

Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Król, Politechnika Lubelska

1. Wprowadzenie

W artykule w sposób syntetyczny przedstawiono problematykę trwałości i prognozowanie napraw obiektów budowlanych. Przeprowadzono klasyfikację działań naprawczych i ocenę skuteczności oraz trwałości napraw. Opisano naprawy bierne i aktywne. Ustalono kryteria doboru materiałów do napraw. Podano przykłady napraw aktywnych oraz wyprowadzono stosowne wnioski końcowe.

2. Prognozowanie napraw

Prognozowanie napraw związane jest z określeniem trwałości. Trwałość jest zachowana, jeżeli w założonym czasie eksploatacji obiekt spełnia swoje funkcje w zakresie użyteczności, nośności i stateczności, przy czym właściwości użytkowe nie powinny być obniżone poniżej poziomu akceptowalnego społecznie. Za pomocą trwałości elementów składowych budynku można [8]:

- wyznaczyć niezawodność eksploatacyjną,
- prognozować naprawy i remonty budynku.

W Polsce nie stosuje się w sposób powszechny planowania napraw jako systemu długoterminowego. Naprawy traktuje się w sposób doraźny, przeprowadza się je jedynie na podstawie przeglądów i kontroli okresowych, o czym napisano w dalszej części artykułu.

Elementy budynku wykonywane są zwykle z różnych materiałów. W miarę upływu czasu wszystkie elementy ulegają starzeniu się, tracą swoje pierwotne wartości

użytkowe i następuje ich naturalna degradacja.

Dla wszystkich elementów składowych budynku proces ten przebiega niejednakowo, a każdy element charakteryzuje się swoim okresem trwałości (T_{Ri}). Ze względu na złożoność zjawisk, okresy trwałości stanowią przedziały czasowe o różnych długościach.

Do opisu niezawodności eksploatacyjnej stosuje się modele matematyczne z wykorzystaniem rachunku prawdopodobieństwa. W powszechnym postępowaniu dla kolejnych lat użytkowania obiektu budowlanego oblicza się stopień zużycia technicznego elementów w formie czasowej. W przypadku formuły modelowej czasowej będzie to:

$$S_{zi} = t/T_{Ri} \quad (1)$$

gdzie: t – wiek elementu, T_{Ri} – okres trwałości i – tego elementu.

W ujęciu tradycyjnym średnioważony stopień zużycia technicznego obiektu (S_z) oblicza się jako średnioważoną sumę zużycia poszczególnych elementów, przy czym wagę stanowi procentowy udział danego elementu (W_{zi}) w koszcie odtworzenia budynku

$$S_z = \sum S_{zi} \cdot W_i \quad (2)$$

W tym ujęciu niezawodność jest opisywana funkcją liniową. Natomiast w teorii niezawodności, do opisu rozkładu czasu życia elementów najczęściej stosuje się wykładniczy rozkład zmiennej losowej (S_{zi}). Niezawodność zachowania się danego elementu

w czasie określa funkcja niezawodności (odporności) o postaci [7]:

$$R_{i(t)} = \exp[-(t/T_{Ri})] \quad (3)$$

Prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu opisuje relacja:

$$F_{i(t)} = 1 - R_{i(t)} \quad (4)$$

W opracowaniu [7] podano postulat ustalania okresu remontowego, a mianowicie: gdy niezawodność $R_{i(t)}$ spadnie do takiego poziomu, że t będzie odpowiadała stopniu zużycia (S_{zi}), to w tym terminie powinno się wykonywać remonty elementów.

Dla obiektów nowoprojektowanych okres jego użytkowania powinien być określany przez projektanta na etapie projektowania. Stosowne ustalenia powinny być dokonywane z udziałem zamawiającego.

Przy ustalaniu przewidywanego okresu użytkowania powinny być brane pod uwagę wymagania polegające w szczególności na:

- zdefiniowaniu właściwości użytkowych i poziomów dopuszczalnego ich obniżenia w toku eksploatacji,
- określeniu czynników powodujących degradację wyrobów i elementów budynku oraz mechanizmu ich niszczenia,
- określeniu procesu i stopnia dopuszczalnej degradacji w danych warunkach środowiskowych,
- określeniu konsekwencji zniszczenia,
- wybraniu wyrobów o określonym, przewidywanym okresie użytkowania, a w tym cykle międzyremontowe, w jakich będzie następowała wymiana elementów i wyrobów,

- określeniu liczby cykli remontowych ekonomicznie uzasadnionych.

Współcześnie, projektowanie na okres użytkowania jest dopiero w fazie rozwojowej [1.8].

