

*silos, wzmocnienie przez sprężenie, cięgna bez przyczepności*

Andrzej SERUGA<sup>1</sup>  
Rafał SZYDŁOWSKI<sup>2</sup>  
Mariusz ZYCH<sup>2</sup>

## **STAN TECHNICZNY I NAPRAWA ŻELBETOWYCH SILOSÓW NA RZEPAK PO CZTERDZIESTU LATACH EKSPLOATACJI**

W pracy przedstawiono stan techniczny pięciu żelbetowych silosów na rzepak po czterdziestu latach użytkowania i sposób wzmocnienia cylindrycznej powłoki za pomocą stalowych cięgien bez przyczepności. Siły wewnętrzne i naprężenia w kierunku poziomym i pionowym obliczono metodą elementów skończonych w systemie Robot Millennium. W obliczeniach statycznych uwzględniono obecność otworów przy opróżnianiu.

### **1. Wprowadzenie.**

W Zakładach Tłuszczowych w Bodaczowie k/Zamościa zrealizowano w latach 60-tych ubiegłego stulecia 7 silosów na rzepak. Komory silosów w kształcie walca, wolnostojące o konstrukcji żelbetowej, zostały wzmocnione za pomocą opasek stalowych o poprzecznym przekroju 80x8mm rozmieszczonych w rozstawie co około 1,75m. Na podstawie ekspertyzy wykonanej przez firmę CELEBRUM z Wrocławia w 1997 roku, podjęto decyzję o konieczności wzmocnienia wszystkich silosów. Do czasu zrealizowania zaleceń, można było eksploatować poszczególne komory przy ustalonym poziomie ich napełnienia. Silosy mogły być opróżniane w przybliżeniu centrycznie, czyli przez 3 leje najbliższe środkowi komory. Oznacza to, że w każdym tunelu transportowym można było korzystać z 6 lejów danego silosa (rys.1). Silosy nr 2 i 5 zostały wzmocnione w 1998 roku przy udziale Politechniki Krakowskiej za pomocą zewnętrznych cięgien bez przyczepności [1]. Projekt wzmocnienia opracował prof. L. Faryniak.

