

Grzegorz Słowek*
Jacek Ścigałło*

Analiza uszkodzeń i diagnostyka konstrukcji realizowanego budynku mieszkalnego

Damage analysis and diagnostics of the structure of a residential building under construction

1. Wprowadzenie

Szczególnym przypadkiem, jaki może zaistnieć na etapie realizacji konstrukcji, który ma istotny wpływ na zagrożenie awaryjne realizowanych obiektów, są sytuacje wyjątkowe.

Istotne jest tutaj ustalenie przyczyn, które doprowadziły do powstania zagrożeń oraz ocena możliwości ich skutecznego wyeliminowania. W ocenie każdej sytuacji awaryjnej bardzo ważnym zagadnieniem jest umiejętność przewidywania zachowań konstrukcji podczas jej użytkowania. Jednak nie wszyscy projektanci i eksperci, na co zwrócono w pracy [1], przywiązują dostateczną uwagę do tego, aby przewidywać przyszłe zachowanie się konstrukcji. Często ograniczają się oni tylko do określenia stanu konstrukcji w momencie ukończenia budowy. Należy jednak zauważyć, że nie da się w sposób absolutnie pewny przewidzieć zachowania się danej konstrukcji w przewidywanym okresie jej eksploatacji. Przyjęcie optymalnej decyzji, dotyczącej sposobu i zakresu wykonania naprawy, wymaga przeprowadzenia wielu analiz i ocen, szczególnie, gdy dotyczy to uszkodzeń konstrukcji obiektu, jakie zaistniały podczas realizacji inwestycji.

W referacie przedstawiono problemy związane z wystąpieniem stanu awaryjnego konstrukcji stropu żelbetowego nad garażem podziemnym, w wielorodzinnym budynku mieszkalnym, wykonywanym w wydzielonym, rewitalizowanym obszarze zabudowy miejskiej. W pracy wskazano na przyczyny powstałych zagrożeń bezpieczeństwa – błędne założenia projektowe a także błędy wykonawcze,

1. Introduction

Exceptional situations are a special case which may occur during a construction process and have a significant influence on a failure hazard of structures under construction.

It is an essential issue to find reasons, which led to occurring of the danger and an assessment of possibilities to eliminate them efficiently. At the assessment stage for each failure case foreseeing of a structure behaviour during its service is very important. However, not all designers and experts pay enough attention to foresee the future behaviour of structures, what was pointed out in [1]. They usually restrict themselves only to a determination of the structure state at the end of the construction process. However, it must be noticed, that the foreseeing the structure behaviour during the service stage cannot be done with an absolute certainty. Taking an optimal decision concerning methods and a scope of repair works requires several analyses and assessments, especially if it concerns damages of a structure, which occurred during its construction period.

In this paper problems related to a failure state of a structure of a reinforced concrete ceiling over a subterranean car-park in a multi-family residential house constructed in a detached revitalised zone of urban building are addressed. The reasons for a safety hazard were pointed out. They include erroneous design assumptions and construction errors, which increased damage to the structure under construction. In the final conclu-

które znaczne spotęgowały uszkodzenia realizowanej konstrukcji. We wnioskach końcowych podano zalecenia wykonawcze, uwzględniające optymalny sposób naprawy nie tylko ze względów ekonomicznych, ale także zapewniający prawidłowe i bezpieczne użytkowanie realizowanego obiektu.

2. Charakterystyka konstrukcyjna obiektu

Analizowany w pracy obiekt przedstawiono na rys.1. Realizację pierwszych 2 budynków, należących do zespołu mieszkalnego obejmującego cztery pięciokondygnacyjne budynki mieszkalne, rozpoczęto w czerwcu 2007 roku. Wszystkie budynki są w pełni podpiwniczone i posiadają wspólną halę garażową z zewnętrznymi pochylniami wjazdowymi. Hala garażowa konstrukcyjnie została podzielona na trzy części połączone komunikacyjnie: dwie części zewnętrzne obejmujące swym zasięgiem po 2 budynki mieszkalne oraz 1 podwórzowa część wewnętrzna, w której zlokalizowano rampy wjazdowe (rys. 2) do hali garażowej.



