

WARIANTOWANIE ROZWIĄZAŃ ZBIORNIKÓW PODZIEMNYCH STOSOWANYCH W GOSPODARSTWACH ROLNO – HODOWLANYCH

Anna ŻAKOWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule opisano rodzaje zbiorników podziemnych stosowane w gospodarstwach rolno-hodowlanych, podstawowe ich schematy statyczne oraz rodzaje obciążeń działających na zbiorniki. W przykładzie obliczeniowym porównano wyniki uzyskane dwiema metodami obliczeniowymi: metodą płyt wydzielonych i metodą elementów skończonych. Obliczenia MES wykonano dla dwóch przypadków: z uwzględnieniem sprężystości podłoża i bez jego uwzględnienia.

Słowa kluczowe: podziemny zbiornik prostopadłościenny, schemat przestrzenny, metoda elementów skończonych.

1. Wstęp

Jednym z podstawowych wymogów Unii Europejskiej dotyczących gospodarstw rolno-hodowlanych jest redukcja zanieczyszczenia gleby i wody gruntowej spowodowanego azotanami pochodzenia rolniczego oraz zapobieganie dalszym tego typu zanieczyszczeniom. Wśród wielu zagrożeń dla środowiska, powstających na terenie gospodarstwa, szczególną uwagę należy zwrócić na odchody zwierzęce w postaci stałej i ciekłej. Zgodnie z art. 18 Ustawy z dnia 26 lipca 2000 r. o Nawozach i Nawożeniu (Dz. U. Nr 89 poz. 991) nawozy naturalne w postaci stałej powinny być przechowywane w pomieszczeniach inwentarskich lub na nieprzepuszczalnych płytach, zabezpieczonych przed przenikaniem wycieku do gruntu oraz wyposażonych w instalację odprowadzającą wycieki do szczelnych zbiorników. Nawozy naturalne w postaci płynnej (gnojówka, gnojowica) należy przechowywać wyłącznie w szczelnych zbiornikach o pojemności umożliwiającej gromadzenie co najmniej 6-miesięcznej produkcji tego nawozu (Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2002). Po wejściu Polski do Unii Europejskiej rolnicy rozpoczęli proces dostosowywania gospodarstw do standardów Unii. Jednym z efektów tego działania jest budowa zbiorników na odchody zwierzęce. Każdy wykonany zbiornik potrzebuje dokumentu potwierdzającego jakość jego wykonania, przede wszystkim potwierdzającym jego szczelność.

Główne wymagania dotyczące konstrukcji zbiornika są następujące (PN-EN 1992-1-1:2008 *Eurokod 2*

Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, BN-84/8814-07 Zbiorniki żelbetowe na gnojowicę. Projektowanie, warunki wykonania i badania techniczne przy odbiorze, PN-B-03264: 2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie):

- zbiornik powinien być zaprojektowany w sposób zapewniający jego szczelność i trwałość;
- gnojówka stanowi środowisko słabo lub średnio agresywne w stosunku do betonu, co odpowiada klasie ekspozycji XA1 lub XA2;
- materiały zastosowane do budowy zbiornika powinny spełniać wymagania odpowiednich norm przedmiotowych lub aprobat technicznych;
- minimalna klasa betonu dla środowiska XA1 oraz XA2 wg (PN-EN 206-1:2003 *Beton-Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*) to C30/37, (PN-B-03264:2002) dla XA1 to C25/30, XA2 to C35/45 natomiast (BN-84/8814-07) wynosi C16/20 (zalecane C20/25);
- minimalny wymagany stopień wodoszczelności wynosi W6;
- styki pomiędzy elementami składowymi zbiorników prefabrykowanych powinny być odpowiednio zabezpieczone i uszczelnione;
- stosuje się zbrojenie konstrukcyjne w postaci prętów ze stali klasy AI, AII, AIII o minimalnej średnicy pręta 8 mm;
- otulina zbrojenia dla klasy ekspozycji XA1 i XA2 z uwagi na ochronę przed korozją powinna wynosić:

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.zakowicz@kmb.pb.edu.pl

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c = 3cm + 1cm = 4cm$, a dla płyty wykonanej na chudym betonie:
 $c_{nom} = c_{min} + \Delta c = 4cm + 1cm = 5cm$.

- dopuszczalna szerokość rozwarcia rys (PN-B-03264:2002) w elementach pracujących w środowisku XA1, XA2 w celu ochrony przed korozją wynosi 0,2 mm, a dla zbiorników od których wymaga się szczelności wynosi 0,1 mm;
- w przypadku zbiorników na ciecz, a w szczególności na gnojówkę lub gnojowicę konieczne jest dokonywanie próby szczelności według procedury opisanej w (PN-B-10702:1999 *Wodociągi i kanalizacje. Wymagania i badania przy odbiorze*).

W pracy przedstawione zostały aktualnie stosowane rodzaje zbiorników na gnojowicę, podstawowe schematy statyczne, rodzaje obciążeń działających na zbiornik, rozwiązania izolacji zbiornika oraz przykład obliczeniowy zbiornika w wersji monolitycznej z wariantowym uwzględnieniem sprężystości otaczającego gruntu.

