

# O możliwości napraw obiektów budowlanych na terenach górniczych

## A little on the possibility of repair and protection of civil engineering objects located in mining damage areas



*Dr hab. inż. Arkadiusz Kwiecień\**



*Prof. dr hab. inż. Tadeusz Tatara\**

**Treść:** W pracy zostały przedstawione przyczyny powstawania uszkodzeń w budynkach na terenach górniczych i dyskusja stosowanych tradycyjnie sposobów naprawy. Jako alternatywę do tych sposobów, zaproponowano zastosowanie polimerowych złączy podatnych, mogących przenosić obciążenia i duże deformacje. Skuteczność tej metody została wykazana badaniami laboratoryjnymi i aplikacjami praktycznymi.

**Abstract:** This paper presents the reasons for the occurrence of damages in buildings located in mining areas as well as the analysis of the traditionally applied methods of repair. As an alternative, the authors propose the application of polymer flexible joints, able to carry loads and high deformations. Basing on the research results and practical applications, the effectiveness of this method was presented.

### **Słowa kluczowe:**

*szkody górnicze, naprawa konstrukcyjna, polimerowe złącza podatne*

### **Key words:**

*mining damages, structural repair, polymer flexible joints*

## **1. Wprowadzenie**

Obiekty budowlane zlokalizowane na terenach, pod którymi odbywa się eksploatacja górnicza narażone są na działanie wstrząsów indukowanych tą eksploatacją [9, 10], jak również i dużych deformacji powierzchni [2, 3, 4]. Pod pojęciem dużych deformacji powierzchni rozumie się deformacje ciągłe powierzchni odpowiadające III, IV i V kategorii terenu górniczego. Deformacje takie spowodowane są osiadaniami wywołanymi przejściem niecki osiadań nad eksploatowanymi złożami. Powodują one powstanie uszkodzeń konstrukcyjnych w budowlach inżynierskich, wymagających naprawy [1, 4, 11]. W przypadku podejmowania nowej eksploatacji na tym samym terenie, uszkodzone budynki oraz obiekty inżynierijne powinny być poddane pracom profilaktycznym, w tym usunięciu istniejących uszkodzeń.

Tradycyjne, dotychczasowe sposoby naprawy uszkodzonych budynków nie zawsze są skuteczne, szczególnie przy trwającej dłuższy czas eksploatacji górniczej [8]. W wyremontowanych obiektach budowlanych nowe uszkodzenia w posta-

ci zarysowań i pęknięć elementów konstrukcji i wykończenia często ujawniają się w miejscach wcześniej wykonanych napraw. Problem ten dotyczy także pojawiających się ponownie uszkodzeń w nawierzchniach betonowych poddanych dużym deformacjom, zwłaszcza w odniesieniu do nawierzchni lotniskowych, drogowych, parkingowych i składowiskowych, które próbuje się często nieskutecznie uszczelniać masami bitumicznymi lub naprawiać sztywnymi materiałami, np. żywicami, szpachlówkami. Brakuje obecnie na rynku skutecznej technologii umożliwiającej sklejenie pękniętych elementów konstrukcyjnych, zapewniającej szczelność połączenia oraz przenoszenie obciążeń przy występowaniu dużych deformacji. Problem ten jest także aktualny w odniesieniu do połączeń pomiędzy prefabrykowanymi elementami konstrukcyjnymi.

Konieczność wielokrotnego usuwania skutków uszkodzenia pociąga za sobą duże koszty ekonomiczne i społeczne. Brak rozwiązania tego problemu generuje szczególnie duże koszty w przypadku nawierzchni betonowych, czy osiadających budynków. Konstruktorzy i wykonawcy budowlani obecnie nie mają do dyspozycji materiału i technologii, które zapewniłyby odpowiednią trwałość elementów poddanych dużym deformacjom (występującym cyklicznie) i wykonywanie napraw bez konieczności wykwaterowania mieszkańców.

\* Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli, Kraków

Zastosowanie innowacyjnej technologii polimerowych złączy podatnych stwarza szansę uniknięcia nowych, uciążliwych uszkodzeń w konstrukcjach betonowych i murowych, poddanych indukowanym wstrząsom górniczym i obciążeniom dużymi deformacjami terenu. Polega ona na łączeniu elementów konstrukcyjnych podatnymi złączami wykonanymi ze specjalnych poliuretanów, poprzez wypełnienie pęknięć i zarysowań oraz dylatacji (samoczynnie wytworzonych w wyniku uszkodzenia budowli) odkształcalnym polimerem o specjalnie dobranych parametrach wytrzymałościowych, zdolnym do przenoszenia dużych deformacji, co zaprezentowano w pracy na przykładach praktycznych aplikacji.

## 2. Uszkodzenia konstrukcji murowych i betonowych na terenach górniczych

Eksploatacja górnicza, zarówno naziemna w kamieniołomach, jak i podziemna prowadzona na terenach GZW i LGOM często może spowodować wiele negatywnych zjawisk w obiektach powierzchniowych. Oddziaływania terenu górniczego na powierzchniowe obiekty budowlane są trojakiemu rodzaju i można je podzielić na: deformacje ciągłe (nie wywołują wyraźnego naruszenia spójności skał lub gruntu i występują w postaci niecek statycznej i dynamicznej), deformacje nieciągłe (związane z występowaniem lejów zapadliskowych, rowów i szczelin, uskoków i stopni oraz lokalnych niecek i zależne od głębokości eksploatacji i rodzaju skał budujących nadległy górnotwór) oraz wstrząsowe, wywołane tąpnięciami, pękaniem skał i robotami strzałowymi [10].

### 2.1. Uszkodzenia spowodowane deformacjami podłoża

Bardzo często to deformacje podłoża na skutek eksploatacji górnicznej mogą mieć negatywny wpływ na konstrukcję budynków. Z takim przypadkiem mieliśmy do czynienia przykładowo w 2011 r. w obszarze dzielnicy Karb w Bytomiu w kwartale ulic Pocztowa, Techniczna i Falista (rys. 1). Przyczyny wystąpienia awarii w tych budynkach należy wiązać z niewłaściwą oceną odporności budynków na deformacje przed podjęciem eksploatacji jednej ze ścian, a w szczególności brakiem oceny na oddziaływanie poziomych odkształceń ściskających i pionowej krzywizny wklęsłej. Zatrzymanie eksploatacji spowodowało pod ziemią zbliżenie ustalonej końcowej krawędzi eksploatacyjnej,

a na powierzchni wygenerowanie skłonu niecki obniżeniowej bliżej zabudowy przy ulicach Pocztowej i Technicznej, co ostatecznie skutkowało wystąpieniem wyraźnie większych od programu odkształceń poziomych o charakterze ściskania pod zabudową. Wystąpienie uszkodzeń konstrukcyjnych w wymienionych budynkach należy także wiązać z wykonywaniem modernizacji kanalizacji w latach 2008 - 2009 bez należytego zabezpieczenia głębokich (od 3 - 6 m) wykopów w bezpośrednim sąsiedztwie tych obiektów. Łączne wystąpienie wyżej wymienionych czynników spowodowało dużą awarię budynków mieszkalnych. Efektem tej awarii były uszkodzenia elementów konstrukcyjnych budynków i konieczność przesiedlenia kilkudziesięciu rodzin z zagrożonych obiektów, a także zamknięcie przedszkola, w którym powstałe uszkodzenia zagrażały bezpiecznemu przebywaniu w nim dzieci (rys. 1).

