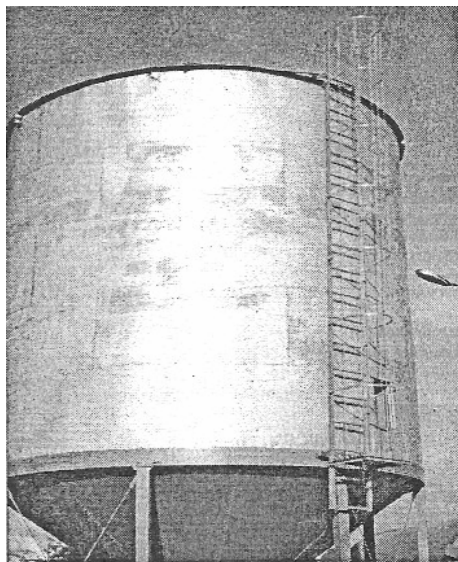
Nawilżone zboże zwiększa bowiem swoją objętość, powodując wzrost naporu na poszycie komory, kiedy równocześnie znajdujące się poniżej, zmniejsza swoją objętość (wskutek wysuszenia), powodując spadek naporu poziomego. Zjawisko to może spowodować w strefie nawilżonej przeniesienie całego ciężaru ziarna przez tarcie (tzw. napór styczny) przy równoczesnej redukcji naporu poziomego w dolnych partiach komory zbiornika. Opisany powyżej mechanizm [Horabik 2001] zmiany proporcji między naporami: stycznym i normalnym wywołuje bardzo niekorzystny dla cienkościennego stalowego poszycia stan naprężeń. Wzrost sumarycznego obciążenia pionowego cienkościennej komory w stanie po przesklepieniu w stosunku do sytuacji bezpośrednio po napełnieniu można wg [Hotała 2003] wyrazić współczynnikiem k . Zależnie od rodzaju składowanego materiału oraz smukłości komory, może on przekroczyć wartość 2.5, co przekłada się na prawie dwukrotny wzrost pionowych sił ściskających w stosunku do wartości występujących po napełnieniu. Taki przyrost naprężeń w poszyciu cienkościennej komory może mieć decydujący wpływ na jej nośność i powinien być bezwzględnie brany pod uwagę na etapie projektowania pomimo, że nie jest to uwzględnione w normie przedmiotowej [PN-B-03202]. Należy mieć również na uwadze fakt, że omówione powyżej zjawisko to tylko część problemu związanego z przesklepianiem się materiału kohezyjnego. Otóż podczas możliwego w trakcie eksploatacji tąpnięcia, w przestrzeni między dachem a wierzchnią warstwą materiału wytwarza się podciśnienie, które wzrasta wraz z wypełnieniem silosu oraz poziomem usytuowania przesklepienia. Czas występowania tego podciśnienia jest wprawdzie dość krótki, lecz może być przyczyną lokalnej utraty stateczności poszycia w górnej części komory a czasami także dachu zbiornika. Szerzej mechanizm tego zjawiska został przedstawiony w [Hotała 2003].

Innego rodzaju zagrożeniem dla cienkościennych, stalowych silosów są tzw. nawisy na ścianach komór, występujące dość często w zbiornikach z blachy falistej i będące efektem zlepiania się składowanego materiału na wewnętrznych powierzchniach. Kapilarne podciąganie rosy przez suchy materiał prowadzi do tworzenia się nawisów zwłaszcza w silosach smukłych. Jednostronne nawisy mogą się także pojawić w silosach z bocznym zasypem, gdy wydostające się ze znaczną prędkością z rury zasypowej cząsteczki materiału, uderzając w przeciwległą ścianę, przyklejają się do niej a także skleją wzajemnie.

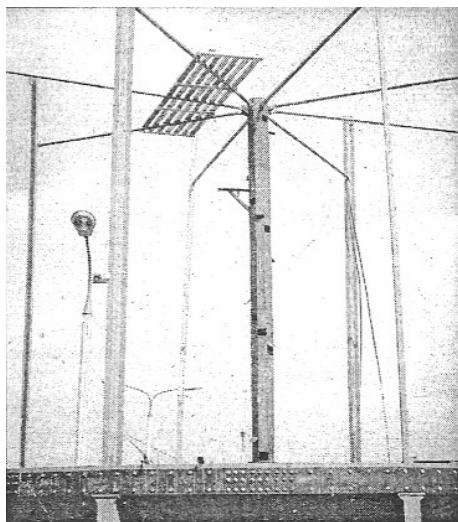
Zjawisko to powoduje trudną do opisanego a tym samym uwzględnienia w trakcie projektowania asymetrię obciążenia, stanowiącą pewne niebezpieczeństwo dla stateczności cienkościennego poszycia w opróżnionym zbiorniku. Na występowanie takich obciążeń w formie zróżnicowanego naporu poziomego szczególnie narażone są silosy, służące do magazynowania materiałów o dużej lepkości takich jak śruta sojowa, makuchy czy zawilgocone otręby.