2. Stosowane aktualnie rozwiązania zbiorników

Do przechowywania odchodów zwierzęcych w postaci płynnej w gospodarstwach rolnych stosuje się najczęściej zbiorniki podziemne. Zaletą tych zbiorników jest możliwość grawitacyjnego odprowadzania odchodów z budynków i płyt obornikowych do zbiornika. Strop nad zbiornikiem można wykorzystać na powierzchnię przeznaczoną do składowania obornika. Należy wówczas przewidzieć włazy wentylacyjne i rewizyjne w płycie górnej oraz zastosować spadki min. 1%, w celu umożliwienia odprowadzenia płynnych odchodów. Trudnością przy budowie tych zbiorników jest to, że w przypadku wysokiego poziomu wód gruntowych konieczne jest obniżenie poziomu tych wód na czas realizacji budowy, a także wykonanie stosownych uszczelnień, co związane jest z dodatkowymi kosztami. Zbiorniki do przechowywania nawozów naturalnych mogą mieć kształt bryły obrotowej – walec o pionowej osi obrotu - zbiorniki walcowe, lub mogą to być zbiorniki prostopadłościenne. Płyta przekrywająca zbiornik może być zarazem przeznaczona do składowania obornika. W związku z powyższym płyty te mogą być zaopatrzone w murki oporowe usytuowane na krawędzi płyt. Opisywane zbiorniki są wykonywane z różnych materiałów i można je podzielić na: betonowe monolityczne, żelbetowe monolityczne, żelbetowe prefabrykowane, stalowe, z tworzyw sztucznych na bazie PCV lub włókna szklanego zbrojonego. Najbardziej rozpowszechnione są zbiorniki żelbetowe monolityczne i prefabrykowane.

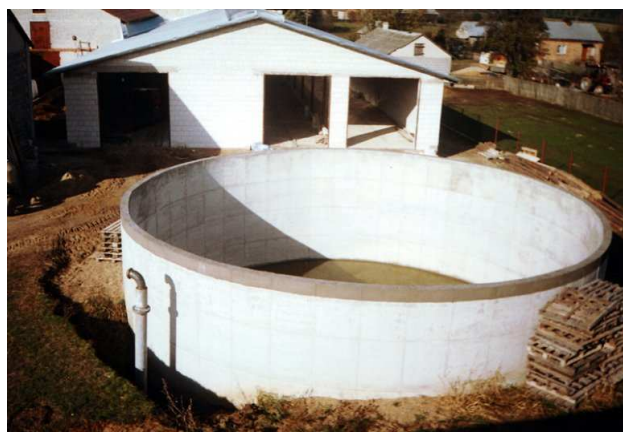
Poniżej przedstawiono przykłady zbiorników prefabrykowanych obecnie stosowanych w gospodarstwach rolnych do przechowywania odchodów zwierzęcych oraz przykład zbiornika monolitycznego (rys. 1-3).



Rys. 1. Zbiornik żelbetowy prefabrykowany o przekroju kołowym (www.ogloszenia-24h.pl)



Rys. 2. Zbiornik żelbetowy, prostopadłościenny, górą zamknięty. Na płycie przekrywającej widoczne jest zbrojenie przeznaczone do wykonania muru oporowego (www.pepebe.pl)

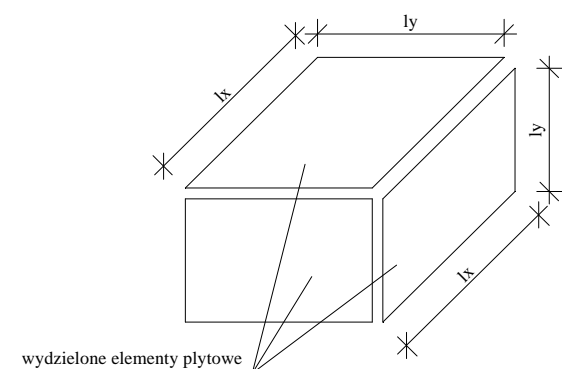


Rys. 3. Zbiornik żelbetowy monolityczny o przekroju kołowym (www.fambud.eu)

3. Obliczeniowe schematy statyczne i obciążenia żelbetowych prostopadłościennych zbiorników monolitycznych

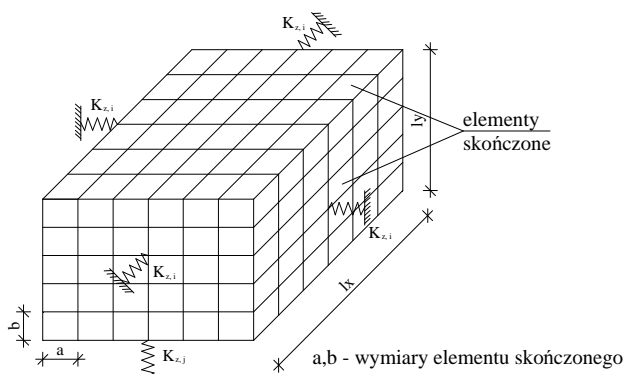
Można wyróżnić następujące obliczeniowe schematy statyczne zbiorników podziemnych na odchody zwierzęce:

