



NAPRAWA I WZMOCNIENIE STROPU HALI ROZWŁÓKNIANIA POD NOWY CIĄG TECHNOLOGICZNY

TOMASZ BŁASZCZYŃSKI, *tomasz.blaszczynski@put.poznan.pl*

MICHAŁ BABIAK

PRZEMYSŁAW WIELENTEJCZYK

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska

Streszczenie: Artykuł przedstawia sposób naprawy i wzmocnienia monolitycznego stropu żelbetowego znajdującego się w hali rozwłókniania na terenie zakładu produkującego płyty wiórowe. Stan techniczny konstrukcji stropu ze względu na działające obciążenia dynamiczne, oddziaływania wysokiej temperatury oraz oddziaływania wilgotnościowe i chemiczne, wymagał gruntownej naprawy. Wizja lokalna ujawniła osłabienia elementów konstrukcyjnych, ich pęknięcia i wżery korozyjne. W pracy przedstawiono wyniki analizy statycznej i dynamicznej istniejącego stropu, które wykazały niezbędną potrzebę jego naprawy i wzmocnienia. Przedstawiono również rozwiązania techniczne, które można użyć do naprawy skorodowanej konstrukcji żelbetowej. Poddano także ocenie możliwości zwiększenia obciążenia konstrukcji stropu (montaż nowych urządzeń technologicznych) oraz zaproponowano sposób jego wzmocnienia.

Słowa kluczowe: korozja betonu, obciążenia dynamiczne, naprawa i wzmocnienie konstrukcji.