Rys. 1. Wizualizacja projektowanego obiektu
Fig. 1. Visualization of realized building

Ściany garażowe oraz ściany wewnętrznych trzonów komunikacyjnych zaprojektowano i częściowo już wykonano jako żelbetowe, monolityczne, grubości 0,25 m. Stropy kondygnacji nadziemnych zaprojektowano jako żelbetowe stropy monolityczne w układzie słupowo płytowym z lokalnymi podparciami liniowymi na ścianach wewnętrznych trzonów komunikacyjnych. Strop nad piwnicą/garażem (rys.3) zaprojektowano jako strop płaski o stałej grubości 0,25 m, bez jego pogrubienia w obszarach głowico-

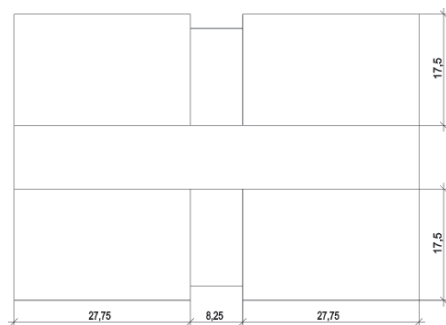
sions some construction recommendations were given, which take into account a repair method, which is optimal not only from the economic point of view but also from the point of proper and safe service of the structure.

2. Structural description of the object

The structure analysed in this paper is presented in fig. 1. Construction of the first two buildings belonging to the set of four five-storey residential buildings commenced in June 2007. All the buildings have basements and a common car-park hall with external entry ramps. The car-park hall was structurally divided into three connected parts: two external ones with two buildings in their range and one internal courtyard part with the entry ramps (fig. 2).

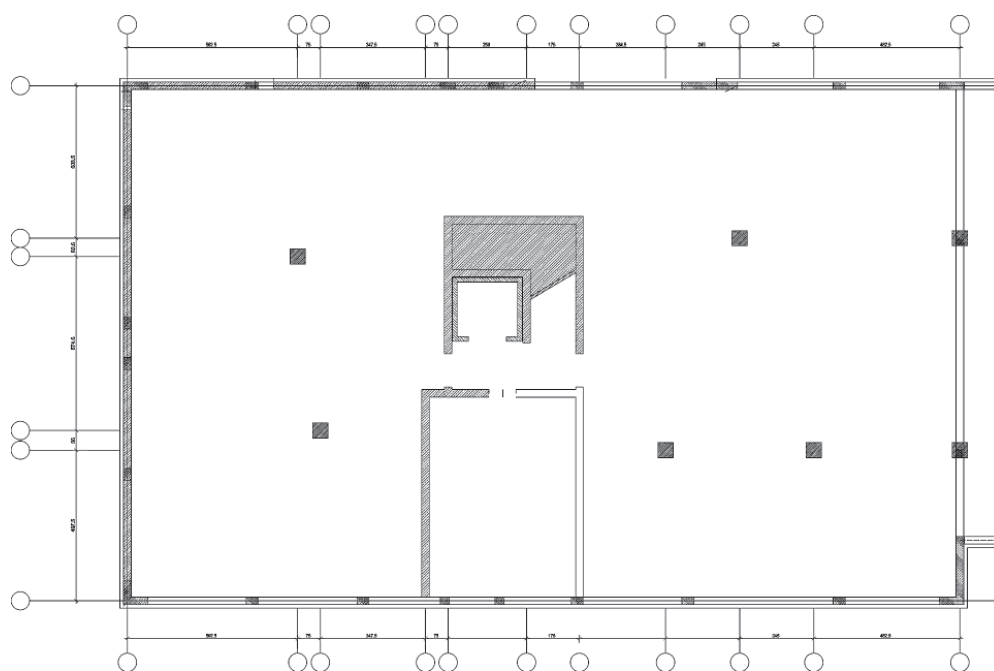
Garage walls and walls of internal transport shafts were designed and partially finished as monolithic reinforced concrete ones with 0.25 m thickness. Ceilings of overground storeys were designed as reinforced concrete monolithic ones in a column-slab system with local linear supports on walls of the internal transport shafts. Ceiling over the basement was designed as a flat one with a constant thickness of 0.25 m without tapering at column capital zones. The ceiling is supported by: external