- schemat rozdzielczy (rys. 4),



Rys. 4. Schemat rozdzielczy

– schemat przestrzenny (rys. 5),

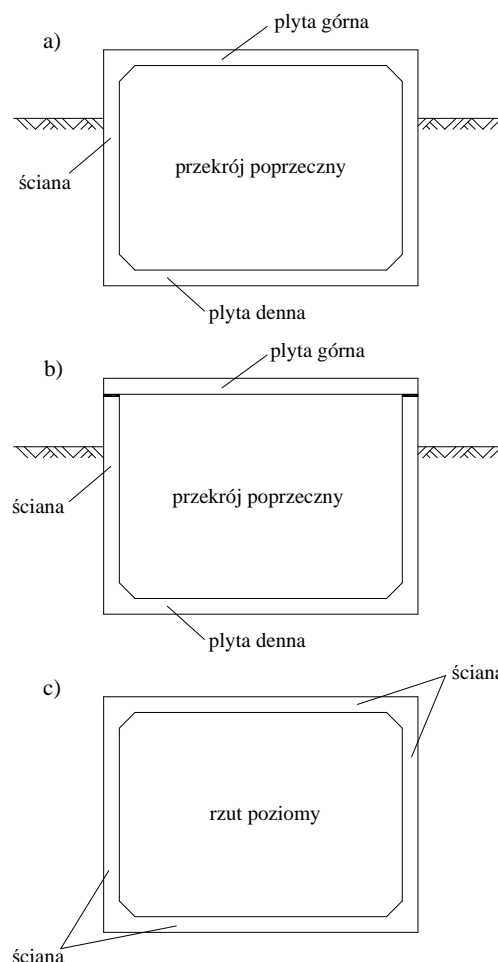


Rys. 5. Schemat przestrzenny z siatką elementów skończonych

W schemacie rozdzielczym obliczenia przeprowadza się metodą płyt wydzielonych. Analiza polega na rozpatrywaniu elementów konstrukcyjnych zbiornika (ściany, płyta denna, płyta górna) jako płyt dwukierunkowo zginanych, przyjmując w zależności od przewidywanej technologii wykonania swobodne podparcie lub całkowite zamocowanie odpowiednich krawędzi. Dzięki tej metodzie można wyznaczyć potrzebne do wymiarowania momenty zginające i ugięcia płyt prostokątnych o różnych warunkach podparcia wynikających z przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego. Należy również pamiętać o konieczności wyrównania momentów krawędziowych, w przypadku zbiorników prostopadłościennych o różnych wymiarach stykających się ścian.

Monolityczne zbiorniki prostopadłościenne powinno się obliczać metodami, które umożliwią uwzględnienie ich przestrzennej pracy statycznej (Buczowski, 1998) oraz rzeczywistych wymiarów i danych materiałowych. Można tu stosować metodę różnic skończonych (MRS) lub metodę elementów skończonych (MES). Wykorzystując metodę elementów skończonych (MES) tworzy się siatkę elementów skończonych i przeprowadzając analizę obliczeniową wyznacza się w dowolnym punkcie konstrukcji wartości sił, momentów zginających oraz ugięć.

W przypadku obu schematów statycznych można wyróżnić następujące rodzaje połączeń pomiędzy elementami konstrukcyjnymi zbiornika (rys. 6).



Rys. 6. Rodzaje połączeń pomiędzy elementami konstrukcyjnymi zbiornika monolitycznego: a) sztywne połączenie ścian zbiornika z płytą denną i płytą górną, b) sztywne połączenie ścian zbiornika z płytą denną i przegubowe połączenie ścian zbiornika z płytą górną, c) sztywne połączenie pomiędzy ścianami zbiornika

Przy projektowaniu zbiorników podziemnych na ciecie mamy do czynienia z dwoma głównymi schematami obciążenia. Pierwszy schemat dotyczy zbiornika nie obsypanego wypełnionego cieczą, natomiast drugi dotyczy zbiornika pustego obsypanego gruntem. W przypadku pierwszego schematu należy uwzględnić następujące obciążenia działające na zbiornik:

- obciążenie płyty przekrywającej ciężarem własnym;
- obciążenie cieczą (gnojowicą) ścian zbiornika i płyty dennej;
- obciążenie płyty dennej odporem gruntu wywołanym ciężarem własnym zbiornika.

W przypadku drugiego schematu należy uwzględnić następujące obciążenia:

- obciążenie płyty górnej ciężarem własnym;
- obciążenie płyty górnej zbiornika gruntem (w przypadku gdy płyta górna zbiornika jest zagłębiona w ziemi);
- obciążenie płyty górnej śniegiem lub obciążeniem użytkowym (obornikiem albo samochodem ciężarowym);
- obciążenie ścian zbiornika gruntem zasypowym;
- obciążenie płyty dennej odporem gruntu.

Istotnym obciążeniem może być również skurcz betonu i wpływ zmian temperatury otoczenia (Buczowski, 1992, 1993).