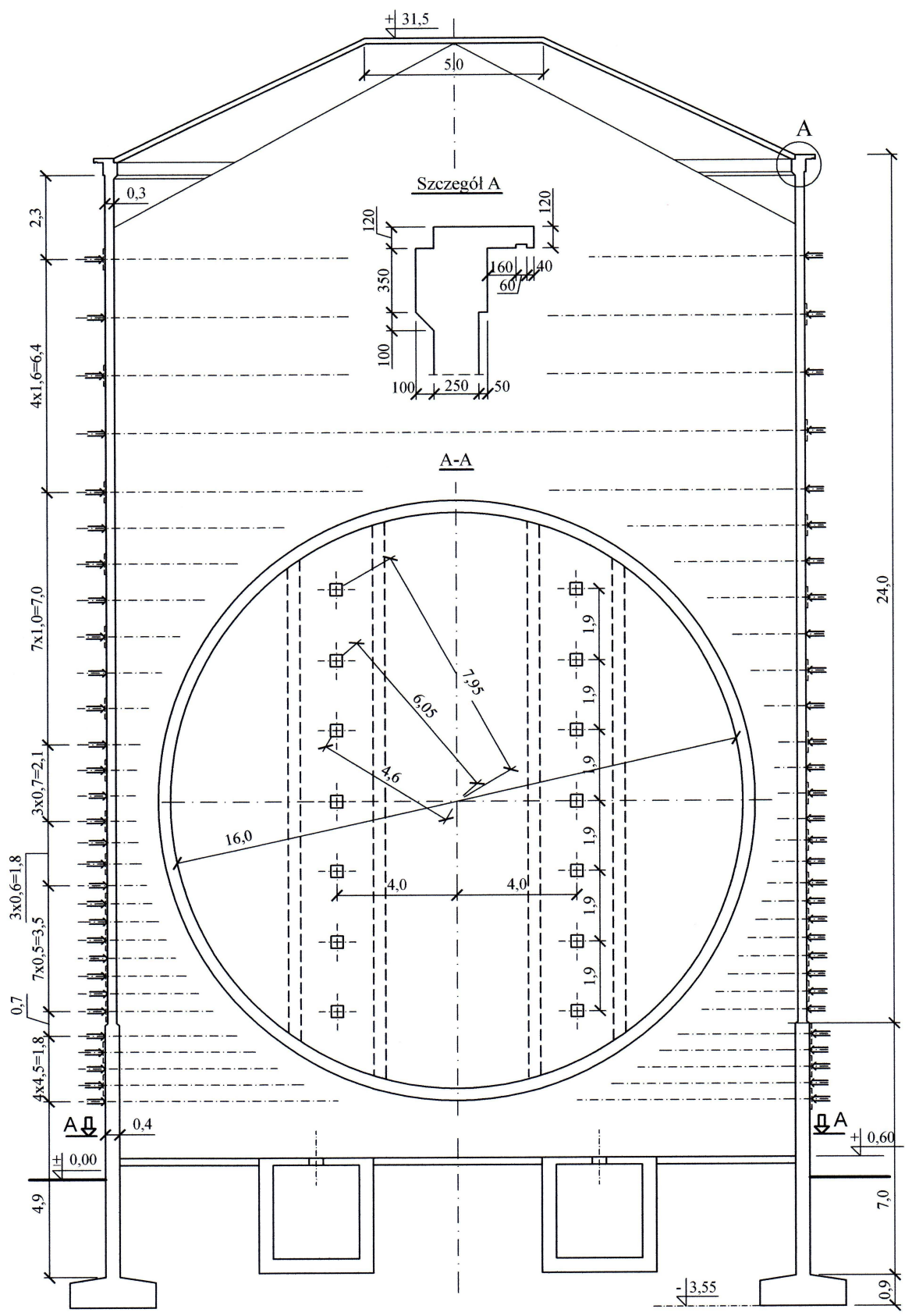
### **2. Opis konstrukcji silosów**

Projekt techniczny baterii silosów na nasiona oleiste w Bodaczowie k/Zamościa został opracowany przez Biuro Projektów Przemysłu Cukrowniczego „CUKROPROJEKT” w Warszawie 1960 roku. Bateria składa się z 7 silosów usytuowanych w jednej linii od strony zachodniej baterii

---

<sup>1</sup> dr hab. inż. prof. PK. Politechnika Krakowska, IMiKB, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24

<sup>2</sup> mgr inż. Politechnika Krakowska, IMiKB, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24



Rys 1. Przekrój poprzeczny i rozmieszczenie ciężenia jak dla silosu 6.

silosów zblokowanych. Do tych silosów ziarno podawane jest z wieży operacyjnej znajdującej się przed silosami zblokowanymi.

Silos posadowiony jest na poziomie -3,55 m (w odniesieniu do poziomu terenu) na żelbetowej, pierścieniowej ławie fundamentowej o przekroju 2,40 x 0,85 m (rys. 1). Dno komory położone jest na wysokości + 0,60 m. Ściana zbiornika wykonana została skokowo o zmiennej grubości. Dolna część ściany długości 7,0 m, mierzonej od utwierdzenia w ławie fundamentowej ma grubość 0,4 m, a pozostała część 0,25 m. Wzajemne połączenie ścian na wysokości silosu zrealizowano zapewniając ciągłość osi symetrii przekroju ściany. Średnica wewnętrzna dolnej części zbiornika (odpowiadająca grubości ściany 0,40 m) jest zatem mniejsza i wynosi 18,85 m. Średnica wewnętrzna komory zasypowej wynosi 19,0 m, a jej największa wysokość mierzona od poziomu dna (+ 0,60 m) do górnej powierzchni (+ 31,50) po uwzględnieniu grubości płyty wynosi 30,84 m (rys. 1). Od góry powłoka walcowa zakończona jest wieńcem o grubości 0,40 m i wysokości około 0,50 m (rys. 1). Przykrycie silosu stanowi żelbetowa powłoka w kształcie stożka ściętego o grubości 0,15 m i wysokości 3,20 m, zamknięta płytą o tej samej grubości i średnicy 5,0 m. Pojemność komory przy całkowitym wypełnieniu części cylindrycznej (31,0 – 3,3)m wynosi 7850 m<sup>3</sup>. Opróżnianie silosu może odbywać się poprzez 14 otworów usytuowanych w dwóch rzędach rozmieszczonych centrycznie względem środka symetrii zbiornika w rozstawie osiowym 8,0 m (rys. 1). W zależności od położenia otworu wysypowego można wyróżnić trzy wartości mimośrodu opróżniania: 4,0 ; 4,61m i 7,95m.