Koncepcja konstrukcji zbiornika

Wolnostojący zbiornik na zboże lub produkty pochodzenia rolniczego o pojemności 240 m³ stanowi układ składający się z komory walcowej o wysokości 6.36 m i średnicy 6.26 m; stożkowego dachu o wysokości 1.80 m i takiegoż leja o wysokości 2.5 m (rys. 1). Komora, poprzez pierścień obwodowy spoczywa na ośmiu słupach podporowych, wykonanych z dwóch ceowników zespawanych czołowo, z odpowiednio ukształtowanymi głowicami i stopami, zakotwionymi w fundamentach. Konstrukcję nośną walcowej części zbiornika stanowi osiem zimnogiętych żeber w kształcie zetownika o wysokości 120 mm, stężonych promieniście za pomocą drążków dystansowych z perforowanym, ustawionym centrycznie przewodem odciążającym (rys. 2) Stężenie to, poza swoją podstawową funkcją, dodatkowo spełnia rolę pomostu roboczego w trakcie montażu. Poszycie komory stanowi stalowa blacha ocynkowana o grubości 1 mm. Poszczególne elementy opierzenia w formie carg o wysokości 1.25 m połączono pionowo i poziomo za pomocą śrub M 8. Podobnie łączono poszycie z żebrami. Dach w formie bezżebrowej kopuły stożkowej zaprojektowano z blachy o grubości 3 mm podzielonej na osiem podstawowych elementów wycinkowych, łączonych także za pomocą śrub M 8. Górny węzeł kopuły rozwiązano w formie kołnierza i rury o średnicy 200 mm, spełniającej rolę otworu zasypowego. Lej spustowy silosu, wykonany podobnie jak dach z blachy o grubości 3 mm, w formie ośmiu wycinków kołowych połączonych po tworzącej śrubami M 8. (rys. 3). Pierścienie wieńczące walcową część komory przewidziano jako niezbędne wzmocnienie na styku z kopułą i lejem. Górny, ma przekrój 155 x 8 mm i składa się z ośmiu odcinków połączonych przykładkami o tej samej grubości za pomocą śrub M16. Dolny pierścień, ze względu na znaczne wielkości sił, które przenosi, przewidziano z dwóch blach o wymiarach 280 x 10 mm i 240 x 10 mm, łączonych w stykach co 1/8 obwodu za pomocą śrub M 16. Dla materiałów o większym kącie tarcia wewnętrznego opracowano wersję zbiornika o tej samej konstrukcji lecz nieco zmienionych proporcjach (rys. 4). Przy średnicy komory równej 4.70 m i wysokości 7.25 m, lej i dach mają wysokości odpowiednio równe 3.5 m oraz 1.0 m co daje w efekcie pojemność równą 150 m³. Obie przedstawione wersje zostały wyposażone w urządzenia zabezpieczające przed niekorzystnymi zjawiskami związanymi ze składowaniem materiału a opisanymi w poprzednim rozdziale. Są to: perforowana rura odciążająca o przekroju ośmiokątnym wpisanym w okrąg o średnicy 200 mm, połączona na stałe za pomocą drążków dystansowych z podłużnicami komory oraz układ trzech pionowych przepon obejmujący obszar w dolnej części komory oraz leju. Perforowany przewód odciążający o rozmieszczonych wzdłuż linii śrubowej prostokątnych, odpowiednio dobranych otworach zapewnia łagodny ruch materiałów ziarnistych przy równoczesnym wyeliminowaniu jego przesklepiania się oraz redukcji poziomego naporu dynamicznego.



Rys. 1. Silos o pojemności 240 m³
Fig. 1. A silo of 240 m³ volume



Rys. 2. Konstrukcja szkieletu zbiornika – rura odciążająca i drążki dystansowe
Fig. 2. The silo framework structure – relief tube and spacing bars



Rys. 3. Lej spustowy wraz z pierścieniem dolnym
Fig. 3. Release funnel with a bottom ring



Rys. 4. Bateria zbiorników o pojemności $V = 150 \text{ m}^3$
Fig. 4. Silo battery of the volume $V = 150 \text{ m}^3$

W zbiornikach przeznaczonych do przechowywania surowców lub półproduktów o znacznej lepkości przepony, przymocowane punktowo do pełnej, ustawionej centrycznie rury oraz dolnego pierścienia obwodowego skutecznie rozdzielają strumień przemieszczającego się materiału. Oryginalna konstrukcja cienkościennego zbiornika poligonowych została zarejestrowana w Urzędzie Patentowym zaś pozytywne wyniki wszechstronnych badań poligonowych były bodźcem do podjęcia produkcji.