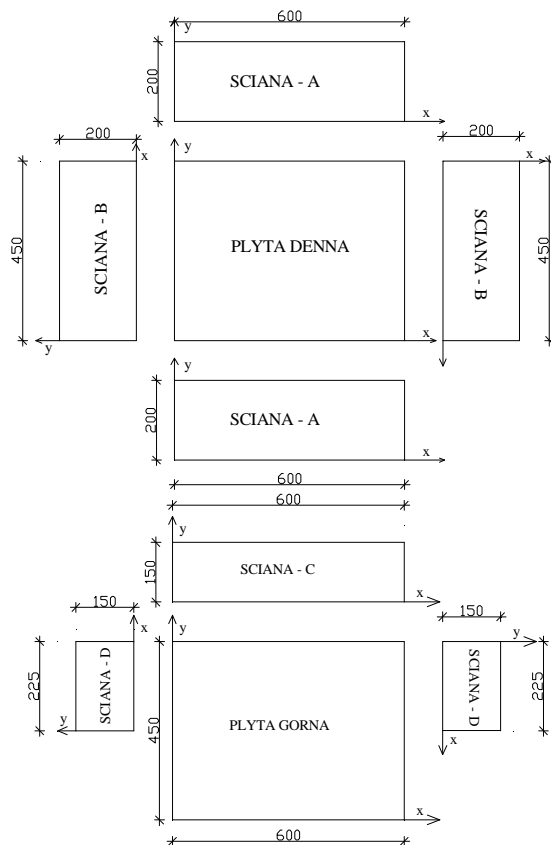
4. Rozwiązania izolacji

Zabezpieczenie zewnętrzne i wewnętrzne elementów konstrukcyjnych zbiornika zależy przede wszystkim od warunków gruntowych i wodnych oraz od rodzaju przechowywanej cieczy. W zbiornikach zagłębionych w gruncie można stosować powłoki nałożone na elementy konstrukcyjne, które mogą stanowić dodatkowe zabezpieczenie lub ochronę konstrukcji przed agresywnym oddziaływaniem środowiska. Zabezpieczenie wewnętrzne powierzchni zbiornika stanowią różnego rodzaju żywice reaktywne, które tworzą po wewnętrznej stronie zbiornika szczelną powłokę. Utwardzona powłoka jest elastyczna odporna na ścieranie i działanie czynników atmosferycznych i chemikaliów, a w szczególności na działanie gnojowicy. Na zewnątrz na ogół wystarcza dwukrotne posmarowanie bitumem. Przy wysokim zwierciadle wody gruntowej stosuje się izolację typu ciężkiego, osłoniętą ścianką żelbetową lub murowaną. Izolację dna wykonuje się z 2 warstw papy bitumicznej ułożonej na warstwie chudego betonu.

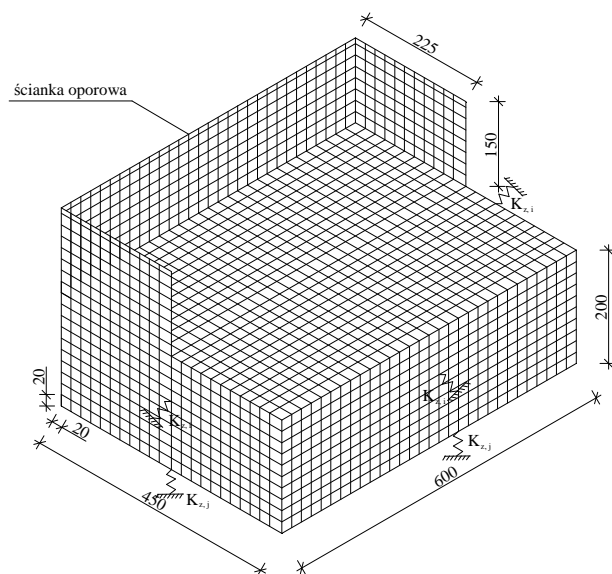
Jeżeli istnieje możliwość grawitacyjnego odprowadzenia wody, to z zasady stosuje się drenaż wokół zbiornika oraz całego dna. Drenaż służy do odprowadzenia wód gruntowych przesiąkających z poziomu terenu oraz wód opadowych. Drenaż jest konieczny, gdy chcemy trwale obniżyć poziom wody gruntowej lub zabezpieczyć przed okresowym jego podnoszeniem się ponad poziom dna zbiornika (Ciesielski i in., 1966).

5. Przykład obliczeń zbiornika w wersji monolitycznej

Przeprowadzono obliczenia zbiornika na gnojowicę całkowicie zagłębionego w gruncie o konstrukcji monolitycznej o następujących wymiarach osiowych: szerokość 4,5 m, długość 6,0 m, wysokość 2,0 m. Przewidziano także ściankę oporową o wysokości 1,5 m wykonaną na płycie górnej zbiornika. Elementy konstrukcyjne zbiornika: płyta górna, ściany oraz ścianka oporowa mają grubość 20 cm, a płyta denna ma grubość 30 cm. Poziom posadowienia zbiornika ustalono na rzędnej -2,00 m p.p.t. Zbiornik posadowiony jest na glinie pylastej w stanie plastycznym o stopniu plastyczności $I_L = 0,43$. Po wykonaniu zbiornika ściany zostaną obsypane piaskiem średnim o $I_D = 0,43$. Zbiornik obliczono dwiema metodami. Przy obliczeniach zbiornika metodą płyt wydzielonych (rys. 7) przyjęto dwa schematy obciążenia. W metodzie elementów skończonych (MES) dodatkowo uwzględniono sprężystą pracę podłoża gruntowego dla ścian zbiornika oraz płyty dennej (rys. 8). Do obliczeń zastosowano program Robot Millennium.