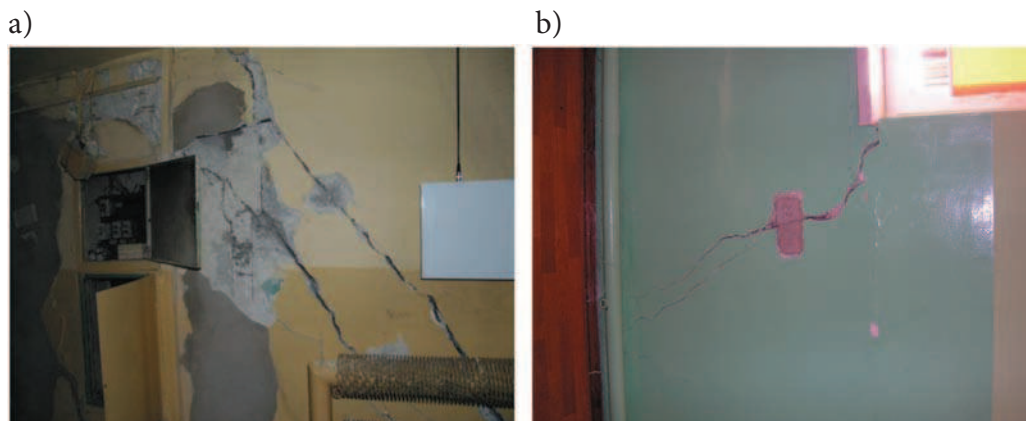
### 2.2. Uszkodzenia spowodowane wstrząsami górniczymi

W przypadku uszkodzeń zabudowy powierzchniowej spowodowanych wstrząsami górniczymi, możliwa jest tylko metoda dedukcyjna, polegająca na powiązaniu możliwych skutków w budynku z zaistniałym wstrząsem. Określenie związku przyczynowo-skutkowego odbywa się na podstawie makroskopowych oględzin. Takie oględziny winny być dokonywane przez zespoły z udziałem inżynierów budownictwa z doświadczeniem w zakresie dynamiki konstrukcji. Z praktyki wynika, że w wielu przeglądanych budynkach nie są na bieżąco usuwane dawniej stwierdzone uszkodzenia, jako wynik wpływu wcześniejszych górniczych deformacji powierzchni. Na rys. 2. pokazano przykładowe uszkodzenia zabudowy powierzchniowej na skutek wstrząsów górniczych.

## 3. Polimerowe złącze podatne

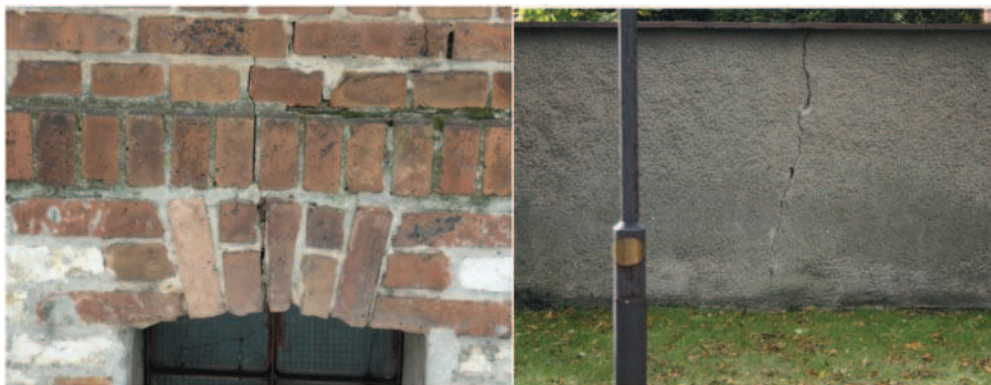
### 3.1. Opis działania złącza

W dotychczasowej praktyce inżynierskiej połączenia w konstrukcjach budowlanych były wykonywane jako sztywne (przenoszące duże naprężenia, lecz niewielkie odkształcenia) lub jako uszczelnienia (praktycznie nieprzenoszące naprężeń, lecz zdolne do dużych deformacji). Polimerowe złącze podatne jest elementem konstrukcyjnym (zbudowanym z grupy materiałów poliuretanowych o nieliniowej charakte-



Rys. 1. Pęknięcia ściany podłużnej w prefabrykowanym budynku w Bytomiu przy ul. Pocztowej 11 – a i uszkodzenia w budynku przedszkola na terenie dzielnicy Karb w Bytomiu – b

Fig. 1. Cracks in longitudinal wall in a prefabricated building in Bytom, 11 Pocztowa Street (left) and damages in a kindergarten building in Bytom, Karb district (right)



Rys. 2. Uszkodzenia spowodowane wstrząsem górniczym: pęknięcie nadproża w budynku murywanym w Chelmie Śląskim [10] – a, pęknięcie muru przykościelnego w Rydułtowach [10] – b