3. Wymagania formalne napraw i wzmocnień konstrukcji budowlanych

Aby w toku eksploatacji utrzymać obiekt budowlany (budynek) na odpowiednim poziomie technicznym przez cały okres użytkowania, wymagane jest zaprogramowanie i dokonywanie napraw. Wyróżnia się naprawy główne, bieżące i roboty konserwacyjne [9]. „Naprawa główna” oznacza remont polegający na wymianie co najmniej jednego elementu konstrukcyjnego budynku, „naprawa bieżąca” odnosi się do remontu elementów budynku, który ma na celu zapobieganie skutkom zużycia tych elementów i utrzymanie budynku we właściwym stanie technicznym, natomiast określeniem „konserwacja” należy rozumieć wykonywanie robót mających na celu utrzymanie sprawności technicznej użytkowanych elementów budynku [9]. W myśl [10], pod określeniem „remont” należy rozumieć wykonywanie w istniejącym obiekcie budowlanym robót budowlanych polegających na odtworzeniu stanu pierwotnego, a nie stanowiących bieżącej konserwacji, przy czym dopuszczalne jest stosowanie wyrobów budowlanych innych niż użyto w stanie pierwotnym.

Wzmocnienie konstrukcji może dotyczyć naprawy głównej lub przebudowy. W tym przypadku (wg [10]) przez przebudowę należy rozumieć wykonywanie robót budowlanych, w wyniku których następuje zmiana parametrów użytkowych lub technicznych istniejącego obiektu budowlanego, bez zmiany jego gabarytów.

Z częstym przypadkiem wzmocnienia konstrukcji mamy do czynienia w sytuacjach awarii lub katastrofy budowlanej, a także w warunkach

zmian funkcji użytkowej, rozbudowy lub przebudowy istniejących obiektów budowlanych.

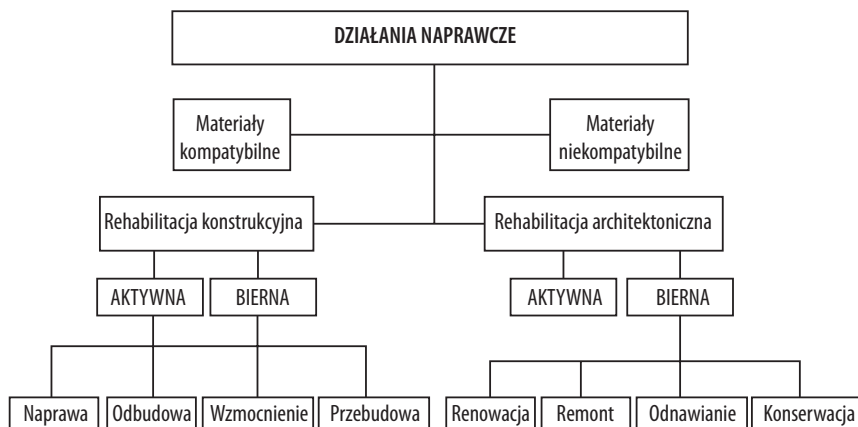
4. Klasyfikacja uszkodzeń i działań naprawczych

Różnorodność rodzajów i miejsc występowania uszkodzeń w konstrukcjach budowlanych sprawia, że problematyce tej poświęcono wiele publikacji, a także podjęte zostały prace normalizacyjne. Jak dotychczas, nie zostały sformułowane jednoznacznie wymagania, jakim powinny odpowiadać naprawy. Panuje także niejednoznaczność w nazewnictwie i pojęciach opisujących działania naprawcze. W niniejszym artykule podjęto próbę usystematyzowania niektórych pojęć. Odniesiono się głównie do skuteczności i trwałości napraw dokonywanych przede wszystkim na konstrukcjach z betonu.

Budynki i budowle są obiektami, których czas życia przewidziany jest na co najmniej kilkadziesiąt lat. Jednakże w ciągu tego czasu uwiadcniają się lub powstają w nich defekty i destrukcje. Przyczyny defektów i destrukcji mogą być dwójakiego rodzaju. Grupę pierwszą stanowią defekty pierwotne („wbudowane”). Defekty pierwotne mają charakter materiałowy (rysy, pory, pustki, niejednorodność materiału) lub mogą wynikać z błędów projektowo-wykonawczych (nie uwzględnienie wszystkich obciążeń, np. temperaturowych, wadliwe zaprojektowanie lub wykonanie połączeń elementów). Druga grupa to destrukcje powstałe w czasie eksploatacji (przeciążenie, zmiana schematu statycznego, agresywne oddziaływanie środowiska, czy też nieprzewidziane obciążenia wyjątkowe). Niezależnie od wymienionych przyczyn, konstrukcje podlegają procesowi naturalnego starzenia się.

W celu eliminacji defektów i powstałych uszkodzeń oraz dalszej bezpiecznej eksploatacji, na budynkach i obiektach budowlanych wykonuje się szereg zabiegów zwanych zabiegami odnawialnymi. Propozycje klasyfikacji działań odnawialnych przedstawiono na rysunku 1. Ogólne zabiegi odnawialne podzielić można na zabiegi wykonywane na elementach nośnych obiektu, stanowiące ingerencję w pracę statyczną konstrukcji (rehabilitacja konstrukcyjna) oraz działania na elementach nienośnych lub na elementach nośnych, ale bez ingerencji w ich pracę statyczną (rewaloryzacja architektoniczna). Ze względu na cel rehabilitacji konstrukcyjnej można wyróżnić: naprawę, odbudowę, wzmocnienie i przebudowę konstrukcji. Szczególną rolę wśród nich odgrywa naprawa.