Pod komorą przebiegają dwa tunele transportowe o konstrukcji żelbetowej ramowej, ze stropem płytowo – żebrowym. W każdym tunelu znajduje się 7 stalowych lejów, za pomocą których ziarno zsypuje się na przenośnik taśmowy. Pomiedzy silosami, na poziomie tuneli transportowych, wykonane są łączniki ze stropodachami o konstrukcji żelbetowej płytowej. Płyty stopodachów opierają się na obwodowych żebrach opartych na ścianach łączników oraz na żelbetowych wspornikach wykonanych w ścianach komór, w osi baterii silosów.

Z przeprowadzonych obserwacji, a także z treści dokumentacji projektowej wynika, że ściany silosów powyżej części pogrubionej były wznoszone w deskowaniu ślizgowym. Część pogrubioną wykonano w deskowaniu przestawnym.

### **3. Ocena stanu technicznego ścian silosów**

Obszerne badania ścian wszystkich silosów przeprowadzone były przez „CELEBRUM” od zewnątrz na wysokości do 17 m oraz wewnątrz silosów na wysokości do 5,0 m. Uznano, że stan techniczny ścian silosów jest niezadowalający i lokalnie zły. Istotną przyczyną wystąpienia

uszkodzeń była niska jakość wykonania obiektu, czego wyrazem jest nie utrzymanie geometrii powłoki walcowej, nie zapewnienie odpowiedniej otuliny betonowej oraz właściwego rozmieszczenia zbrojenia.

Niewłaściwe rozmieszczenie zbrojenia w stosunku do wymagań projektowych prowadzi do obniżenia nośności ścian. Do tego należy uwzględnić zmianę średnicy prętów zbrojeniowych w wyniku postępującej korozji stali, na skutek zbyt małej grubości otuliny, a niekiedy całkowitym jej brakiem. Słaba jakość betonu w warstwie przypowierzchniowej sprzyja postępowi procesu karbonatyzacji betonu, a tym samym obniża zdolności ochronne betonu w stosunku do stali zbrojeniowej. Z badań przeprowadzonych przez „CELEBRUM” wynika, że grubość skarbonatyzowanego betonu zawierała się w przedziale od 5 do 50 mm.

Wytrzymałość betonu na ściskanie określona metodą nieniszczącą za pomocą młotka Schmidta typu N była bardzo zróżnicowana w zależności od badanego miejsca i okresu wykonania silosu. Przypisana klasa betonu dla poszczególnych badań zawiera się w przedziale od B20 do B35. Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie określona na podstawie 28 odwiertów  $\phi 75\text{mm}$  pobranych ze ścian silosów wynosi 31,47 MPa przy współczynniku zmienności 26,8%. Najniższa wartość wynosiła 19,1 MPa, a najwyższa 44,4 MPa. Należy zaznaczyć, że do wykonania betonu dla ścian silosów zastosowano kruszywo żwirowe o uziarnieniu do 63mm, wzbogacone granitem o uziarnieniu powyżej 4 mm.

Z badań wytrzymałości betonu na odrywanie metodą „pull-off” przeprowadzonych również przez „CELEBRUM” przy zastosowaniu trzpieni o średnicy 50 mm wynika, że średnia wartość naprężenia odrywającego określona na ścianach silosów Nr 1, 4 i 5 (7 próbek) wynosiła 2,9 MPa przy współczynniku zmienności 1,45%. W przypadku silosu Nr 2 średnia wartość naprężenia odrywającego wynosiła 0,97 MPa przy współczynniku zmienności 36,3 % (3 próbki).