Zaletą przedstawionej konstrukcji zbiornika jest lekkość i łatwość montażu. Silos przewieziony na plac budowy w segmentach, nie wymaga praktycznie żadnego sprzętu montażowego i może być w ciągu kilku dni zmontowany przez czteroosobową brygadę. Oryginalny sposób montażu zbiornika z zastosowaniem wielofunkcyjnej, obrotowej drabiny został zastrzeżony w Urzędzie Patentowym. Niewątpliwie do zalet opisanej konstrukcji należy zaliczyć jej rozbieralność. Cienkościenne elementy poszycia, łączone na śruby małej średnicy, dają możliwość szybkiej wymiany zdeformowanych utratą stateczności fragmentów, bez konieczności demontażu całego zbiornika. Przedstawiona konstrukcja zbiornika w podstawowej oraz lub zmienionych wersjach, znalazła zastosowanie w zakładach zbożowych, zakładach przetwórstwa owocowo-warzywnego oraz w fabryce żelatyny.

Wnioski końcowe

Proponowane konstrukcyjne rozwiązanie zbiornika może być zastosowane w gospodarstwach indywidualnych jak i w przetwórnictwie zboża w formie pojedynczych silosów bądź zestawianych w miarę potrzeb baterii. Zbiornik może służyć zarówno do przechowywania materiałów sypkich o większej granulacji jak i takich, które mają skłonność do przesklepiania, gdyż zastosowane rozwiązania konstrukcyjne eliminują zjawisko tworzenia się nawisów i związanych z nimi dodatkowymi obciążeniami dynamicznymi. Istnieje możliwość dostosowania konstrukcji do wysypu na taśmociąg lub samochód dostawczy, gdyż jest to jedynie związane z wysokością słupów podporowych. Przedstawiona koncepcja zbiornika może być realizowana w formie silosów o różnej pojemności, zależnie od potrzeb i wymagań potencjalnych odbiorców.

Bibliografia

Banachewicz W., Nurek W. 1995. Warunki eksploatacji jako czynnik determinujący stan graniczny użytkowania stalowych silosów, Konferencja Naukowo-Techniczna „Rzeczoznawstwo Budowlane”, Cezdżyna –Kielce.

Banachewicz W., Banachewicz K. 2003. On certain problems of design, investigation and maintenance of thin-walled steel silo, International Conference on Design,

Inspection, Maintenance and Operation of Cylindrical Tanks and Pipelines, Prague, 9-12 October.

Banachewicz W. 1997. Stiffening ribs influence upon load carrying capacity of thin-walled silo shells, Conference on Carrying Capacity of Steel Shells Structures, Brno, 1-3 October.

Banachewicz W., Nurek W., Sobiesiak J. Metalowy silos do przechowywania materiałów sypkich. Wzór użytkowy nr W- 56951

Banachewicz W., Nurek W., Sobiesiak J. Sposób montażu metalowych uźebrowanych zbiorników. Patent nr P-1571128

Bodarski Z., Hotała E., Pasternak H. 1997. Stany awaryjne i katastrofy silosów stalowych, Konferencja Naukowo –Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin – Międzyzdroje.

Horabik J. 2001. Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesach składowania., Acta Agrophysica, 54, Lublin.

Hotała E. 2003. Nośność graniczna nieuźebrowanych cylindrycznych płaszczy silosów stalowych. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Monografie 35, Wrocław.

Ziółko J., Włodarczyk W., Mendera Z., Włodarczyk S. 1995. Stalowe konstrukcje specjalne, Arkady

PN-B-03202. 1996 Konstrukcje stalowe. Silosy na materiały sypkie. Obliczenia statyczne i projektowanie

LIGHTWEIGHT, STEEL SILO FOR AGRICULTURAL PRODUCTS – STRUCTURE AND ASSEMBLY CONCEPT

Summary

A significant issue in the agricultural and food industry is storing raw materials and semi-products necessary for the production. This issue refers in particular to bulk products, sensitive to environmental pollutions and weather changes.

Traditional forms of storage are being replaced with storage in metal tanks being steel or aluminum silos. Various research centers in Poland have developed several solutions that may be divided into two groups for structural reasons: silos with a cone funnel on the supporting structure and the ones with a flat bottom. The concept of thin-wall steel silo construction for cereal and other organic products, prepared by the Technical University of Lublin, has many advantages and its transportation and assembly are easy.

Key words: cereal storage, steel silo, structure