wych. Podporami stropu są: zewnętrzne żelbetowe, monolityczne ściany piwnic grubości 0,25 m, wewnętrzne ściany centralnie zlokalizowanego trzonu komunikacyjnego grubości 0,25 m oraz wewnętrzne słupy o przekroju $0,50 \times 0,50$ m. Połączenie płyty stropowej z zewnętrznymi ścianami piwnic w znacznym stopniu utrudniały swobodę przemieszczeń monolitycznej płyty stropowej. Rozstaw słupów ze względów architektonicznych został zróżnicowany i nie tworzy regularnej siatki ortogonalnej. Słupy połączone sztywno z płytami stropowymi oraz z monolitycznymi stopami fundamentowymi o wymiarach $3,00 \times 3,00 \times 0,60$ m. Zewnętrzne ściany kondygnacji nadziemnych zaprojektowano jako murowane grubości 0,25 m, bez dodatkowych trzpieni usztywniających. Stropodach zaprojektowano jako drewniany, pokryty dachówką ceramiczną.



Rys. 2. Rzut projektowanego obiektu
Fig. 2. Building plan

monolithic reinforced concrete basement walls of 0.25 m thickness, internal walls of the centrally located transport shaft of 0.25 m thickness and internal columns of 0.5×0.5 m cross-section. A joint between the ceiling slab and the external walls of the basement restrained to a great extent a freedom of displacements of the monolithic ceiling slab. Due to architectural reasons the columns spacing is differentiated and they do not form a regular orthogonal mesh. The columns are rigidly connected to the ceiling and to monolithic pad foundations of $3.00 \times 3.00 \times 0.60$ m dimensions. The external walls of the overground storeys are made of 0.25 m thick masonry without additional stiffening. The roof was designed as wooden, covered with ceramic tiles.



Rys. 3. Rzut stropu nad piwnicą/garażem
Fig. 3. Plan of the floor over garage

3. Uszkodzenia zrealizowanej konstrukcji stropu nad piwnicą

Badania makroskopowe wykonanego stropu przeprowadzono po upływie 62 dni od daty wykonania betonowania. Płyta stropowa wykazywała liczne zarysowania i spękania powierzchni. Układ uszkodzeń był nieregularny, wielokierunkowy i w większości przypadków obejmował całą grubość płyty stropowej.

3. Damage of the finished structure of the ceiling over the basement

Macroscopic investigation of the finished ceiling was carried out 62 days after concrete casting. The slab exhibited numerous scratches and cracks on the surface. The layout of the damage was irregular, multi-directional and in the majority of cases the cracks propagated across the entire slab depth.



Rys. 4. Układ rys na górnej płaszczyźnie stropu
Fig. 4. Cracks on the upper floor area



Rys. 5. Widok rozwiniętej rysy o układzie wielokierunkowym
Fig. 5. Cracks on the bottom floor area



Rys. 6. Odwierty ze stropu – widoczny przebieg rys na grubości płyty stropowej
Fig. 6. Test elements from floor – cracks on the depth of floor

Stwierdzono również zarysowania zlokalizowane tylko z jednej strony płyty i to zarówno na płaszczyźnie górnej jak i dolnej płyty stropowej (rys. 4 i 5). W celu ustalenia przebiegu rys na grubości stropu wykonano w losowo wybranych miejscach spekania obszarów stropu odwierty rdzeniowe, pobierając próbki o średnicy 150 mm (rys.6).

Przeprowadzono również badania wytrzymałości betonu na ściskanie na próbkach kostkowych 15/15/15 cm, jakimi dysponował wykonawca. Beton badano w wieku 62 i 69 dni, a wyniki badań opracowano zgodnie z PN-EN 206-1:2003 [6]. Przeprowadzone badania wykazały, że beton kwalifikuje się do klasy C20/25 (B25).

