

dr inż. Adam Klimek¹⁾
dr inż. Zygmunt Matkowski¹⁾

Uszkodzenia i naprawa obciążonych termicznie komór bioreaktorów w kompostowni

Damage and repair of thermally loaded bioreactor chambers in a composting plant

DOI: 10.15199/33.2015.05.15

(Studium przypadku)

Streszczenie. W artykule omówiono uszkodzenia żelbetowych komór bioreaktorów stabilizacji tlenowej w kompostowni, powstałych wskutek niewystarczającego zbrojenia ścian oraz podkreślono znaczenie nieuwzględnionych w projekcie naprężeń skurczowych i termicznych. Zaproponowano zmniejszenie obciążenia gradientem temperatury przez ocieplenie ścian komór oraz przedstawiono sposób naprawy konstrukcji żelbetowej, zapewniający uzyskanie szczelności komór reaktorów istotnej z punktu widzenia ochrony środowiska.

Słowa kluczowe: konstrukcja żelbetowa, skurcz, temperatura, zarysowania, naprawa.

Abstract. The paper presents a case of damage done to reinforced concrete chambers of aerobic stabilization bioreactors in a composting plant that occurred due to insufficient reinforcement of walls. The damage has been reviewed and the authors have pointed out to the significance of shrinkage and thermal stresses, which were not taken into consideration in the construction design. A reduction of gradient temperature load has been suggested, which may be achieved through insulation of the chamber walls. Moreover, a method of repairing the ferroconcrete structure, which could guarantee, essential from the point of view of environment protection, tightness of bioreactor chambers, has been recommended.

Keywords: reinforced concrete structure, shrinkage, temperature, cracks, repair.

Opis bioreaktorów

Konstrukcję reaktorów (fotografia 1) tworzy 6 żelbetowych, połączonych ze sobą boksów o wymiarach wewnętrznych rzutu 24,00 x 7,40 m. Wysokość ścian boksów wynosi 4,70 m, w tym 4,00 m ponad poziom posadzki oraz 70 cm od górnej krawędzi posadzki do fundamentów, a grubość 25 cm. Każdy z boksów posiada jedną bramę o szerokości 5,85 m i wysokości 4,50 m. Boksy wykonane są jako żelbetowe monolityczne z betonu C35/45 XA2 i zbrojone obustronnie siatkami Ø8/15 ze stali AIII. W projekcie przewidziano z obu stron otulinę 5,0 cm.

Ściany reaktorów posadowiono bezpośrednio na ławach fundamentowych żelbetowych szerokości 150 cm, na głębokości 1,10 m pod poziomem terenu. Posadzka reaktorów jest betonowa grubości 20 cm, zbrojna przeciwskurczowo zbrojeniem rozproszonym. W posadzce ukształtowano kanały odciekowe, wypełnione żwirem. Pod posadzką wykonano izolację z folii grubości 0,5 mm. Posadzka spoczy-



Fot. 1. Reaktory stabilizacji tlenowej, widok zewnętrzny

Photo 1. Aerobic stabilization reactors – external view

wa na zagęszczonym gruncie piaszczystym. Dach boksów jest lekki, stalowy, w postaci łukowych profili krytych plandeką. Boksy nie są dylatowane i ocieplone. Do czasu powstania uszkodzeń reaktory nie były eksploatowane.

Ciężar objętościowy składowanego w komorach reaktorów kompostu może wynosić ok. 10 kN/m³, a planowana wysokość składowania – 2,0 m. Napędzanie i opróżnianie komór następuje za pomocą spychaczy przez otwory bramowe. Temperatura składowanego kompostu zmienia się w czasie i jest największa w pierwszym tygodniu procesu, osiągając w tym czasie szczytową wartość 75 °C, która po kolejnym miesiącu stopniowo zmniejsza się do

ok. 40 °C. Odczyn pH kompostu jest zbliżony do obojętnego, a jego minimalna wartość nie powinna wynosić mniej niż 6.