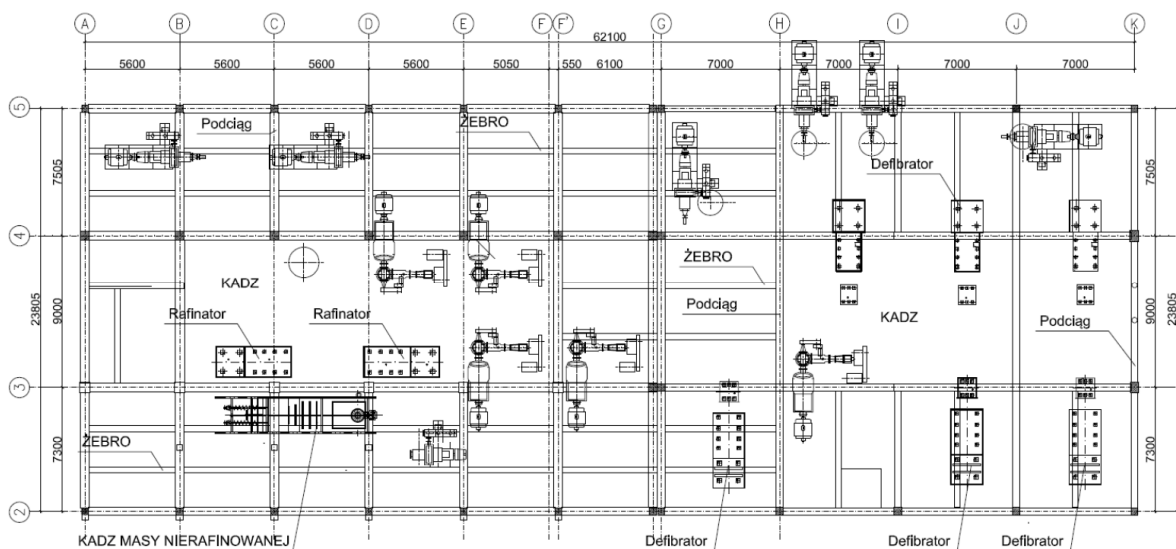
1. Wstęp

Przeprowadzenie naprawy danego obiektu lub konstrukcji, wymaga zróżnicowanego podejścia w zależności od rodzaju obiektu, jego wielkości i funkcji. Takie czy inne postępowanie naprawcze związane jest też ponadto z oddziaływaniem środowiskowa i przyjętym rozwiązaniem konstrukcyjnym. Jeżeli weźmie się pod uwagę, że beton jest produktem prostej technologii i złożonej wiedzy, która zaczyna być dopiero opanowywana, to trafne są prognozy, że wiek XXI może być dla budownictwa w dużej mierze wiekiem napraw [1, 2]. Stąd naprawy stały się problemem ogólnocywilizacyjnym, a mamy z nimi do czynienia zarówno w budownictwie ogólnym, jak i przemysłowym [3]. W budownictwie przemysłowym mamy do czynienia ze znacznie większą gamą obiektów, które ulegają uszkodzeniu i potrzebują naprawy. Największą grupą są różnego rodzaju budynki przemysłowe, od hal po konstrukcje inżynierskie. Szczególnie ważne jest to w przypadku zakładów o złożonych technologiach, gdzie mamy do czynienia z mieszanym środowiskiem korozyjnym [4, 5]. Kolejną grupą obiektów przemysłowych podlegających zniszczeniu są przemysłowe konstrukcje inżynierskie. Poważnym problemem w przypadku napraw tych konstrukcji jest ich znaczne zaolejenie [6], które często łączy się również z ich silnym zawilgoceniem, co prowadzi do powstania środowiska wodno-olejowego. W wyniku oddziaływania środowiska wodno-olejowego dochodzi tu dodatkowo do korozji biologicznej [7].

2. Informacje o obiekcie

Budynek został zaprojektowany, jako trójnawowa, dwukondygnacyjna hala o konstrukcji żelbetowej, szkieletowej (słupowo-ryglowej) z monolitycznymi żelbetowymi stropami (w układzie płytowo-żebrowym) oraz prefabrykowanym stropodachem (rys. 1). Okres budowy obiektu to lata 50. XX wieku. Główna konstrukcja nośna hali to trójnawowe ramy

żelbetowe o rozpiętości przęseł $7,30 \times 9,00 \times 7,50$ m. Osiowy rozstaw układów poprzecznych to 5,6 m lub 7,0 m. Wymiary geometryczne poszczególnych elementów wynoszą: słupy – 40×40 cm i 50×50 cm, podciąg – 100×40 cm, żebra – 80×30 cm oraz 90×40 cm, a grubość płyty stropowej to 20 cm. Ściany zewnętrzne budynku wykonano jako wypełniające, murowane z cegły ceramicznej na zaprawie cementowo – wapiennej. Hala połączona jest z przyległymi budynkami i stanowi wspólny ciąg technologiczny.



Rys. 1. Fragment stropu będący w zakresie analizy

3. Opis technologii i procesów niszczących

Warunki panujące w hali rozwłókniania są bardzo niekorzystne dla konstrukcji żelbetowych. Proces technologiczny zakłada wykorzystanie gorącej wody (o temperaturze 90°C), która mieszana jest z trocinami. Dewastację konstrukcji stropu potęgują wycieki żrących cieczy technologicznych z maszyn. Woda używana w procesie technologicznym (zalegająca i przeciekająca przez strop) doprowadza do rozpuszczenia składników betonu. Zawarte w wodzie jony siarczanowe, mogą reagować z wodorotlenkiem wapnia, co może prowadzić do procesu korozji siarczanowej. Wysoka temperatura powietrza i cieczy produkcyjnych oraz duża wilgotność panująca w hali rozwłókniania mogą przyspieszać i spotęgować ten proces korozyjny. W trakcie oględzin budynku nie stwierdzono jeszcze nadmiernych spękań betonu, które by wskazywały na zawansowany proces korozyjny. Prawdopodobnie duża ilość parafin zawartych w wodzie technologicznej, zwiększyła szczelność betonu i opóźniła ww. procesy. Ze względu na brak wentylacji i odpowiednich wyciągów powietrza, dochodzi do gromadzenia pary w budynku, która w dużej ilości skrapla się na stropodachu i opada, zwiększając zawilgocenie konstrukcji (rys. 2).