Określono także szacunkowo skład stwardniałego betonu – zawartość cementu wynosiła 285 kg/m³. Według receptury użyto cement popiołowy CEM II/B-V 32,5R w ilości 270 kg/m³ oraz zastosowano jako dodatek popiół lotny w ilości 80 kg/1 m³ suchych składników mieszanki betonowej.

4. Uwagi do wykonawczego projektu konstrukcyjnego

Obliczenia statyczne – wytrzymałościowe wykonane przez projektanta konstrukcji zostały oparte na znanej z literatury [5], uproszczonej metodzie zastępczych ram wydzielonych. W analizowanym przypadku stropu płaskiego z nieortogonalną siatką słupów metoda ta nie powinna mieć zastosowania praktycznego. Ponadto sposób wydzielenia ram zastępczych oraz przyjęty sposób rozdziału otrzymanych wartości sił wewnętrznych doprowadziły do wyników znacznie odbiegających od rzeczywistości zarówno w sensie ilościowym jak i jakościowym. Dodatkowo w projekcie konstrukcyjnym nie przeprowadzono analizy minimalnego pola przekroju zbrojenia, niezbędnego dla ograniczenia szerokości rys na skutek odkształceń wymuszonych [4, 8], co przy znacznych ograniczeniach przemieszczeń wynikających z połączenia stropu z zewnętrznymi ścianami monolitycznymi musiało spotęgować niekorzystne zjawisko skurczu. Ogólnie można ocenić, że przyjęta przez projektanta metoda obliczeń i rozdziału otrzymanych wartości, doprowadziła do znacznego przeszywnienia bardzo wąskich pasm bezpośrednio nad słupami, z jednoczesnym niedozbrojeniem a wręcz z całkowitym brakiem zbrojenia obszarów przęsłowych stropu.

Oprócz powyższych błędów projektowych, wynikających z przyjętej metodyki obliczeń, autor wykonawczego projektu konstrukcyjnego przyjął niedoszacowane wartości obciążeń powierzchniowych stropu i to zarówno obciążeń stałych jak i zmiennych.

Some other cracks were also found on one side of the slab only – both on the upper and the lower surface (figs. 4 and 5). In order to check a development of the cracks across the slab some randomly selected cracked zones were bored and specimens of 150mm diameter were prepared (fig. 6).

Testing of the compressive strength of concrete was also carried out using cubic specimens of 15×15×15cm dimensions provided by the contractor. The concrete was tested at the age of 62 and 69 days and the results were postprocessed according to the code PN-EN 206-1:2003 [6]. The tests showed, that the concrete belonged to the class C20/25 (B25).

The concrete mix for the set concrete was also estimated and the cement content of 285 kg/m³ was determined. According to the design 270 kg/m³ of the ash cement CEM II/B-V 32,5R was used with 80 kg of a fly ash as an additive to 1 m³ of dry components of the concrete mix.

4. Remarks on the contractual design of the structure

The static and strength calculations carried out by the designer were based on a simplified method of modified detached frames, known from the literature [5]. In the analysed case of the flat ceiling with non-orthogonal mesh of columns this method should not be practically applied. Besides, the way to detach the modified frames and the adopted method of distribution of internal forces led to results significantly different from the real ones, both quantitatively and qualitatively. Additionally, in the structural design no provision was taken to assess the minimal reinforcement cross-section to limit the cracks due to forced deformations [4, 8]. This fact, combined with a notable restraining of displacements due to the type of connection between the ceiling and the external monolithic walls, increased the undesirable shrinkage. Generally speaking, the calculation and results distribution methods adopted by the designer led to a significant overstiffening of very thin strips directly over the columns with a simultaneous under reinforcement or complete lack of rebars in span zones of the ceiling.