Przez naprawę uszkodzonej lub posiadającej defekty konstrukcji rozumie się doprowadzenie jej do stanu, w którym spełnione będą



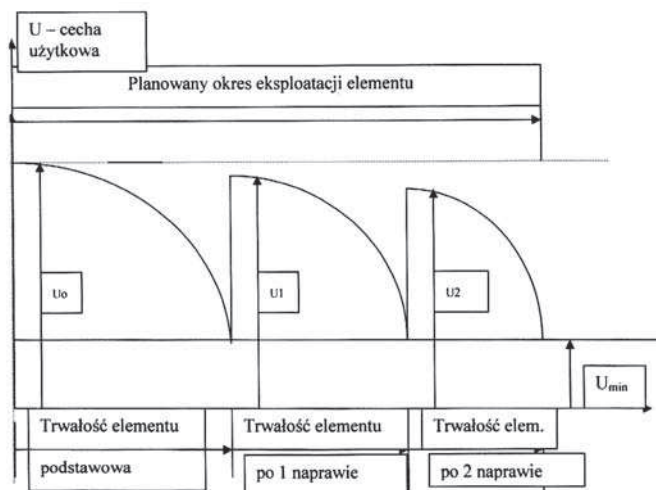
Rys. 1. Klasyfikacja działań naprawczych

stany graniczne nośności i użytkowalności, a konstrukcja spełniać będzie wymogi użytkowe. Naprawa obejmuje także ewentualną korektę konstrukcyjną, jeśli przyczyną uszkodzenia były błędy projektowe lub wykonawcze (np. brak dylatacji).

Wśród działań naprawczych wykonywanych na konstrukcji, wyróżnić można: naprawy bierne – nie wpływające na układ sił wewnętrznych konstrukcji i naprawy aktywne – powodujące zmianę pola naprężeń w obszarze uszkodzenia. Naprawa bierna polega na uzupełnieniu ubytków (reprofilacja) lub naprawie strukturalnej (np. iniekcja) za pomocą materiału, który jedynie wypełnia przewidzianą przestrzeń i współpracuje z konstrukcją pierwotną w przenoszeniu obciążeń, ale bezpośrednio do współpracy tej nie włącza się, lecz dopiero wtedy, gdy wystąpią oddziaływania zewnętrzne.

5. Skuteczność i trwałość napraw

W trakcie całego planowanego czasu eksploatacji elementu konstrukcyjnego można wyróżnić kilka okresów. Okres pierwszy to czas od wykonania elementu do momentu, gdy wymagana jest pierwsza naprawa. W okresie tym wszystkie cechy użytkowe elementu (np. nośność, ugięcie, szczelność itp.), których wartość początkowa wynosiła U_0 , znajdują się w obszarze sytuacji dopuszczalnych (nośność nie spada poniżej określonej wartości, ugięcie jest mniejsze od dopuszczalnego, szczelność jest wystarczająca). Konieczność naprawy wystąpi, gdy wartość istotnej dla elementu cechy użytkowej spadnie poniżej dopuszczalnej wartości U_{min} . Wykonanie naprawy spowoduje wzrost wartości tej cechy do U_1 . Wartość U_1 jest zwykle mniejsza od U_0 . Drugi okres trwa od pierwszej naprawy do momentu, gdy wymagana jest druga naprawa. Po jej wykonaniu wartość cechy



Rys. 2. Schematyczny wykres obrazujący zachowanie się cech użytkowych elementu konstrukcyjnego w czasie eksploatacji

użytkowej wynosi U_2 , co jest zwykle mniejsze od U_1 .

Naprawy konstrukcji mogą być wykonywane wiele razy, przy czym z upływem czasu wartość cechy użytkowej sukcesywnie spada, wzrastając skokowo po wykonaniu kolejnej naprawy (rys. 2).

Zrealizowaną naprawę charakteryzuje skuteczność i trwałość. One też stanowią podstawę oceny wybranej metody naprawy, materiału naprawczego i jakości jej wykonania.

Skuteczność naprawy jest stosunkiem liczbowo wyrażonej wybranej cechy technicznej elementu konstrukcyjnego po naprawie, do tej samej cechy technicznej nie uszkodzonego elementu konstrukcyjnego (np. stosunek nośności, momentu rysującego, wodoprzepuszczalności itp.). Stosując oznaczenia przyjęte na rysunku 2, skuteczność i -tej naprawy wyrazić można jako [3]

$$S_i = \frac{U_i}{U_0} \quad (5)$$

Trwałość naprawy elementu konstrukcyjnego mierzona jest czasem, który upłynął od chwili naprawy do momentu, gdy wymagana jest naprawa powtórna w tym samym miejscu. Definicja ta nie obejmuje napraw wykonywanych w innym obszarze elementu.