Konstrukcja stropu jest poddawana cyklicznym obciążeniom dynamicznym, wywołanym przez zamocowane na sztywno (bez jakiegokolwiek tłumienia) urządzenia (defibratory oraz rafinatory) o dużej mocy i masie. Zauważono, że zły stan techniczny maszyn potęgują drgania, które przenoszą się na konstrukcję budynku.



Rys. 2. Widoczna para wodna gromadząca się w hali rozwłókniania

4. Ocena stanu technicznego konstrukcji stropu

W trakcie przeprowadzonej wizji lokalnej wykonano inwentaryzację konstrukcyjną, przeprowadzono badania nieniszczące betonu, pobrano próbki wody technologicznej, wskazano punkty mocowania reperów geodezyjnych oraz wykonano dokumentację fotograficzną. Stwierdzono: zaniedbania eksploatacyjne obiektu (liczne spękania posadzki, ubytki otulin zbrojenia, nieszczelne przejścia instalacji, nadmierne drgania maszyn, liczne wycieki cieczy technologicznych) oraz naloty poprodukcyjne pokrywające elementy konstrukcyjne. Oczyszczenie powierzchni wykazało: lokalne ubytki otuliny zbrojenia płyty stropowej i podciągów (rys. 3), korozję betonu i zbrojenia (rys. 4), znaczące zawilgocenia płyty stropowej (rys. 5 i 6), zarysowania i pęknięcia belek.



Rys. 3. Widoczne ubytki otuliny spowodowane odkuciem, w celu podwieszenia instalacji



Rys. 4. Ubytek otuliny, widoczne zbrojenie nośne i strefa głębokiej penetracji korozji



Rys. 5. Zawilgocenie płyty stropowej i żebra



Rys. 6. Zawilgocenia i pęknięcia płyty stropowej (widoczne blachy kotew mocujących)