Rys. 7. Oznaczenie poszczególnych elementów konstrukcyjnych zbiornika w metodzie płyt wydzielonych



Rys. 8. Dyskretyzacja metody elementów skończonych

Przy obliczeniach dla I schematu uwzględniono następujące wartości obciążeń:

- płyta górna
- a) obciążenie śniegiem (PN-80/B-02010) ($\gamma = 1,5$):

$$S = 1,54 \cdot 1,5 = 2,31 \text{ kN/m}^2$$
- b) ciężar własny płyty górnej (PN-82/B-02001) ($\gamma = 1,1$):

$$g_d = 0,2 \cdot 25 \cdot 1,1 = 5,50 \text{ kN/m}^2$$
- ściany
- c) parcie cieczy (gnojowicy) (PN-82/B-02000) ($\gamma = 1,1$):

$$p_{cd} = 11 \cdot 2,0 \cdot 1,1 = 24,20 \text{ kN/m}^2$$

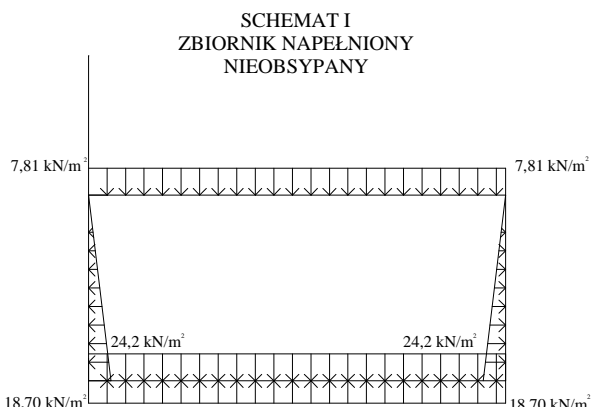
- płyta denna
- d) obciążenia a, b, c jak wyżej
- e) obciążenie od ciężaru własnego ścianki oporowej (PN-82/B-02001) ($\gamma = 1,1$):

$$g_{d1} = \frac{0,2 \cdot 1,5 \cdot 10,5 \cdot 25}{4,7 \cdot 6,2} \cdot 1,1 = 2,97 \text{ kN/m}^2$$

- f) obciążenie od ciężaru własnego ścian zbiornika (PN-82/B-02001) ($\gamma = 1,1$):

$$g_{d2} = \frac{0,2 \cdot 4,5 \cdot 2,0 \cdot 25 \cdot 2 + 0,2 \cdot 6,0 \cdot 2,0 \cdot 25 \cdot 2}{4,7 \cdot 6,2} \cdot 1,1 = 7,92 \text{ kN/m}^2$$

Sposób przyłożenia obciążeń przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Obciążenia działające na zbiornik w I schemacie obciążenia

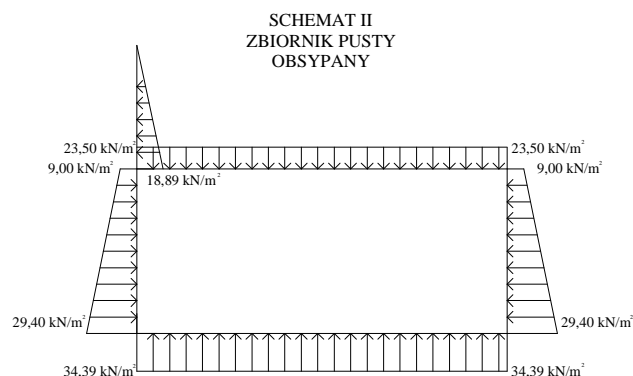
Przy obliczeniach dla II schematu uwzględniono następujące wartości obciążeń:

- płyta górna
- g) obciążenie b jak wyżej
- h) obciążenie obornikiem (PN-82/B-02000) ($\gamma = 1,2$):
 $p_d = 10 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 18,00 \text{ kN/m}^2$
- ściany
- i) obciążenie naziomu pojazdem samochodowym ($\gamma = 1,2$) przyjęto jako obciążenie zastępcze równomiernie rozłożone na podstawie normy (PN-82/B-02004):
 $p_{d1} = p_d \cdot K_o = 18 \cdot 0,5 = 9,00 \text{ kN/m}^2$

- j) obciążenie parciem gruntu (PN-88/B-02014) ($\gamma = 1,2$):
 $G_{d2} = (p_d + \gamma \cdot h) \cdot K_o = (18 + 17 \cdot 2,0 \cdot 1,2) \cdot 0,5 = 29,4 \text{ kN/m}^2$

- płyta denna
- k) obciążenia b, e, f, h jak wyżej
- ścianka oporowa
- l) obciążenie obornikiem (PN-83/B-03010):
 $e_{ar2} = 13,74 \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 18,89 \text{ kN/m}^2$

Sposób przyłożenia obciążeń przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Obciążenia działające na zbiornik w II schemacie obciążenia

Do obliczeń przyjęto wysokość składowania obornika 1,5 m oraz jego ciężar objętościowy $\rho = 10 \text{ kN/m}^3$. Gęstość objętościowa gruntu zasypowego wynosi $\rho = 17 \text{ kN/m}^3$.