6. Naprawy bierne i aktywne

Istota napraw aktywnych

Obiekty i elementy budowlane, w których w czasie eksploatacji powstały uszkodzenia i destrukcje lub konstrukcje dotknięte błędami pierwotnymi, wymagają wykonania w odpowiednim czasie rekonstrukcji bądź zabiegów naprawczych. Zabiegi te są niezbędne w celu eliminacji uszkodzeń i zapewnienia dalszej bezpiecznej eksploatacji obiektu.

Szczególną rolę wśród działań naprawczych zajmuje naprawa, rozumiana jako doprowadzenie uszkodzonej konstrukcji do stanu, w którym spełnione będą normowe wymagania trwałości, nośności i użytkowalności, a sama konstrukcja spełniać będzie wymogi użytkowe.

Wykonana naprawa, w zależności od zastosowanej techniki lub materiału, może być w stosunku do konstrukcji bierna lub aktywna. Naprawa bierna nie ma wpływu na układ sił wewnętrznych panujących w eksploatowanej konstrukcji. Polega jedynie na uzupełnieniu ubytków (reprofilacji), obetonowaniu lub wypełnieniu pustek w betonie (sposobem iniekcji). Naprawa aktywna natomiast, indukuje redystrybucję naprężeń i sił wewnętrznych w naprawianej kon-

struktury. Istotą jej jest zastosowanie takiego rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego, które spowoduje powstanie pola naprężeń, różnego od pola naprężeń występującego przed naprawą. Zmiana ta powinna korzystnie wpłynąć na możliwość przeniesienia przez konstrukcję obciążeń eksploatacyjnych, bieżących i dodatkowo projektowanych.

Materiały ekspansywne do napraw aktywnych

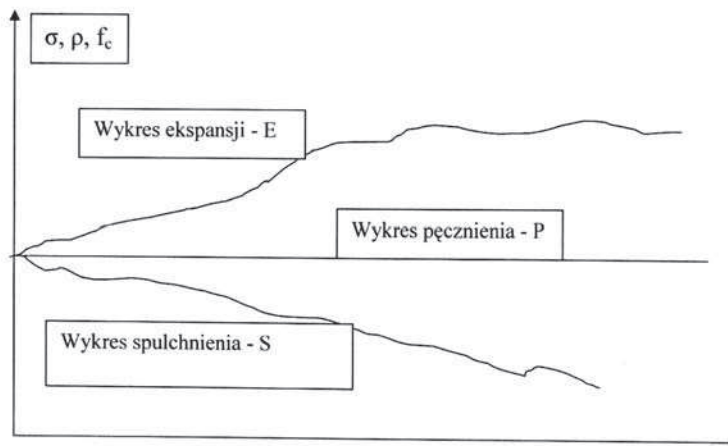
Każdy materiał przewidziany do naprawy konstrukcji powinien spełniać określone kryteria.

Szczególne miejsce wśród materiałów naprawczych zajmują materiały charakteryzujące się przyrostem objętości. Są one korzystne, gdyż nie mają tendencji do mikrooddziaływania się od powierzchni naprawy, co występuje w materiałach obarczonych skurczem [4].

W literaturze technicznej, procesy wzrostu objętości nie znalazły jednoznacznego opisu. Dla zdefiniowania pojęć należy nawiązać do zmian właściwości materiałów w procesie swobodnego wzrostu objętości, a w szczególności do zmiany gęstości objętościowej oraz ich zachowania się przy ograniczaniu swobody odkształceń (powstawanie lub niepowstawanie naprężeń wewnętrznych – samonaprężeń). Tak postępując wyróżnić można następujące zjawiska zmian objętości (rys. 3):

- spulchnianie S oznacza wzrost objętości z równoczesnym zmniejszaniem się gęstości objętościowej, przy braku naprężeń wewnętrznych (samonaprężeń) ($\rho < \rho_0, \sigma_{CE} > 0$);
- pęcznienie P oznacza wzrost objętości przy zachowaniu stałej gęstości i braku naprężeń wewnętrznych ($\rho = \rho_0, \sigma_{CE} = 0$);
- ekspansja E oznacza wzrost objętości przy wzroście gęstości i powstaniu samonaprężeń, jeśli zachodzi ona w warunkach ograniczonej swobody odkształceń ($\rho > \rho_0, \sigma_{CE} > 0$).

Na rynku pojawiło się wiele materiałów firmowych, których pro-



Rys. 3. Zmiany: gęstości objętościowej ρ , samonaprężenia σ_0 , wytrzymałości f_c , w czasie trwania procesu ekspansji (E), pęcznienia (P) i spulchniania (S)

ducenci rekomendują je jako materiały zwiększające objętość. Przeanalizowano dostępne materiały zmieniające objętości i stwierdzono duże niezgodności z deklarowanymi parametrami.