Beside the above mentioned design errors resulting from the adopted calculation methodology the author of the contractual design of the structure assumed underestimated loading of the slab surface, both dead and imposed. Some other errors were committed in a transformation of knife-edge and concentrated loads into loads uniformly distributed over the slab surface.

Ponadto zostały popełnione błędy przy zamianie obciążeń o charakterze liniowym i skupionym na obciążenia zastępcze równomiernie rozłożone na powierzchni stropu.

Sprawdzające, eksperckie obliczenia statyczno – wytrzymałościowe wykonano komputerowo przy wykorzystaniu programu ABC PŁYTA [6, 9]. Wartości obciążeń powierzchniowych, liniowych i skupionych ustalono na podstawie układu warstw stropowych oraz lokalizacji obciążeń podanych w wykonawczym projekcie architektonicznym a także na podstawie przeznaczenia poszczególnych powierzchni użytkowych stropu. Mając na uwadze małe wartości zmiennych obciążeń użytkowych w stosunku do ciężaru własnego konstrukcji i przyjętych obciążeń stałych stropu, ustalono tylko trzy schematy obciążeń: obciążenia stałe (schemat 1) oraz dwa schematy obciążeń użytkowych ułożonych w tzw. szachownicę w polach parzystych (schemat 2) i nieparzystych (schemat 3). Przeprowadzone sprawdzające obliczenia statyczno – wytrzymałościowe stropu nad garażem potwierdziły, że zastosowane przez projektanta projektu wykonawczego konstrukcji obiektu zbrojenie zostało niepoprawnie obliczone i dodatkowo niewłaściwie rozmieszczone na powierzchni stropu.

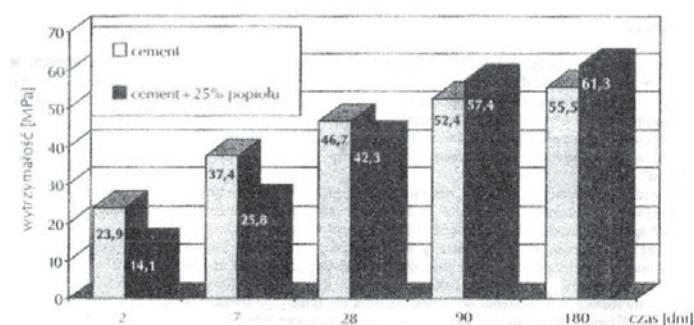
5. Analiza wyników badań i obliczeń

Na podstawie przeprowadzonych badań makroskopowych stropu połączonych z analizą składu zastosowanej mieszanki betonowej oraz na podstawie sprawdzających obliczeń statyczno – wytrzymałościowych stropu, w połączeniu z analizą bazowego wykonawczego projektu konstrukcyjnego, stwierdzono, że bezpośrednią przyczyną zaistniałego stanu awaryjnego były przede wszystkim błędy projektowe, na które w mniejszym stopniu nałożyły się błędy technologiczne i wykonawcze.

The expert verifying static and strength calculations were carried out using the computer program ABC PŁYTA [6, 9]. Values of surface, knife-edge and concentrated loads were determined from the layout of ceiling cross-sections and positioning of loads in the contractual architectural design as well as from a functional designation of subsequent areas of the ceiling. Taking into account small values of the imposed loading in relation to the dead weight and assumed constant loading, just three loading combinations were considered: the dead load (combination 1) and two combinations of the imposed loads with a checkboard layout for even (combination 2) and odd fields (combination 3). The verifying calculations carried out confirmed the fact, that the reinforcement of the ceiling slab over the car-park determined by the author of the contractual structural design was both wrongly estimated and located over the ceiling surface.

5. Analysis of results from tests and calculations

Considering the macroscopic investigation of the ceiling including the concrete mix assessment and the verifying static and strength calculations of the ceiling with the analysis of the contractual structural design it was concluded, that the direct reasons for the failure state were the errors in the design combined with a smaller influence of the technology and workmanship errors.