W przypadku drugiego schematu obciążenia przyjęto obciążenie równomiernie rozłożone o stałej wartości na całej powierzchni płyty górnej.

Po przeprowadzeniu obliczeń metodą płyt wydzielonych oraz po wyrównaniu momentów krawędziowych (stosując odpowiednie współczynniki rozdziału (Kobiak i Stachurski, 1991)) otrzymano wartości momentów zginających pokazane w tabelach 1 i 2.

Tab. 1. Zestawienie wartości momentów w I schemacie obciążenia w metodzie płyt wydzielonych

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześlowy	podporowy	prześlowy
ŚCIANA – A	-2,88	+0,50	-10,74	-5,58
ŚCIANA – B	-2,88	+0,50	-6,81	-1,59
ŚCIANA – C	-0,09	+0,07	-0,06	+0,04
ŚCIANA – D	-0,09	-0,04	-0,05	+0,03
PŁYTA GÓRNA	-6,81	+4,72	-10,74	+9,59
PŁYTA DENNA	-3,20	+0,60	-4,70	+1,99

Tab. 2. Zestawienie wartości momentów w II schemacie obciążenia w metodzie płyt wydzielonych

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześlowy	podporowy	prześlowy
ŚCIANA – A	-7,72	+3,17	-29,27	-11,39
ŚCIANA – B	-7,72	+0,87	-18,71	-0,83
ŚCIANA – C	-1,75	+0,36	-2,91	+1,20
ŚCIANA – D	-1,75	+0,32	-2,39	+0,86
PŁYTA GÓRNA	-18,71	+11,66	-29,27	+24,25
PŁYTA DENNA	-28,56	+19,39	-45,01	+39,50

Przy obliczaniu ścian A, B, płyty górnej i dolnej przyjęto schemat statyczny w postaci płyty zamocowanej na obwodzie. Płytę C obliczano jako płytę zamocowaną na trzech krawędziach z czwartą swobodną, natomiast płyty D obliczano jako zamocowane na dwóch krawędziach z dwiema pozostałymi krawędziami swobodnymi.

Wyniki obliczeń uzyskane metodą elementów skończonych (MES) dla schematu statycznego, w którym nie uwzględniono sprężystej pracy podłoża gruntowego zestawiono w tabelach 3 i 4.

Tab. 3. Zestawienie wartości momentów w I schemacie obciążenia uzyskane MES bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześłowy	podporowy	prześłowy
ŚCIANA - A	-3,24	+1,22	-8,25	-
ŚCIANA - B	-3,36	+1,34	-6,51	-
PŁYTA GÓRNA	-6,67	+5,26	-7,23	+6,25
PŁYTA DENNA	-4,72	+1,62	-5,22	+2,63
ŚCIANA - C	-2,08	+0,65	-2,06	-
ŚCIANA - D	-2,03	+0,32	-2,42	-

Tab. 4. Zestawienie wartości momentów w II schemacie obciążenia uzyskane MES bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześłowy	podporowy	prześłowy
ŚCIANA - A	+5,23	+2,64	-46,48	-
ŚCIANA - B	+5,16	+1,42	-33,29	-
PŁYTA GÓRNA	-20,12	+12,87	-24,08	+18,38
PŁYTA DENNA	-32,97	+20,80	-45,54	+42,65
ŚCIANA - C	-2,25	+1,16	-3,17	-
ŚCIANA - D	-2,20	+0,61	-4,60	-

Tab. 7. Zestawienie wartości momentów obliczonych metodą płyt wydzielonych oraz za pomocą metody elementów skończonych bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego – dla I schematu obciążenia

Element	M_x [kNm]				M_y [kNm]			
	podporowy		prześłowy		podporowy		prześłowy	
	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES
ŚCIANA - A	-2,88	-3,24	+0,50	+1,22	-10,74 -4,70	-8,25	-5,58 +2,11	-
ŚCIANA - B	-2,88	-3,36	+0,50	+1,34	-6,81 -3,20	-6,51	-1,59 +3,67	-
PŁYTA GÓRNA	-6,81	-6,67	+4,72	+5,26	-10,74	-7,23	+9,59	+6,25
PŁYTA DENNA	-3,20	-4,72	+0,60	+1,62	-4,70	-5,22	+1,99	+2,63
ŚCIANA - C	-0,09	-2,08	+0,07	+0,65	-0,06	-2,06	+0,04	-
ŚCIANA - D	-0,09	-2,03	-0,04	+0,32	-0,05	-2,42	+0,03	-

Przy obliczeniach metodą elementów skończonych (MES) uwzględniono również sprężystą pracę podłoża gruntowego. W II schemacie obciążenia uwzględniono sprężystość gruntu zasypowego dla ścian zbiornika (tab. 5 i 6).