Rys. 7. Widoczne zarysowania jednego z podciągów

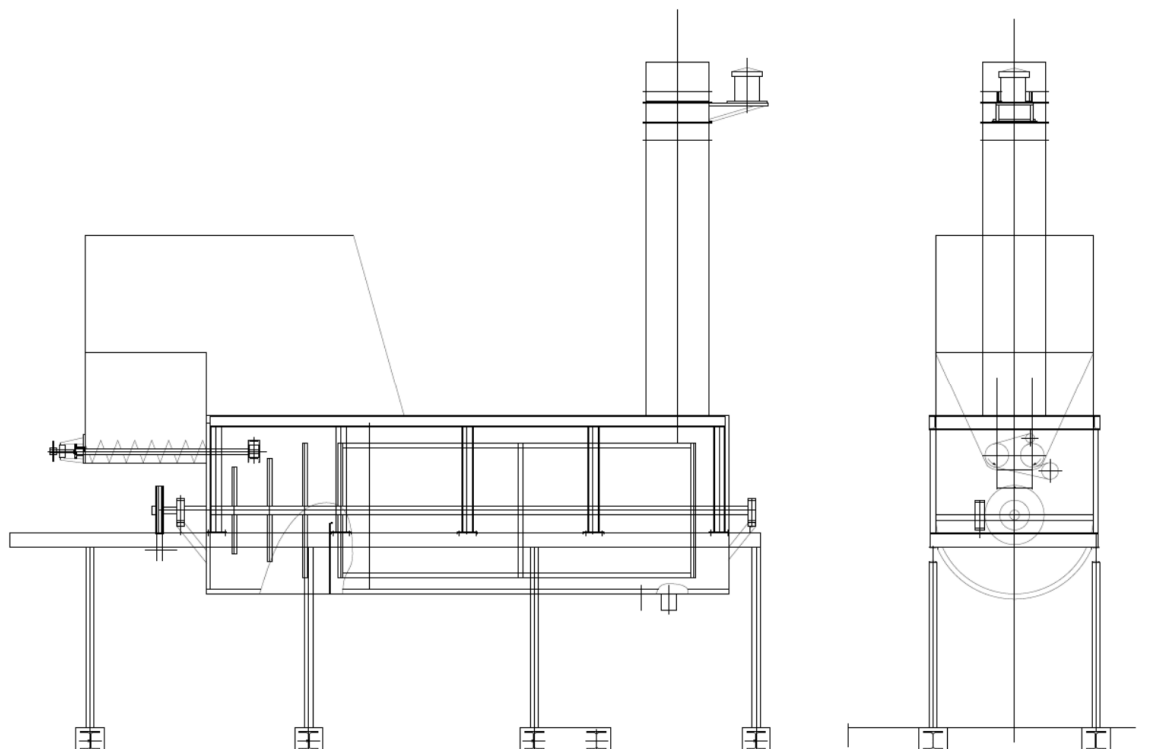
Mimo widocznych uszkodzeń należy podkreślić, że stan ogólny stropu pod względem technicznym i uszkodzeń korozyjnych, można uznać za dostateczny. Konstrukcja nie wykazuje widocznych nadmiernych spękań i ugięć, które mogłyby świadczyć o ewentualnym przeciążeniu lub stanie awaryjnym. Wyjątek stanowią dwa podciągi z lokalnymi rysami (rys. 7). Nie zagrażają one bezpieczeństwu budynku, gdyż zostały podparte słupami stalowymi i proces poszerzania się rys został powstrzymany. W złym stanie technicznym są fragmenty płyt żelbetonowych stropu pomiędzy żebrami i podciągami. Naruszona jest nie tylko otulina zbrojenia, ale także wyraźnie skorodowało zbrojenie płyty. W wielu miejscach widoczne są rysy oraz spękania. Podciągi i żebra lokalnie wymagają naprawy, gdyż nieprawidłowy sposób mocowania instalacji doprowadził do zniszczenia otuliny. W kilku miejscach w belkach wykonano otwory, w celu przeprowadzenia instalacji, mimo to nie obserwuje się zarysowań w tych strefach. W miejscach oparcia maszyn stropy wykazują nadmierne drgania, które są wyraźnie wyczuwalne podczas pracy tych urządzeń.

5. Analiza statyczna i dynamiczna analizowanego fragmentu budynku

Zebrana dokumentacja techniczna, inwentaryzacja konstrukcyjna oraz wyniki badań nieniszczących betonu umożliwiły wykonanie obliczeń statycznych i dynamicznych konstrukcji. Analiza wyników badań wykazała, że płyta stropowa wraz z podciągami i żebrami została zaprojektowana i wykonana prawidłowo. W wyniku zużycia technicznego i cyklicznych oddziaływań dynamicznych, sztywność oraz częstość drgań własnych stropu uległa zmniejszeniu. Szczególnie narażone na oddziaływania dynamiczne były płyty stropowe osłabione korozją. Częstotliwość wymuszenia maszyn określono na ok 16 Hz i była ona porównywalna z częstotliwością drgań własnych stropów, co również potwierdziły obliczenia dynamiczne stropu. Podczas pracy maszyn, mogło zachodzić zjawisko rezonansu. Duża ilość urządzeń o różnej charakterystyce dynamicznej oraz wysokie tłumienie masowe stropu powodowały wygaszanie drgań. Należy również zwrócić uwagę, że zainstalowane urządzenia mogły pracować w zgodnych fazach (nakładanie się fal), co mogło doprowadzać do nasilenia się drgań. W wyniku przeprowadzonych analiz ustalono, że konstrukcja stropu nadaje się do dalszej eksploatacji pod warunkiem przeprowadzenia robót naprawczych.

6. Nowe obciążenia technologiczne stropu

Dodatkowo inwestor zaproponował modernizację ciągu technologicznego hali rozwłókania, która polegała na montażu zespołu nowych urządzeń takich jak: kadz masy nierafinowanej (rys. 8), 6 sztuk defibratorów oraz 2 sztuki rafinatorów.