Kryteria doboru materiałów do napraw

Podstawowym problemem, który musi być rozwiązany przed przystąpieniem do naprawy jest wybór materiału naprawczego. Materiał ten musi zapewnić skuteczność naprawy oraz trwałość jej efektów, tak aby poddana naprawie konstrukcja przez wiele lat pracowała bezpiecznie i posiadała wszystkie wymagane cechy użytkowe konstrukcji zdrowej. Aby uczynić zadość wymogowi skuteczności i trwałości napraw, materiał naprawczy powinien charakteryzować się czterema cechami, które można traktować jako podstawowe kryteria doboru materiału naprawczego. Cechy te są następujące:

- kompatybilność z materiałem konstrukcji naprawianej,
- przyczepność do materiału naprawianego,
- aktywność naprawy,
- trwałość naprawy w czasie.

Poprzez kompatybilność materiału naprawczego z tworzywem naprawianym rozumie się zgodność lub podobieństwo ich właściwości mechanicznych, fizycznych, reologicznych i chemicznych. Fragment naprawiany nie może

być obszarem „obcym” w konstrukcji. Powinowactwo cech obejmować powinno: wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie, przyczepność w płaszczyźnie zespolenia, odkształcalność mechaniczną i termiczną, właściwości fizyczne (wodoszczelność, gazoszczelność, mrozoodporność, nasiąkliwość, ścieralność), właściwości chemiczne (reaktywność, przewodność, potencjały elektrochemiczne), właściwości reologiczne (skurcz, pęcznienie), ognioodporność i inne cechy specyficzne w danych warunkach pracy konstrukcji.

W praktyce jednak nie zawsze udaje się dobrać materiał naprawczy tak, aby wszystkie jego cechy były kompatybilne z cechami materiału konstrukcji naprawianej. Należy więc zawsze wyspecyfikować podstawowe, wymagane dla danych warunków, wiodące cechy materiału oraz cechy drugorzędne. W większości przypadków cechą wiodącą jest wytrzymałość materiału, ale np. w sytuacji naprawy zbiorników na ciecze, cechą pierwszorzędą materiału jest wodoszczelność, w przypadku konstrukcji pracujących w zmiennych temperaturach – odkształcalność termiczna. Pierwszorzędne cechy materiałów naprawczych i naprawianych powinny być bezwzględnie kompatybilne, natomiast w przypadku cech drugorzędnych można dopuścić odstępstwa od tej zasady, sięgające 25%.

Przyczepność materiału naprawczego do tworzywa naprawianej konstrukcji mierzona jest nośnością ich styku. W styku takim panować może różny stan naprężeń. Nośność styku, w którym panują naprężenia ściskające nie stanowi problemu, natomiast najmniejszą nośność ma styk pracujący na naprężenia rozciągające lub łącznie na naprężenia rozciągające i ścinające. Zbyt niska przyczepność może spowodować, że stan zniszczenia elementu naprawianego nastąpi przez osiągnięcie nośności styku, a nie przez osiągnięcie nośności najbardziej wyężonego przekroju elementu, zatem skuteczność naprawy będzie niska. Przy niewielkiej przyczepności może ponadto zostać osiągnięta nośność styku na rozciąganie w wyniku działania skurczu materiału naprawczego lub różnych współczynników rozszerzalności termicznej, co spowoduje odspojenie fragmentu naprawionego od konstrukcji pierwotnej. Kryterium aktywności materiału naprawczego oznacza, że powinien on w sposób czynny włączyć się do pracy statycznej konstrukcji będącej pod obciążeniem, generując określony stan naprężeń. Przykładowo, takimi materiałami aktywnymi są betony i zaprawy reprofilacyjne ekspansywne oraz zaczyny iniekcyjne, sporządzone na bazie cementu ekspansywnego. Poprzez występujące we fragmentach naprawianych samonapężenia, oddziałują one na konstrukcję jeszcze przed wystąpieniem obciążeń. Dodatkowo, samonapężenia powodują docisk na granicy zespolenia, zwiększając przyczepność do betonu naprawianego, o składnik przyczepności mechanicznej. Kryterium trwałości oznacza, że materiał naprawczy powinien być odporny na starzenie się i agresję środowiska w stopniu równym trwałości materiału konstrukcji zdrowej, tak aby konieczność powtórnej naprawy konstrukcji wynikała z powodów innych niż zniszczenie fragmentu naprawianego.