Tab. 5. Zestawienie wartości momentów w I schemacie obciążenia uzyskane MES z uwzględnieniem sprężystej pracy podłoża gruntowego

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześłowy	podporowy	prześłowy
ŚCIANA - A	-4,63	+1,30	-9,12	-
ŚCIANA - B	-4,61	+1,31	-7,64	-
PŁYTA GÓRNA	-8,26	+6,73	-6,21	+4,22
PŁYTA DENNA	-2,48	+0,13	-1,93	+0,09
ŚCIANA - C	-2,62	+1,00	-2,92	-
ŚCIANA - D	-2,63	+0,42	-3,32	-

Tab. 6. Zestawienie wartości momentów w II schemacie obciążenia uzyskane MES z uwzględnieniem sprężystej pracy podłoża gruntowego

Element	M_x [kNm]		M_y [kNm]	
	podporowy	prześłowy	podporowy	prześłowy
ŚCIANA - A	-1,85	+0,07	-2,60	-
ŚCIANA - B	-1,73	+0,05	-2,31	-
PŁYTA GÓRNA	-36,32	+16,94	-29,07	+10,04
PŁYTA DENNA	-0,06	-0,02	+0,41	-0,08
ŚCIANA - C	-1,97	+0,13	-5,81	-
ŚCIANA - D	-1,97	+0,22	-3,77	-

W celu porównania otrzymanych rezultatów dokonano zestawień pokazanych w tabelach 7, 8, 9 i 10.

Otrzymane wyniki uzyskane różnymi metodami dla płyty górnej i płyty dennej pokazano na rysunku 11.

Tab. 8. Zestawienie wartości momentów obliczonych metodą płyt wydzielonych oraz za pomocą metody elementów skończonych bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego – dla II schematu obciążenia

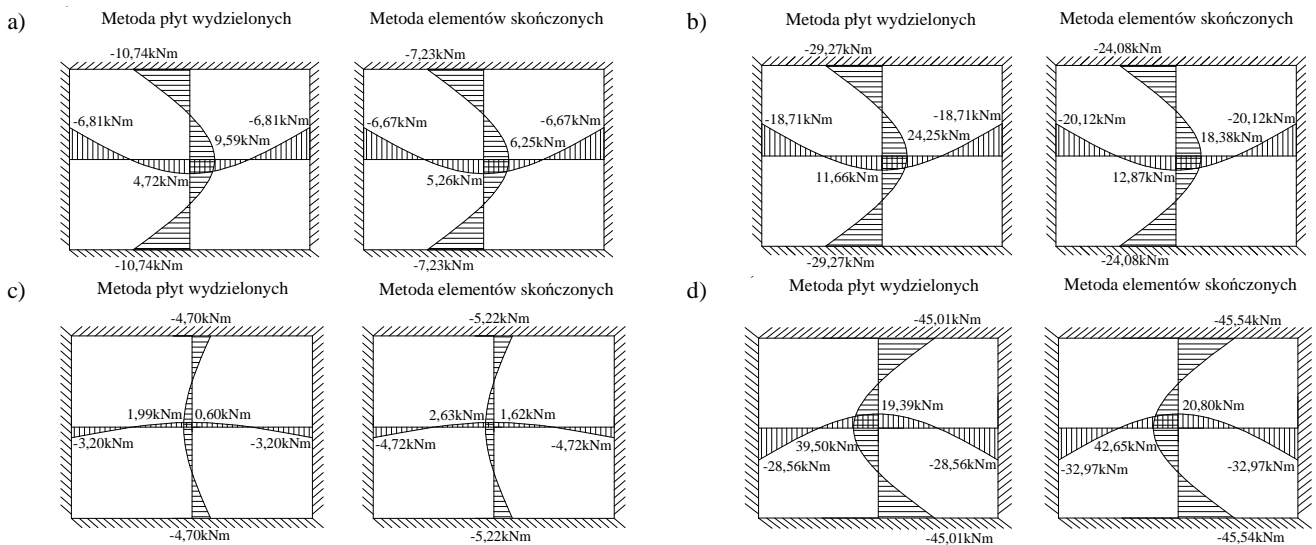
Element	M_x [kNm]				M_y [kNm]			
	podporowy		prześłowy		podporowy		prześłowy	
	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES	met. płyt wydz.	MES
ŚCIANA – A	-7,72	+5,23	+3,17	+2,64	-29,27 -45,01	-46,48	-11,39 -24,24	-
ŚCIANA – B	-7,72	+5,16	+0,87	+1,42	-18,71 -28,56	-33,29	-0,83 -7,89	-
PŁYTA GÓRNA	-18,71	-20,12	+11,66	+12,87	-29,27	-24,08	+24,25	+18,38
PŁYTA DENNA	-28,56	-32,97	+19,39	+20,80	-45,01	-45,54	+39,50	+42,65
ŚCIANA – C	-1,75	-2,25	+0,36	+1,16	-2,91	-3,17	+1,20	-
ŚCIANA – D	-1,75	-2,20	+0,32	+0,61	-2,39	-4,60	+0,86	-