Rys. 8. Kadz masy rafinowanej wraz z konstrukcją wsporczą

Lokalizacja nowych maszyn i obciążenia, pochodzące od nich, zostały podane w projekcie branżowym modernizacji i wynosiły odpowiednio: kadz masy nierafinowanej – 30 000 kg, defibrator – 11 200 kg (w tym masa wirująca 1 900 kg) oraz rafinator – 11 100 kg (w tym masa wirująca 1 500 kg). W celu określenia wpływu nowych obciążeń na konstrukcję budynku przeprowadzono analizy statyczno-dynamiczne (wykorzystując program komputerowy Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014). W obliczeniach uwzględniono obciążenia statyczne i dynamiczne wywołane oddziaływaniem maszyn oraz uwzględniono dodatkowo oddziaływania termiczne. Analiza wyników badań wykazała, że konstrukcja stropu (płyta stropowa, podciąg i słupy) wymagają wzmocnienia, a także wskazane jest zwiększenie masy oraz sztywności elementów. Zgodnie z założeniami projektowymi wprowadzone zmiany i rozwiązania konstrukcyjne, w postaci wzmocnień, powinny przenieść w bezpieczny sposób nowe obciążenia technologiczne, zminimalizować drgania stropu oraz drgania przenoszone na pozostałą konstrukcję budynku.

7. Propozycje naprawczo-wzmocnieniowe

Prace naprawczo-wzmocnieniowe zostały podzielone na trzy etapy: pierwszy – prace przygotowawcze, drugi – prace naprawcze i trzeci – prace wzmocnieniowe. W ramach prac przygotowawczych zalecono: wykonanie serwisu maszyn technologicznych (wyeliminowanie

drgań oraz wycieków), oczyszczenie konstrukcji z nalotów poprodukcyjnych (przez szczotkowanie, piaskowanie lub hydropiaskowanie) oraz ich staranne osuszenie. W celu przeprowadzenia naprawy elementów konstrukcyjnych zlecono wykonanie iniekcji ciśnieniowych zarysowań w elementach konstrukcyjnych, za pomocą żywic epoksydowych oraz uzupełnienie brakujących warstw otuliny przy pomocy zapraw naprawczych. Zaproponowano materiały naprawcze odporne na warunki panujące w zakładzie, czyli wysoką temperaturę oraz wilgotność, kwaśną wodę (wskaźnik $\text{pH} < 4$) oraz jony siarczanowe. Zgodnie z zaleceniami normy (PN-EN 206-1) naprawiona konstrukcja winna spełniać wysokie wymagania dla klasy ekspozycji XA3. Do naprawy zaproponowano zestaw naprawczy na bazie jednego z powszechnie stosowanych systemów naprawczych, np.: CERESIT PCC, SIKAPCC, SCHOMBURG INDUTEC, itp.

Utrudnieniem w przyjęciu odpowiedniego rozwiązania naprawczego była konieczność prowadzenia prac budowlanych w zakładzie, w który odbywa się ciągła produkcja (7 dni w tygodniu, 24h/dobę). Pierwotnie projekt zakładał wzmocnienie wszystkich elementów konstrukcji stropu (płyty, żebra, podciągi) przez zwiększenie ich przekroju oraz dodanie odpowiedniego nowego zbrojenia konstrukcyjnego. Dodane zbrojenie w postaci siatek i prętów prostych miało być kotwione na klej, naprzemiennie w równoległych ścianach kadzi i podciągach. W celu uzyskania ciągłości zbrojenia oraz zapobiegania rozwarstwieniu starego i nowego betonu zaprojektowano otwarte strzemiona wklejane od spodu do płyty żelbetowej stropu. W trakcie obliczeń założono, że istniejąca konstrukcja pokryta nową warstwą betonu (z nowym zbrojeniem) będzie tworzyć element monolityczny o nowych parametrach wytrzymałościowych. Było to rozwiązanie najoptymalniejsze pod względem kosztowym i logistycznym.