W oparciu o prezentowane wyniki uznano, że w obliczeniach statycznych wykonywanych w ramach projektu wzmocnienia silosów można przyjąć beton w ścianie silosów odpowiadający klasie B25. Z racji zastosowanego kruszywa należało skorygować wartość modułu sprężystości betonu w stosunku do wartości przypisanej normowo dla klasy betonu B25.

W prezentowanej pracy skoncentrowano się na silosie Nr 6. Jakość betonu nie uszkodzonego w dolnej pogrubionej części ściany uznano za dobrą. Lokalnie beton zakwalifikowano do klasy B35. Ponad pogrubioną częścią ściany, na zewnętrznej powierzchni, wykonane było wzmocnienie ściany w paśmie o wysokości 1,5 m za pomocą zbrojonego torkretu grubości 100 mm. Stan warstwy torkretu był zły, stwierdzono liczne poziome pęknięcia wzdłuż prętów, natomiast w szczelinę pomiędzy torkretem i ścianą przenikała woda opadowa powodując korozję stali. Warstwa torkretu była na znacznej części obwodu odspojona i nie stanowiła żadnego wzmocnienia.

Na podstawie poczynionych obserwacji można wnioskować, że w trakcie betonowania powłoki walcowej miało miejsce nierównomierne podnoszenie ślizgu w wyniku czego ściana uległa załamaniu, czego konsekwencją jest znaczne wychylenie z pionu począwszy od tego miejsca na wysokości powłoki. Powłoka na całej grubości wykonana jest z betonu na kruszywie żwirowym o bardzo zróżnicowanym uziarnieniu dochodzącym do 70 mm (rys.2). Stwierdzono w omawianym paśmie obecność dwóch dziur na wylot o wymiarach 45x160 mm oraz 150x300 mm (rys.2). W wyniku dokonanych pomiarów stwierdzono grubość ściany 250 mm, natomiast otulenie poziomych prętów  $\phi 18$  mm było zróżnicowane, zawierające się w przedziale 30 do 65mm. Na powierzchni powłoki widać głębokie wyrwy dochodzące do 150 mm. Jakość powierzchni ściany nie nadawała się do przeprowadzenia badań wytrzymałości betonu na ściskanie metodą nieniszczącą (młotek Schmidta). Od południowej strony na wysokości 320÷400 mm od skoku grubości ściany stwierdzono obecność otworu o średnicy  $\phi 80$  mm po dokonanych odwiercie. Poniżej otworu biegnie pozioma rysa o szerokości 0,5 mm. Na obwodzie 5,0 m zlokalizowano 14 prętów pionowych  $\phi 10$  mm ze stali gładkiej w rozstawie: 260, 240, 300, 370, 330, 300, 236, 350, 340, 290, 350, 430 i 320 mm.



Rys. 2. Ubytki w ścianie silosu nr 6..



Rys. 3. Fragment powłoki po usunięciu opaski.

W chwili dokonywanych oględzin żelbetowa opaska wzmacniająca utrzymywała się tylko na długości około 32 m od strony północnej. Na długości 27,7 m od strony północnej usunięty był zarówno beton opaski jak i stal zbrojeniowa. Można wnioskować, że zbrojenie umieszczone w

opasce nie było kotwione do ściany silosu. Opaska o wysokości około 1,3 m i grubości 70 mm (grubość uskoku miejscami 120 mm) zbrojona była w kierunku obwodowym 11 prętami średnicy 12 mm ze stali żebrowanej w projektowanym rozstawie co 100 mm (rys.3). Fragment najbardziej uszkodzonej powłoki, po usunięciu betonowej opaski z widocznym zbrojeniem podano na rys. 4.