Rys. 7. Zmiany wytrzymałości w czasie dla cementów CEM I 32,5 R oraz CEM II/B-V 32,5 R [1]
Fig. 7. Change of stress for cements CEM I 32,5 R and CEM II/B-V 32,5 R [1]

Błędy technologiczne popełnione zostały przy projektowaniu mieszanki betonowej, w której zastosowano oprócz cementu popiołowego CEM II/B-V 32,5R w ilości 270 kg/m³ dodatki popiołu lotne

The technological errors occurred at the design stage of the concrete mix, where beside 270 kg/m³ of the ash cement CEM II/B-V 32,5R also 80 kg/m³ of a fly ash as an additive were used.

go w ilości 80 kg/m³. Wykorzystanie odpadów: żużli i popiołów jako dodatków do produkcji [2, 3] powoduje zmniejszenie nakładów energetycznych i ogranicza emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Z drugiej strony, cementy powszechnego użytku z dodatkami mineralnymi wykazują korzystne właściwości i mają zwiększoną odporność na agresję chemiczną. Istnieje jednak pewne zagrożenie, gdyż są to spoiwa wolnowiążące, zatem ich obniżona wytrzymałość w początkowym okresie twardnienia wpływa na rozwój zarysowań, które decydują o trwałości konstrukcji żelbetowych – rys. 7.

Błędy projektowe popełniono na wszystkich możliwych etapach realizacji procesu projektowego inwestycji, począwszy od przyjętych założeń, poprzez zastosowaną metodę obliczeń a na konstruowaniu zbrojenia stropu kończąc. Natomiast błędy technologiczne popełnione na etapie założeń przyjętej receptury mieszanki betonowej oraz błędy wykonawcze popełnione podczas pielęgnacji zabetonowanej powierzchni stropowej w znacznej mierze spotęgowały błędy projektowe.

Do podstawowych błędów projektowych popełnionych w konstrukcyjnym projekcie wykonawczym analizowanego obiektu należy zaliczyć:

- zaniżone wartości obciążeń stałych i zmiennych oraz błędy w przyjętym charakterze i rodzaju działania obciążeń,
- zastosowaną metodę obliczeniową wydzielonych ram zastępczych nie oddającą rzeczywistego charakteru pracy konstrukcji stropu opartego na wewnętrznych, nie ortogonalnie zlokalizowanych słupach żelbetowych,
- niewłaściwy rozdział, otrzymanych w metodzie ram wydzielonych, wartości sił wewnętrznych, a co za tym idzie nieprawidłowe rozmieszczenie zbrojenia: znaczne przeszywnienia obszarów głowicowych, których zbrojenie w zasadzie ograniczono do obszarów zlokalizowanych bezpośrednio nad słupem kosztem pozostałych obszarów stropowych,
- brak analizy minimalnego pola przekroju zbrojenia niezbędnego dla ograniczenia szerokości rys na skutek odkształceń wymuszonych, co przy znacznych ograniczeniach swobody przemieszczeń płyty stropowej wynikających z połączenia stropu z zewnętrznymi ścianami monolitycznymi, w znacznej mierze spotęgowało niekorzystne zjawisko skurczu,
- wykonstruowanie zbrojenia górnego w postaci prętów odgiętych, które skoncentrowano w obszarach bezpośrednio nad słupami, nie obejmując swym zasięgiem nawet całego obszaru przebiecia,
- brak analizy stanu granicznego użytkowalności.

Utilization of by-products like slags and ashes as additives in production [2, 3] leads to a reduction of the energy consumption and the emission of the carbon dioxide. On the other hand, commonly used cements with mineral additives exhibit enhanced properties and have a better chemical resistance. However, a certain danger exists, because these binders are slowly setting and the reduced strength at the early age influences development of cracks, what determines the durability of reinforced concrete structures – fig. 7.

The design errors occurred at all possible stages of the realisation of the structure design process, starting from the adopted assumptions, via the calculation methods, ending at the forming of the ceiling reinforcement layout. And the technological errors at the concrete mix design stage and the workmanship errors during the curing of the cast concrete ceiling worsened the situation further.