Niestety brak możliwości demontażu lub przebudowy instalacji technologicznej (rurociągi, kanały kablowe itp.), nieustające drgania konstrukcji (negatywnie wpływające na procesy wiązania betonu), wysokie zapylenie oraz brak stosownej wentylacji, zmusiły do zaproponowania rozwiązania zastępczego – eliminującego roboty „mokre”. Nowy sposób wzmocnienia konstrukcji polegał na montażu pełnościennych elementów stalowych [8, 9]. Było to rozwiązanie znacznie droższe i trudniejsze logistycznie (ograniczona przestrzeń montażowa, która wmusza ręczny transport i montaż elementów). Jednakże w aktualnej sytuacji jedyne możliwe do zrealizowania.

Do obliczeń przyjęto, że projektowana konstrukcja stalowa w całości przeniesie nowe obciążenia technologiczne stropu. Projekt wzmocnienia konstrukcji zakładał wykonanie stalowych ram w osiach głównych (podpierających podciągi) – rys. 9, rusztu stalowego (mocowanego na kotwy wklejane do płyty stropowej) – rys. 10 oraz wzmocnienia słupów żelbetowych (przez 4 kątowniki równoramienne $150 \times 150 \times 12$) – rys. 11.



Rys. 9. Stalowa rama w osi głównej (podpierająca podciąg)

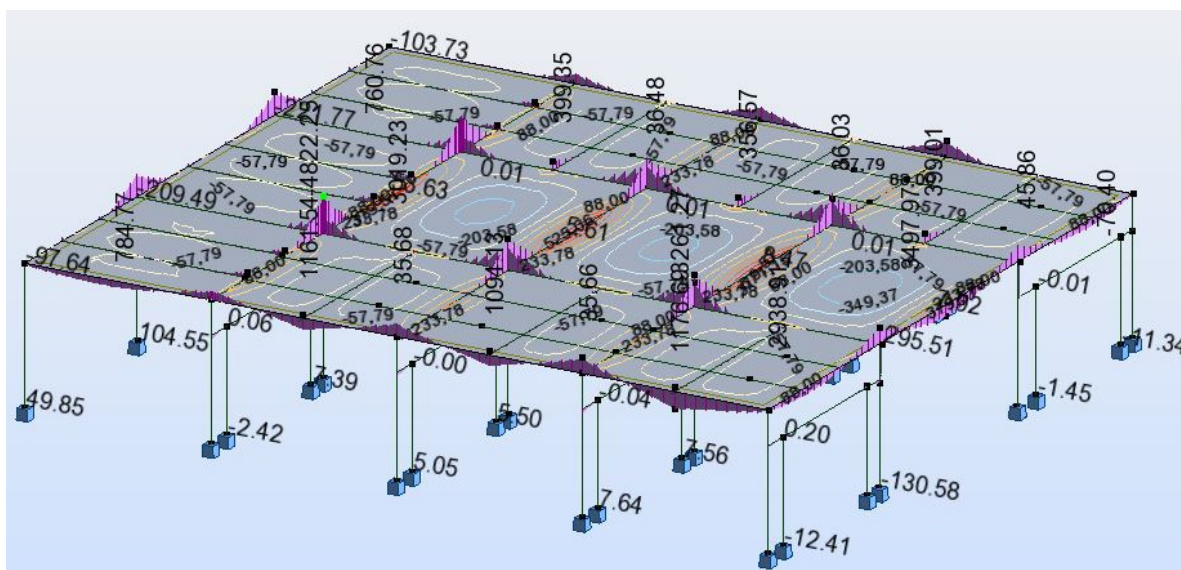


Rys. 10. Ruszt stalowy wykonany z dwuteowników hutniczych IPE 200



Rys. 11. Stalowa rama w osi głównej konstrukcji (podpierająca podciąg) z widocznymi wzmocnieniami słupów żelbetowych

W związku z tym przeprowadzono nowe analizy statyczno-dynamiczne, uwzględniając przy tym wszystkie elementy wzmocnień (rys. 12).