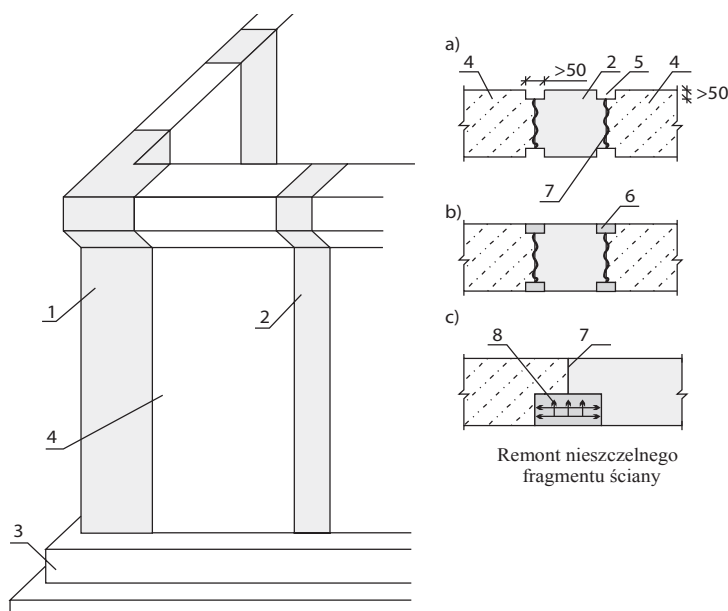
7. Opis napraw aktywnych zastosowanych w praktyce

Aby naprawę można było uznać za aktywną, należy ocenić, czy wywoła ona pożądaną zmianę sił wewnętrznych w układzie konstrukcyjnym budowli. Taką redystrybucję sił wewnętrznych podczas naprawy lub wzmocnienia konstrukcji można przykładowo uzyskać przez:

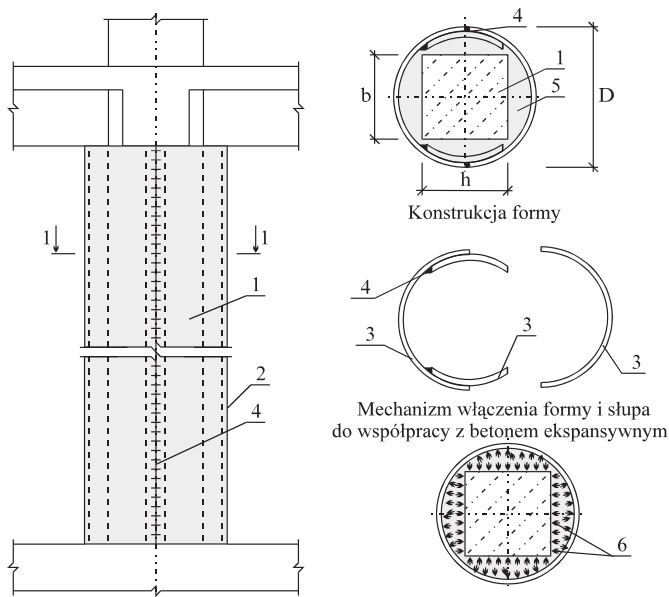
- wprowadzenie cięgien sprężających lub ściągów wstępnie napiętych w strefy elementu konstrukcyjnego wymagające naprawy lub wzmocnienia,
 - zmianę schematu statycznego, powodującą zmiany w rozkładzie sił wewnętrznych,
 - wprowadzenie dodatkowych naprężeń przez zastosowanie aktywnych materiałów ekspansywnych.
- Zastosowanie cięgien sprężających lub ściągów wstępnie napiętych oznacza wprowadzenie dodatkowych naprężeń ściskających w strefach, gdzie spodziewane jest wystąpienie naprężeń rozciągających od obciążeń eksploatacyjnych. Wzmocnienie lub zmiana nośności poprzez zmianę schematów

statycznych rekomendowana jest wówczas, gdy uszkodzony element konstrukcyjny nie ma wystarczającej nośności, aby w najbardziej wyężonych przekrojach bezpiecznie przenieść siły wewnętrzne powstające od obciążeń eksploatacyjnych. Celem zmiany schematu statycznego będzie więc zmniejszenie wartości sił wewnętrznych w najbardziej wyężonych przekrojach wymagających wzmocnienia, z równoczesnym zwiększeniem sił w przekrojach mniej wyężonych. Klasycznym przykładem takiego postępowania jest zmiana schematu statycznego elementów wolno podpartych występujących w jednym ciągu, w schemat elementów ciągłych wieloprzęsłowych, przez zmonolityzowanie na podporach elementów prefabrykowanych. Zmniejszenie momentu przęsłowego zachodzi tu kosztem powstania momentu podporowego, a więc należy zapewnić możliwość jego przeniesienia.