The fundamental design errors occurred at the contractual structural design for the analysed object are:

- the underestimated values of the dead and imposed loads and the errors in the assumed character and the type of the load action,
- the adopted calculation method of detached modified frames, which does not fit to the real character of the structure with the ceiling supported by the non-orthogonally positioned reinforced concrete columns,
- the improper distribution of internal forces values resulting from the detached frames method leading to the improper layout of rebars, i.e. overstiffening of the column zones with the reinforcement located only directly over the columns at the cost of the remaining zones of the ceiling slab,
- the lack of analysis of the minimal reinforcement cross-section necessary to limit the crack width due to the forced deformations combined with the significant restraining of the displacement freedom of the ceiling slab resulting from its connection to the external monolithic walls increased influences of undesirable shrinkage,
- the forming of the upper zone reinforcement as bent bars concentrated in the zones directly over the columns, which even did not cover the entire punch through zone,
- the lack of analysis of the serviceability state.

6. Uwagi końcowe

Przedstawiony w niniejszej pracy przypadek obiektu, zlokalizowanego w wydzielonym, rewitalizowanym obszarze zabudowy miejskiej, jest dobitnym przykładem nałożenia się błędów projektowych popełnionych przez niekompetentnego projektanta z błędami technologicznymi i wykonawczymi. W praktyce budowlanej znany jest problem (powszechny zresztą) minimalizacji kosztów wykonawczych przeprowadzanych bardzo często pod szczytnym hasłem optymalizacji. Zdecydowana większość inwestorów i wykonawców, pod obszernym pojęciem optymalizacji kryje minimalizację kosztów za wszelką cenę i to na wszystkich etapach realizacji inwestycji. W omawianym przypadku minimalizacja poszła dalej i objęła swym zasięgiem etap doboru najtańszego projektanta. Połączenie niekompetencji projektanta, która z reguły ma związek z oferowaną niską ceną projektu, z dodatkowym narzuceniem przez inwestora znacznych ograniczeń kosztowych projektowanej konstrukcji, doprowadziło do stanu awaryjnego omawianego w niniejszej pracy stropu. Przedstawiona sytuacja wynika często z faktu swobodnego doboru przez wykonawcę własnego projektanta, który pod hasłami optymalizacji i dostosowania projektu do technologii wykonawcy, zmienia zatwierdzony w urzędzie projekt budowlany. Jeżeli dołoży się do tego niekompetencję projektanta to otrzymujemy efekt przestawiony w niniejszej pracy.

Realizacja konstrukcji z betonu, w którego składzie stosowane są cementy z dodatkami mineralnymi, wymaga uściślenia warunków technologicznych [3, 7]. Uwaga ta dotyczy ograniczenia maksymalnej ilości dodatków w składzie mieszanki betonowej oraz ustalenia terminu demontażu deskowań. Ze względu na obniżoną wytrzymałość betonu w początkowym okresie twardnienia, demontaż deskowań musi następować w terminie późniejszym niż w przypadku wykonywania konstrukcji z betonu na cemencie portlandzkim.

Biorąc pod uwagę zakres powstałych uszkodzeń oraz zatrzymanie inwestycji na etapie wykonanego stopu nad garażem (wstrzymanie inwestycji ze względów proceduralno prawnych), podjęto decyzje o zaprojektowaniu i wykonaniu nowej płyty stropowej na płycie istniejącej (bez jej wyburzenia). Przy okazji analizy dokumentacji wykonawczego projektu konstrukcyjnego okazało się, że popełniono także istotne błędy konstrukcyjne w pozostałych elementach konstrukcyjnych obiektu takich jak: jednokierunkowo zbrojony strop łącznika, stropodach łącznika o prostej konstrukcji stalowo-żelbetowej, proste jednobiegowe schody wejściowe. We wszystkich tych przypadkach niedoszacowano wartości obciążeń, a co za tym idzie zastosowano zbyt małe ilości zbrojenia.