Rys. 12. Rozkład sił i momentów dla układu konstrukcyjnego wzmocnionego ramami stalowymi (model obliczeniowy w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014)

Przeprowadzone analizy potwierdziły trafność dobranych rozwiązań wzmacniających, zarówno pod względem przyjętych układów konstrukcyjnych, jak i zastosowanych przekrojów.

8. Podsumowanie i wnioski

Konstrukcja stropu hali rozwłóknienia w wyniku zużycia i doznanych uszkodzeń spowodowanych oddziaływaniem środowiska korozyjnego była w bardzo złym stanie technicznym.

Zaniechanie przez właściciela sukcesywnych konserwacji doprowadziła do stanu przedawaryjnego konstrukcji. Dużym zagrożeniem dla bezpieczeństwa budynku były duże drgania wywołane przez pracujące urządzenia. Doprowadziły one do lokalnego zmęczenia materiału i przyspieszały zużycie techniczne obiektu. W celu zabezpieczenia budynku zalecono szereg prac naprawczych oraz wzmacniających konstrukcję.

Ważnym jest, aby wybierając sposób wzmocnienia konstrukcji dokładnie przeanalizować nie tylko stan tej konstrukcji, działającą na nią obciążenia, ekonomikę rozwiązań wzmacniających i logistykę realizacji tych prac, ale przede wszystkim warunki panujące w miejscu prowadzenia prac (możliwość demontażu instalacji, dostępną przestrzeń manewrową, wilgotność i temperaturę powietrza). Warunki te mogą wynikać z preferencji inwestora i nie możliwości zatrzymania niektórych procesów produkcyjnych, co w efekcie finalnym może się dla inwestora okazać korzystniejsze.

Literatura

1. Kucharska L. Katastrofy, awarie i uszkodzenia, a beton i jego rozwój. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, t. 3, 2001, s. 89–18.
2. Jamróży Z. Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
3. Czarnecki L. Dobór materiałów do napraw konstrukcji żelbetowych – kryterium kompatybilności. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”. Szczecin-Międzyzdroje, t. 3, 2001, s. 145–167.
4. Błaszczyński T., Zgoła B.: Stan awaryjny konstrukcji żelbetowej poddanej oddziaływaniu mieszanego środowiska korozyjnego. Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”. Szczecin-Międzyzdroje, 1997, s. 355–361.
5. Błaszczyński T., Łowińska-Kluge A. Corrosion behaviour of zinc, galvanized, mild steel in water-concrete environment. Corrosion, Nr 11/2007, s. 1063–1069.
6. Błaszczyński T. The influence of crude oil product on RC structure destruction. Journal of Civil Engineering and Management, vol. 17, Nr 1/2011, s. 146–156.
7. Błaszczyński M., Błaszczyński. Trwałość konstrukcji żelbetowych poddanych oddziaływaniu produktów ropopochodnych. w Trwałość budynków i budowli, red. T. Błaszczyński, DWE, Wrocław, 2012, s. 45–60.
8. Runkiewicz L. Wzmocnianie Konstrukcji żelbetowych. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2011.
9. Masłowski E., Spiżewska D. Wzmocnianie konstrukcji budowlanych. Warszawa, 2000.

THE REPAIR AND STRENGTHENING OF FLOOR IN THE HALL OF DEFIBERING UNDER THE NEW TECHNOLOGICAL RUN

Abstract: The article introduces the way of repair and strengthening of monolithic RC floor being found in the defibering hall at the chipboards factory. The structural technical state of analyse floor regard to dynamic loads, influences of high temperature and humidity and chemical influences, demanded the major repair works. During visiting weaknesses of structural members, their cracks and corrosive damage was found. Paper presented results of static and dynamic analysis of the existing floor, which showed necessary need of its repair. Also technical solutions, which can be used to repair of corroded structure, were introduced. The estimation of the possibility of the loading enlargement of analyse floor showed necessity of its strengthening.

Keywords: concrete corrosion, dynamic loading, repair and structural strengthening.