Powstałe uszkodzenia oraz analiza ich przyczyn

Po kilku tygodniach od zabetonowania zaobserwowano powstanie rys na ścianach oraz na płycie posadzkowej komór bioreaktorów. Zarysowania ścian miały następujący charakter:

- kierunek rys pionowy lub zbliżony do pionowego, nieznacznie ukośny (fotografia 2);
- rozwartość rys 0,1 ÷ 0,3 mm, średni rozstaw rys 4 ÷ 5 m;
- część rys przecinała całą ścianę od powierzchni posadzki do jej górnej krawędzi, pozostałe rysy występowały jedynie na części ściany, wykazywały jednak tendencję do dalszej propagacji w kierunku pionowym;
- rysy z reguły przecinały całą grubość ściany; rysy jednostronne pojawiły się po pewnym czasie również na przeciwnej części ściany;
- rozwartość rys była na tyle duża, że ściany zewnętrzne nie zapewniały szczelności boksów ze względu na wodę opadową; podczas opadów atmosferycznych pojawiły się od we-

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

²⁾ Autor do korespondencji:
e-mail: adam.klimek@pwr.edu.pl

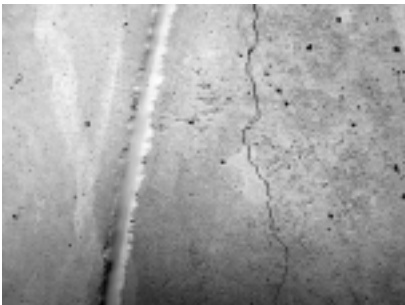


Fot. A. Klimek

Fot. 2. Miejsce zarysowania skurczowego oraz przecieku wody deszczowej przez ścianę komory reaktora stabilizacji tlenowej
Photo 2. The place of the shrinkage crack and rainwater leakage through the chamber wall of the aerobic stabilization reactor

wewnątrz widoczne miejsca przecieków (fotografia 2);

- wykonane naprawy wstępne zarysowań materiałem elastycznym częściowo spełniły swoje zadanie; należało je uznać jednak za niezupełnie skuteczne ze względu na powiększanie się istniejących i powstawanie nowych rys skurczowych; w efekcie niektóre wypełnienia pęknięć odpajały się od betonu, a nowe rysy pozostawały niewypełnione (fotografia 3); należało ocze-



Fot. A. Klimek

Fot. 3. Uszczelniona materiałem elastycznym rysa oraz powstałe obok niej nowe zarysowanie
Photo 3. The crack sealed with an elastic compound and the new cracks that appeared next to it

kiwać, że zarysowania powiększą się po rozpoczęciu eksploatacji obiektu, gdy pojawi się parcie kompostu na ściany wraz z cyklicznymi zmianami temperatury konstrukcji żelbetowej.

Zarysowania i pęknięcia posadzki reaktorów wykazywały następujące cechy:

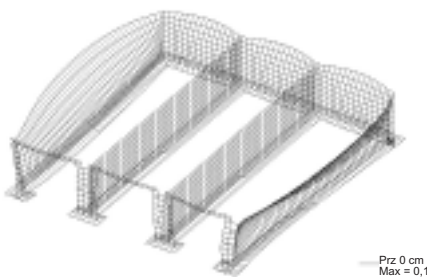
- kierunek prostopadły do długości reaktorów;
- rozstaw rys nieregularny, od kilkadziesiątych centymetrów do kilkunastu metrów;
- poza pęknięciami powstały też odspojenia posadzki na stykach ze ścianami.

Stwierdzono, że przyczyną powstania rys i pęknięć był skurcz betonu, a przelotowy ich charakter spowodował powstanie nieszczelności, co groziło skażeniem środowiska przez powstanie wycieków frakcji ciekłych kompostu z reaktorów. W celu opracowania metody naprawy, uwzględniającej wymagania szczelności i trwałości komór, wykonano obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, w których uwzględniono następujące obciążenia:

- parcie kompostu na ściany;
- parcie i ssanie wiatru na ściany;
- ciężar własny dachu wraz z wynikającym z oddziaływania konstrukcji łukowej poziomymi siłami rozporu; ze względu na wysoką temperaturę wewnętrzną oraz brak ocieplenia dachu nie uwzględniono obciążenia od śniegu;
- jako obciążenie termiczne przyjęto umowną temperaturę scalania 10 °C, a temperaturę zewnętrzną -18 °C; obciążenie termiczne wyznaczono w 2 wariantach: w przypadku ściany nieocieplonej (sytuacja istniejąca) uzyskano z obliczeń cieplnych przyrost temperatury 24 °C oraz gradient równy 72 °C, a ściany ocieplonej styropianem grubości 6 cm odpowiednio 56 °C oraz 7 °C;
- obciążenie od skurczu betonu przyjęto jako równoważne z obniżeniem temperatury konstrukcji żelbetowej o 15 °C.