Nowym rozwiązaniem jest stosowanie do napraw aktywnych materiałów ekspansywnych w postaci zaczynów, zapraw i betonów. Jest ono w kraju mało rozpowszechnione. Głównym powodem był brak



Rys. 4. Monolityzacja styków i samonapężenie zbiornika prostokątnego. 1 – naroże monolityczne, 2 – styk prefabrykatów, 3 – fundament, 4 – prefabrykaty ścian, 5 – bruzdy przygotowane do betonowania, 6 – beton ekspansywny, 7 – nieszczelny styk, 8 – samonapężony beton w bruzdach



Rys. 5. Wzmocnienie słupa żelbetowego opaską z betonu ekspansywnego: 1 – naprawiany słup, 2 – forma stalowa, 3 – elementy składowe formy, 4 – spawany styk, 5 – beton ekspansywny, 6 – samonapężony styk betonu zwykłego i betonu ekspansywnego

krajowych cementów ekspansywnych oraz brak zasad projektowania napraw i wzmocnień z uwzględnieniem parametrów ekspansji. Te zagadnienia zostały już w dużym stopniu rozwiązane [4, 5, 6]. Zastosowanie materiałów ekspansywnych do napraw konstrukcji z betonu pozwala na uzyskanie

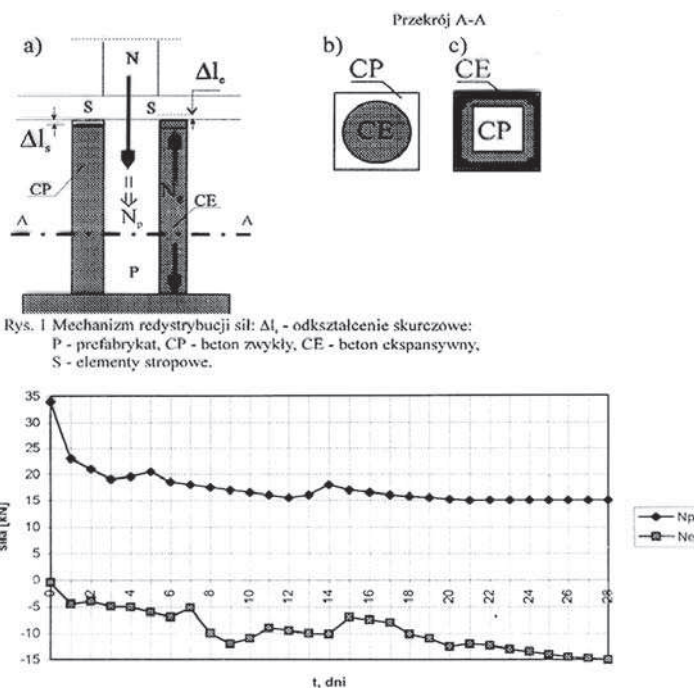
wysokiej przyczepności w styku materiału naprawczego z betonem naprawianym, bez obawy o odpajanie powodowane skurczem materiału naprawczego. Istotą tego rozwiązania jest jednak jego „aktywność”. Otóż podczas wiązania i twardnienia materiału ekspansywnego w warunkach ograniczo-

nej swobody odkształceń, w okresie kilku dni powstają w materiale tzw. samonapężenia, wywołujące docisk materiału ekspansywnego do elementów oporowych.

Warunki ograniczenia ekspansji mogą być realizowane przez styki prefabrykatów lub sąsiadujące elementy konstrukcji, „stary” beton otaczający reprofilowany ubytek albo zbrojenie umieszczone w materiale ekspansywnym.

W efekcie docisku do elementów oporowych, fragment reprofilowany czy obetonowany jest ściskany, zaś otaczające go strefy są rozciągane. Zatem jeszcze przed wystąpieniem pełnego obciążenia konstrukcji, indukowane są naprężenia wstępne. Takie rozwiązanie jest efektywne wtedy, gdy generowane w konstrukcji naprężenia mają znak przeciwny do spodziewanych naprężeń pochodzących od obciążeń eksploatacyjnych. Wtedy uzyskuje się również wzrost nośności elementu czy konstrukcji.

Przykładami efektywnego zastosowania napraw aktywnych są materiały ekspansywne prezentowane na poniższych przykładach, przedstawionych na rysunkach 4 i 5. Natomiast na rysunku 6 zaprezentowano badania doświadczalne w zakresie redystrybucji sił, na przykładzie słupa zespolonego z betonu zwykłego i ekspansywnego. Rezultaty badań wskazują, że nastąpiła redystrybucja sił o 50%. Oznacza to, że osłabiony słup betonowy odciążono o wartość 50% siły obciążającej słup, z równoczesnym przyjęciem tej siły przez obetonowanie części słupa betonem ekspansywnym. Wszystko to zaistniało bez odciążania słupa, co w praktyce ma miejsce.



Rys. 6. Mechanizm redystrybucji sił: Δl_e - odkształcenie skurczowe; P - prefabrykat, CP - beton zwykły, CE - beton ekspansywny, S - elementy stropowe.

Rys. 6. Redystrybucja siły N w czasie t_0 i przejmowanie przez beto ekspansywny N_e

8. Uwagi i wnioski końcowe

1. Trwałość naprawy jest z analitycznego punktu widzenia zagadnieniem mało rozwiniętym. Tu praktyka wyprzedziła teorię, a brak modeli analitycznych utrudnia postęp wiedzy w tych zagadnieniach.