Tab. 9. Zestawienie wartości momentów obliczonych metodą elementów skończonych z uwzględnieniem oraz bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego – dla I schematu obciążenia

Element	M_x [kNm]				M_y [kNm]			
	podporowy		prześłowy		podporowy		prześłowy	
	MES.	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.
ŚCIANA – A	-3,24	-4,63	+1,22	+1,30	-8,25	-9,12	-	+4,59
ŚCIANA – B	-3,36	-4,61	+1,34	+1,31	-6,51	-7,64	-	+3,63
PŁYTA GÓRNA	-6,67	-8,26	+5,26	+6,73	-7,23	-6,21	+6,25	+4,22
PŁYTA DENNA	-4,72	-2,48	+1,62	+0,13	-5,22	-1,93	+2,63	+0,09
ŚCIANA – C	-2,08	-2,62	+0,65	+1,00	-2,06	-2,92	-	-1,23
ŚCIANA – D	-2,03	-2,63	+0,32	+0,42	-2,42	-3,32	-	-1,13

Tab. 10. Zestawienie wartości momentów obliczonych metodą elementów skończonych z uwzględnieniem oraz bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego – dla II schematu obciążenia

Element	M_x [kNm]				M_y [kNm]			
	podporowy		prześłowy		podporowy		prześłowy	
	MES.	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.	MES	MES podł. spręż.
ŚCIANA – A	+5,23	-1,85	+2,64	+0,07	-46,48	-2,60	-	-0,20
ŚCIANA – B	+5,16	-1,73	+1,42	+0,05	-33,29	-2,31	-	-0,24
PŁYTA GÓRNA	-20,12	-36,32	+12,87	+16,94	-24,08	-29,07	+18,38	+10,04
PŁYTA DENNA	-32,97	-0,06	+20,80	-0,02	-45,54	+0,41	+42,65	-0,08
ŚCIANA – C	-2,25	-1,97	+1,16	+0,13	-3,17	-5,81	-	+0,15
ŚCIANA – D	-2,20	-1,97	+0,61	+0,22	-4,60	-3,77	-	+0,32



Rys. 11. Porównanie wykresów momentów obliczonych metodą płyt wydzielonych oraz metodą elementów skończonych (MES) bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego. a) płyta górna I schemat (założono, że murki oporowe są nieobciążone), b) płyta górna II schemat (założono, że murki oporowe są nieobciążone), c) płyta dolna I schemat, d) płyta dolna II schemat.

6. Podsumowanie

Dokonując porównania wartości momentów obliczonych metodą płyt wydzielonych oraz metodą elementów skończonych bez uwzględnienia sprężystej pracy podłoża gruntowego uzyskano wyniki różniące się od siebie o około 10-15 %. Różnica ta wynika z zastosowania różnych metod obliczeniowych. Ponadto w programie obliczeniowym oraz w tablicach (Kobiak i Stachurski, 1991) uwzględnione są różne wartości współczynnika Poissona: $\nu = 0,0$ (Kobiak i Stachurski, 1991) oraz $\nu = 0,20$ wartość przyjęta w programie komputerowym Robot. Natomiast w drugim przypadku obliczeń metodą elementów skończonych bez uwzględnienia oraz z uwzględnieniem sprężystej pracy podłoża gruntowego zauważa się, że w elementach podpartych sprężystości momenty zmieniły znacznie swoje wartości o około 30-35 %. Można wywnioskować zatem, że uwzględnienie sprężystości podłoża gruntowego znacznie wpływa na zmianę wyteżenia tych elementów i przegrupowanie sił wewnętrznych. Podobne spostrzeżenia można znaleźć w pracy Buczkowskiego (1998).

Literatura

Buczkowski W. (1998). Obliczenia statyczne w zbiorniku prostopadłościennym przy uwzględnieniu przestrzennej pracy statycznej ustroju oraz współpracy konstrukcji

z podłożem winklerowskim. *Gospodarka Wodna* 4, 143-137.

Buczkowski W. (1993). Obciążenie temperaturą zbiorników prostopadłościennych zagłębionych w gruncie. *Inżynieria i Budownictwo*, 12.

Buczkowski W. (1992). Momenty zginające w monolitycznych zbiornikach prostopadłościennych obciążonych temperaturą. *Inżynieria i Budownictwo*, 5.

Ciesielski R., Mitzel A., Stachurski W., Suwalski J., Żmudziński Z. (1966). Zbiorniki, zasobniki, silosy, kominy i maszty. *Budownictwo Betonowe t.XIII. Arkady*, Warszawa.

Kobiak J., Stachurski W. (1991). Konstrukcje żelbetowe. Tom 4. *Arkady*, Warszawa.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 23 grudnia 2002r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych.

VARIANTING SOLUTIONS OF UNDERGROUND TANKS ON FARMS

Abstract: The paper presents types of underground tanks used on farms, their basic static schemes and types of loads acting on tanks. In the calculation example results for two calculation methods, plate method and finite element method, were compared. The calculations were done for variants with and without included springy work of subsoil.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach Pracy Statutowej nr S/WBiŚ/3/08