Ogólnie można stwierdzić, że średnica prętów poziomych uległa zmniejszeniu o około 2 mm w wyniku postępującego procesu korozji. Zaniżona powierzchnia wymaganego zbrojenia w kierunku obwodowym, przy jednoczesnym zastrzeniu warunków projektowania i konstruowania silosów, uzasadniała konieczność wprowadzenia dodatkowego sprzężenia w stosunku do 60 cięgien sprężających przyjętych na pozostałych silosach. W wyniku przeprowadzonych analiz obliczeniowych, uznano za konieczne wprowadzenie dodatkowych 6 cięgien sprężających na pocienionej ścianie rozmieszczając je jak na rys.1.

#### 4. Obliczenia statyczne i podsumowanie

W 2002 roku wprowadzona została nowa norma PN-B-03262 „Silosy na materiały sypkie”. Obliczenia statyczne. Norma ta została ograniczona do silosów opróżnianych z mimośrodem nie większym niż połowa promienia komory zasypowej  $0,25 \cdot d_c = 0,25 \cdot 19,0 = 4,75$  m. Z uwagi na obecność mimośrodu 7,95 m obliczenia statyczne przeprowadzono wg normy EC1 [1,2].

Wprowadzony przez normę EC-1 sposób wyznaczania parć w silosach w zależności od ich klasy niezawodności wymaga przyporządkowania analizowanego obiektu do odpowiedniej klasy. Niniejszy silos zaliczyć można do 2 klasy niezawodności przy opróżnianiu z mimośrodem 4,0 i 4,61 m oraz do 3 klasy przy mimośrodku opróżnionym 7,95 m. Ze względu na smukłość komory zasypowej silos zaliczyć można do grupy silosów o średniej smukłości. Dla silosów 2 klasy niezawodności o średniej smukłości, norma EC-1 dopuszcza możliwość uwzględnienia lokalnego wzrostu obciążenia przy opróżnianiu poprzez zwiększenie poziomego symetrycznego naporu przy opróżnianiu przez współczynnik zwiększający zależny od wielkości mimośrodu.

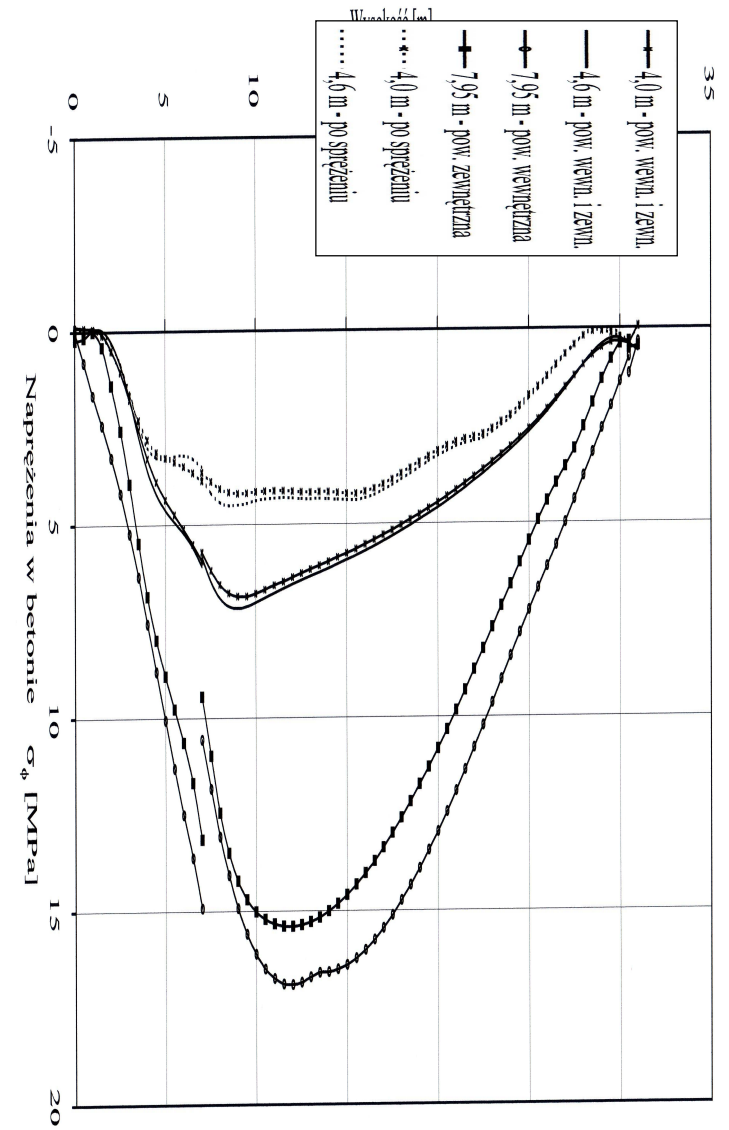
W przypadku opróżniania z mimośrodem  $e_o = 7,95$  m uwzględniono :