2. Modelowe, analityczne podstawy prognozowania i planowania napraw obiektów budowlanych są mało rozpowszechnione w naszym kraju. Działania w tym zakresie opierają się głównie o okresowe przeglądy techniczne budynków.

3. Problematyka działań naprawczych obiektów budowlanych, a szczególnie konstrukcji z udziałem betonu, nie znalazła dotychczas pełniejszego opracowania. Ilość niezbędnych działań naprawczych wzrasta z upływem czasu, ale także i zainteresowanie tą problematyką rośnie, o czym świadczą próby normalizacyjne.

4. Ponieważ coraz wyraźniej uwiadcniają się trudności w doborze materiałów do napraw, w artykule niniejszym podjęto próbę sformułowania zbioru wymagań, jakie ma spełnić materiał naprawczy. Ważnym technologicznym zagadnieniem jest, czy naprawa w danych warunkach ma być bierna, czy niezbędna jest aktywna.

5. Odrębne zagadnienie stano-

wi ocena skuteczności naprawy, a także metodyka jej badań na próbkach lub elementach w skali naturalnej. W artykule przedstawiono analityczne podejście do oceny skuteczności naprawy.

6. Najbardziej efektywnym sposobem napraw konstrukcji z betonu są naprawy aktywne. One to, obok przywrócenia stanu sprzed uszkodzenia konstrukcji, dzięki redystrybucji sił wewnętrznych, zapewniają zwiększenie nośności elementów. Do wykonania napraw aktywnych, obok rozwiązań opartych na zmianie schematu statycznego względnie wprowadzeniu cięgien sprężających lub napiętych ściągów, rekomendowane już użycie materiałów rzeczywiście ekspansywnych. Jednak nie wszystkie materiały deklarowane przez producentów jako ekspansywne posiadają deklarowane cechy.

LITERATURA

[1] Ajdukiewicz A., Konstrukcje betonowe projektowane na okres użytkowania – badania a nowe ujęcia normatywne. „Dni betonu”, 2008

[2] Halicka A., Król M., Techniki i materiały aktywnych napraw konstrukcji z betonu. XII Konferencja Naukowo-Techniczna „Kontra 2000”. Trwałość budowli i ochrona przed korozją. Warszawa – Zakopane, 17–20 maja 2000 r.

[3] Król M., Halicka A., Skuteczność i trwałość napraw konstrukcji budowlanych. XLIV Konferencja Naukowa KILiW PAN i KNPZITB. Poznań – Krynica 1998 r.

[4] Król M., Beton ekspansywny. Arkady, Warszawa, 2000 r.

[5] Król M., Nowoczesne technologie w budownictwie. Problemy Przygotowania i Realizacji Inwestycji Budowlanych. Puławy, 2007 r.

[6] Król M., Kondratczyk A., Tur W., Przykłady napraw i wzmocnień konstrukcji budowlanych betonem ekspansywnym. 1999, 2005 Wydawnictwo Uczelniane

[7] Nowogońska B., Trwałość elementów budynku w aspekcie prognozowania napraw. Konferencja Naukowa Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych, Poznań, 27–28 listopada 2006 r.

[8] Ścisławski Z., Ochrona konstrukcji żelbetowych. Arkady, Warszawa 1999 r.

[9] Rozporządzenie MSWiA z 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych

[10] Ustawa Prawo budowlane z 7 lipca 1994 r. (tekst jednolity) 2006 r. + zmiany z 10 maja 2007 r. i 19 września 2007 r.



producent prefabrykatów
żelbetowych
i strunobetonowych

produkcja i montaż hal

BETONEX Sp. z o.o.
43-382 Bielsko-Biała
ul. Ks. J. Londzina 29
tel. +48 033 49 95 100
fax +48 033 49 95 101
e-mail: info@betonex.pl
www.betonex.pl

Jesteśmy prężnie rozwijającym się producentem prefabrykatów żelbetowych i strunobetonowych. Wykonujemy elementy dla obiektów przemysłowych, handlowych i biurowych. Wdrażamy najnowsze technologie prefabrykacji sprawdzone na rynku włoskim przez jednego z naszych udziałowców PRECOMPRESSI VALSUGANA, wchodzącego w skład grupy INDUSTRIE MAURIZIO PERUZZO. Grupa posiada zakłady produkcyjne we Włoszech, Rumunii, Bułgarii i Polsce.

W palecie naszych produktów znajdziecie Państwo:

- ✘ słupy
- ✘ belki i dźwigary
- ✘ płyty stropowe TT
- ✘ płatwie dachowe
- ✘ ściany i podwaliny



Aby usprawnić proces wznoszenia obiektów zapewniamy także:

- ✘ koncepcje i techniczne rozwiązania konstrukcji prefabrykowanych
- ✘ doradztwo w zakresie projektowania
- ✘ specjalistyczny transport
- ✘ kompleksowy montaż obejmujący konstrukcję oraz obudowę ścian i dachu