6. Final remarks

The presented case study of the object constructed in a detached, revitalised zone of urban building is a clear example of an overlapping of the design errors committed by the incompetent designer and the technological and workmanship errors. There exists a known and common problem in the civil engineering practice leading to a minimization of contract costs very frequently masked by a noble name of optimisation. A vast majority of investors and contractors covers a forced cost minimisation on all stages of contract execution under a broad term of optimisation. In the described case the minimisation proceeded even further and included also the choice of the cheapest designer. The combination of his incompetence usually related to the low product price tendered, with an additional imposing of significant cost limitations by the investor led to the failure state of the described ceiling structure. Cases like the presented one often result from the free choice of a designer by a contractor, who then changes the officially accepted structural design under the cover of optimisation and conversion of the design to contractor technologies. If an incompetence of the designer is added, then one is faced with results like the ones described in this paper.

Construction of a reinforced concrete structure made of concrete including cements with mineral additives requires more precise technological conditions [3, 7]. This concerns a limitation of a maximal amount of additives in the concrete mix and specifying the time to remove boarding. Due to the limited concrete strength at the early ages the removal of boarding must be carried out later, than in the case of structures made of concrete based on the Portland cement.

Taking into account the range of damage and stopping the construction process at the stage of the finished ceiling over the car-park (stopping due to legislative procedural reasons) a decision was taken to design and construct a new ceiling slab placed on the existing one without its demolition. During the analysis of the documentation of the contractual structural design it was found out, that significant structural errors were also committed in remaining elements of the structure, like: one-directionally reinforced ceiling over a passage, a passage roof of a simple steel-reinforced concrete structure and simple one-flight entrance stairs. In all these elements loading was underestimated and a too small number of rebars was designed.

Literatura • References

- [1] Czaplński K., Suwalski J., *Przykłady wadliwych rozwiązań projektowych i ekspertyzowych. Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych*, Praca zbiorowa, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
- [2] Giergiczny Z., Małolepszy J., Szwabowski J., Śliwiński J., *Cementy z dodatkami w technologii betonów nowej generacji*. Góraźdże Cement. 2002
- [3] Jamrozy Z., *Beton i jego technologie*, PWN, Warszawa-Kraków 2000.
- [4] *Sekcja Konstrukcji Betonowych KILiW PAN. Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
- [5] Starosolski W., *Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [6] Starosolski W., *Wybrane zagadnienia komputerowego modelowania konstrukcji inżynierskich*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [7] PN-EN 206-1:2003 *Beton Część 1 Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*.
- [8] PN-B-03264:2002 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [9] Program ABC PŁYTA. Wersja 6.6.

* Politechnika Poznańska, Poznań, Polska
Poznan University of Technology, Poznań, Poland

Streszczenie

W referacie przedstawiono problemy związane z wystąpieniem stanu awaryjnego konstrukcji stropu żelbetowego nad garażem podziemnym, w wielorodzinnym budynku mieszkalnym, wykonywanym w wydzielonym, rewitalizowanym obszarze zabudowy miejskiej. W pracy wskazano na przyczyny powstałych zagrożeń bezpieczeństwa – błędne założenia projektowe a także błędy wykonawcze, które znaczne spotęgowały uszkodzenia realizowanej konstrukcji. We wnioskach końcowych podano zalecenia wykonawcze, uwzględniające optymalny sposób naprawy nie tylko ze względów ekonomicznych, ale także zapewniający prawidłowe i bezpieczne użytkowanie realizowanego obiektu.

Praca zrealizowana w ramach tematów badawczych 11-030/09 (DS) oraz 11-037/09 (DS).

Abstract

In this paper problems related to a failure state of a reinforced concrete ceiling over a subterranean carpark in a multi-family residential building constructed in a detached, revitalised zone of urban building are discussed. The reasons for occurred safety risks were pointed out – wrong design assumptions and workmanship errors increasing the damage to the constructed structure. The final remarks include construction recommendations taking into account a repair method, which is optimal not only from an economic point of view but also ensuring a proper and safe service of the constructed object.

The paper was prepared in the scope of university research projects 11-030/09 (DS) and 11-037/09 (DS).