Wnioski z obliczeń:

- najbardziej istotnym obciążeniem konstrukcji żelbetowej jest gradient temperatury (charakter odkształceń pokazano na rysunku 1), a pozostałe obciążenia są drugorzędne;



Rys. 1. Odkształcenia termiczne ścian komory reaktora stabilizacji tlenowej

Fig. 1. Thermal deformation of the chamber walls in the aerobic stabilization reactor

- wariant konstrukcji reaktorów ocieplonych jest korzystniejszy pod względem wytrzymałościowym ze względu

na wielokrotnie mniejszy gradient temperatury na grubości ściany, a w efekcie mniejsze siły wewnętrzne i odkształcenia;

- w przypadku ściany ocieplonej wystarczające byłoby zastosowanie obustronnie podstawowej siatki zbrojeniowej Ø12/15 z lokalnymi dozbrojeniami w narożach ścian; w wariancie ściany nieocieplonej przekroje zbrojenia powinny być około 2-krotnie większe;

- zastosowane zbrojenie ścian (Ø8/15) umożliwia przeniesienie sił od parcia składowanego kompostu oraz innych obciążeń poza termicznymi; nie występuje zagrożenie awarią budowlaną w sensie przekroczenia warunków stanu granicznego nośności, jednak zbrojenie ścian jest niewystarczające dla zapewnienia szczelności reaktorów bez izolacji.

Sposób naprawy zarysowanych komór

Na podstawie analizy zarysowań oraz wykonanych obliczeń stwierdzono, że przyczyną uszkodzeń jest niewystarczające zbrojenie ścian ze względu na skurcz betonu, a po rozpoczęciu eksploatacji i pojawieniu się obciążeń termicznych zarysowania te będą się powiększać, co grozi powstaniem wycieków i skażeniem środowiska. Zaproponowano naprawę występujących uszkodzeń oraz zapewnienie szczelności komór przez następujące działania:

- w celu zmniejszenia obciążenia ścian żelbetowych gradientem temperatury należy je ocieplić styropianem o grubości 6 cm;
- ściany oraz posadzkę komór należy uszczelnić od strony wewnętrznej elastyczną membraną przeciwwodną i chemoodporną, np. Masterseal 689; w przypadku ścian można zastosować zamiennie elastyczną wyprawę uszczalniającą typu Aquafin 2K;
- w celu zabezpieczenia komór przed uszkodzeniami mechanicznymi podczas napełniania i opróżniania, izolację ścian należy pokryć torkretem lub betonem monolitycznym grubości 8 cm, zbrojonym w jednej warstwie siatką zbrojeniową, kotwioną przez izolację do ścian zewnętrznych. Rozwiązanie naprawcze przedstawiono na rysunku 2.

Rys. 2. Schemat zabezpieczenia ściany zewnętrznej boksów: 1 – płyta fundamentowa; 2 – istniejąca ściana żelbetowa; 3 – elastyczna membrana przeciwwodna i chemooodporna, np. MASTERSEAL 689; 3a – elastyczna membrana przeciwwodna i chemooodporna, np. MASTERSEAL 689 lub elastyczna mikrozaprawa wodoszczelna na bazie cementu (np. Aquafin 2K); 3b – wyoblenie o średnicy 5 cm; 3c – połączenie izolacji poziomej z izolacją pionową na zakładkę min. 20 cm; 4 – pręty $\Phi 10$ (4 pręty na 1 m^2) osadzone w ścianie boksów; 5 – siatka zbrojeniowa $\Phi 6$ co 150 mm; 6 – warstwa ochronna z betonu monolitycznego lub torkretu grubości 8 cm; 7 – ocieplenie od zewnątrz styropianem grubości 6 cm wykonane metodą BSO; 7a – ocieplenie części podziemnej ściany do głębokości min. 100 cm z polistyrenu ekstrudowanego XPS gr. min. 5 cm + folia kubelkowa od zewnątrz; 8 – cokół z płytek ceramicznych o wysokości 60 cm; 9 – podkładka z materiału elastycznego (na bazie kauczuku – gumowa lub z polistyrenu ekstrudowanego)