- symetryczne napory przy opróżnianiu : poziomy  $p_{he}$  i styczny  $p_{we}$ ,
- miejscowy napór poziomy przy opróżnianiu  $p_{pe}$ ,
- dodatkowe niesymetryczne parcie poziome ( $p_{hae}$ ,  $p_{bse}$ ,  $p_{hce}$ ).

Dodatkowy niesymetryczny napór przy opróżnianiu z dużym mimośrodku uzależniony jest od kształtu leja wypływu tworzącego się w masie składowanego materiału podczas opróżniania. Wobec niezajomości szczegółowej geometrii wypływu, zgodnie z zaleceniami normy EC-1 rozpatrywano trzy możliwe wartości promienia leja wypływu:  $r_c = 0,2r_1$ ,  $r_c = 0,35r_1$  oraz  $r_c = 0,5 r_1$ .



Rys. 4. Fragment opaski powyżej pogrubienia powłoki.



Rys. 5. Rozkład naprężeń obwodowych w silosie nr 6.

Obliczenia uogólnionych sił wewnętrznych wykonano przy użyciu programu Robot Millennium (MES). Model zbiornika zbudowany został z powłoki walcowej o zmiennej grubości (0,40 m w dolnej strefie i 0,25 m na pozostałej wysokości) i górnej powłoki w kształcie ściętego stożka o grubości 0,15 m zwieńczonej płaską płytą o tej samej grubości. Na dolnej krawędzi powłokę walcową zamocowano w ławie fundamentowej posadowionej na sprężystym podłożu. Powłoki zbudowane zostały z 11388 płaskich czterowęzłowych elementów powłokowych połączonych w 11454 węzłach. W rozważaniach uwzględniono następujące oddziaływania:

- ciężar własny konstrukcji,
- napór materiału sypkiego na ściany silosu,
- obciążenie powłoki walcowej cięciami sprężającymi ( $P_0 = 200$  kN,  $P_d = 168$  kN).

Rozkłady naprężeń obwodowych w powłoce silosu przy opróżnianiu komory, przed sprężeniem i po sprężeniu przedstawiono na rys. 5.

Zgodnie z wynikami obliczeń, silos Nr 6 wzmocniono przez nałożenie 66 obwodów cięgien sprężających, po uprzednim uzupełnieniu na części obwodu pogrubienia powłoki walcowej na szerokości pasma 1,35 m powyżej istniejącego konstrukcyjnego pogrubienia.

## Literatura

- [1] A. Seruga, R. Szydłowski: „Analiza rozkładów parcia i sił wewnętrznych w powłoce walcowej silosu na rzepak przy opróżnianiu”, XII Konferencja Naukowo-Techniczna: „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze”, Kraków, 19-21 listopada 2003 ,materiały s.191-200.
- [2] EN1991-4:2003. Eurocode 1 – Actions on structures. Part 4: Actions on silos and tanks.

## **TECHNICAL STATE AND REPAIR OF REINFORCED CONCRETE SILOS FOR RAPE AFTER FORTY YEARS OF UTILIZATION**

### **Summary**

In the paper there is presented the technical state of five reinforced concrete silos for rape after forty years of utilization and the method of strengthening of the cylindrical shell with unbounded steel tendons.

Internal forces and stresses in horizontal and vertical directions have been calculated with computer FEM system software Robot Millennium. Different localizations of discharge opening have been taken in static calculations.