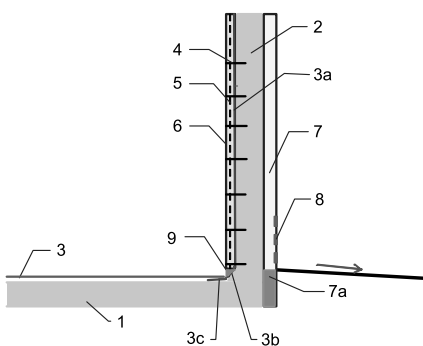


Fig. 2. A diagram of external wall protection in the chambers: 1 – foundation slab; 2 – the existing ferroconcrete wall; 3 – elastic waterproof and chemically resistant membrane, for example, MASTERSEAL 689; 3a – elastic waterproof and chemically resistant membrane, for example, MASTERSEAL 689, or elastic cement based waterproofing mortar, for example, Aquafin 2K; 3b – the 5 cm in diameter rounding; 3c – horizontal and vertical insulation connection overlapping by 20 cm; 4 – $\Phi 10$ reinforcing bars (4 bars in 1 m^2) fixed in the chamber walls; 5 – $\Phi 6$ mesh reinforcement every 150 mm; 6 – 8 cm thick monolithic concrete or shotcrete protective layer; 7 – 6 cm styrofoam insulation from the outside performed by BSO method; 7a – the insulation of the underground walls to the depth of minimum 100 cm with minimum 5 cm thick XPS extruded polystyrene + dimpled membrane from the outside; 8 – 60 cm high ceramic tile chamber base; 9 – elastic compound washer (rubber based or made of XPS extruded polystyrene).

Podsumowanie

Projektując konstrukcje żelbetowe o dużej szczelności, należy zwracać szczególną uwagę na obciążenia termiczne, które powinny być uwzględniane w obliczeniach łącznie ze skurczem betonu. Przeanalizowano przypadek nieprawidłowo zaprojektowanej konstrukcji komór żelbetowych, w której nie uwzględniono obciążeń termicznych oraz skurczowych, tymczasem gradient temperatury okazał się najważniejszym spośród wszystkich obciążeń. Gdy przekroje zbrojenia, konieczne do przeniesienia obciążenia termicznego oraz sił skurczowych okazują się duże, skutecznym sposobem redukcji tych obciążeń jest zastosowanie zewnętrznego ocieplenia, co prowadzi do ok. 2-krotnego zmniejszenia zbrojenia ścian.

Otrzymano 15.01.2015 r.

dr inż. arch. Małgorzata Rogińska-Niestuchowska¹⁾

Interaktywne fasady przeszklone w architekturze współczesnej (w kontekście zrównoważonego rozwoju)

Interactive glazed facades in contemporary architecture (in concept of sustainable development)

DOI: 10.15199/33.2015.05.16

(Artykuł przeglądowy)

Streszczenie. Artykuł dotyczy projektowania przeszklonych elewacji interaktywnych we współczesnej architekturze. Na podstawie wybranych przykładów przedstawiono współczesne rozwiązania oraz możliwe kierunki rozwoju przeszkleń elewacji budynków realizowanych w zgodzie z ideą zrównoważonego rozwoju. **Słowa kluczowe:** interaktywne fasady przeszklone, optymalizacja cyfrowa, architektura biomimetyczna.

Abstract. The paper deals with the issues of designing interactive glass facade in contemporary architecture. Based on the selected examples, current solutions and possible directions of development of glass facades are presented, in the buildings implemented in accordance with the concept of sustainable development. **Keywords:** interactive glazed facades, digital optimization, biomimetic architecture.

Wielkoformatowe, całkowicie przeszklone, przezroczyste fasady stały się niezbędnym elementem współczesnej architektury, przede wszystkim o funkcji komercyjnej. Wobec narastających zagrożeń ekologicznych oraz problemów światowej gospodarki energetycznej współczesna architektura została podporządkowana wysokim wymaganiom dotyczącym m.in. energooszczędności budynków. Niezbędne są więc nowe materiały, technologie i rozwiązania w budownictwie, które pozwolą spełnić surowe kryteria zrównoważonego rozwoju.

Biomimetyczny pierwowzór interaktywnej przeszklonej ściany osłonowej

Architektura biomimetyczna jest jednym z rozwijających się współcześnie trendów w projektowaniu. Wskazuje na analogie między budynkiem a żywym organizmem. Zjawiska na nim zachodzące porównuje do naturalnych procesów homeostazy. Tkanki osłonowe, jak skóra zwierząt czy kora drzewa, są źródłem inspiracji w projektowaniu eksperymentalnych fasad budynków. Starają się one naśladować takie naturalne procesy jak oddychanie czy wymiana gazo-

¹⁾ Politechnika Gdańska, Wydział Architektury; e-mail: maron@pg.gda.pl