Fig. 2. Damages caused by mining shock: cracked platband in the masonry building in Chelm Slaski [10] (left), crack of churchyard masonry wall in Rydułtowy [10] (right)

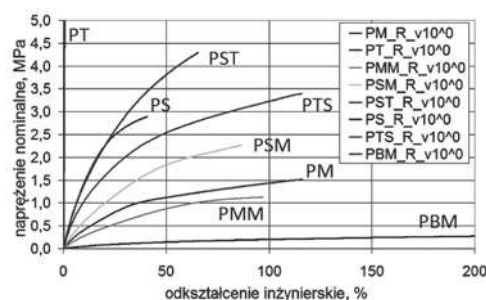
rystyce - rys. 3), wypełniającą pustkę pomiędzy dotychczas stosowanymi połączeniami (jednocześnie przenosi naprężenia i duże deformacje).

Metoda polimerowych złączy podatnych jest nowym sposobem naprawy pękniętych konstrukcji murowych i betonowych oraz innowacyjnym sposobem łączenia podatnego nowo wykonywanych elementów konstrukcyjnych z użyciem przegubów sprężysto-lepko-plastycznych. Elementy konstrukcyjne łączy się poprzez wypełnienie pęknięć i zarysowań oraz dylatacji (samoczynnie wytworzonych w wyniku uszkodzenia budowli) odkształcalnym polimerem o specjalnie dobranych parametrach wytrzymałościowych, zdolnym do przenoszenia dużych deformacji. Ważną cechą proponowanej metody jest zachowanie w łączonych elementach budowli pierwotnego lub nowego ustalonego stanu naprężenia, powstałego w wyniku redystrybucji naprężeń po wystąpieniu uszkodzenia. W przypadku wystąpienia dodatkowego obciążenia elementy konstrukcyjne połączone podatnym złączem nośnym mogą ulegać wzajemnym (ograniczonym) przemieszczeniom, wytracając w ten sposób energię odkształcenia. Co ważne, nie wprowadzają dodatkowych niekorzystnych naprężeń w budowli. Przy odpowiednim doborze parametrów wytrzymałościowych złącza uzyskuje się konstrukcję nośną o wytrzymałości zbliżonej do pierwotnej, ale o zwiększonej podatności. W przypadku zastosowania złącza podatnego nie ma potrzeby realizowania odciążenia konstrukcji (wręcz nie jest to wskazane). Podejście to jest odmienne od dotychczas stosowanych metod naprawy i wzmocnienia, bazujących na zmianie w konstrukcji zaistniałego stanu odkształcenia i naprężenia.

Przy wystąpieniu oddziaływań dynamicznych konstrukcja podatna, odkształcając się, lepiej pochłania energię pochodzącą od drgań lub dużych deformacji i w tym układzie nie ulega dalszej destrukcji. Wprowadzenie materiału sprężysto-lepko-plastycznego w miejsce zarysowań i pęknięć w uprzednio uszkodzonej konstrukcji nośnej wykonanej z materiałów kruchych (mur, beton) powoduje przywrócenie spójności konstrukcji, zwiększenie tłumienia całej konstrukcji oraz zwiększa ciągłe zachowanie układu nośnego. Wynika to z różnicy w odkształcalności łączonych materiałów. Polimer wypełniający pęknięcia łączy rozdzielone elementy nośne konstrukcji, tworząc nową pojemność energetyczną w konstrukcji, zbliżoną do tej sprzed uszkodzenia lub większą. Przywraca on uszkodzonemu obiektowi w miejscach pęknięć odporność na naprężenia rozciągające, ścinające i ściskające, gdzie nośność ta była utracona. Zwłaszcza większe od poprzednich są: wytrzymałość na rozciąganie, odkształcalność i ciągłość, co jest szczególnie korzystne przy wystąpieniu obciążeń dynamicznych. Wypełnienie pęknięć polimerem powoduje także wzrost tłumienia całej konstrukcji oraz możliwość dyssypowania większej ilości energii wymuszenia.

Tradycyjnie stosowane połączenia sztywne nie mają możliwości przenoszenia większych deformacji w przeciwieństwie do złącza podatnego, które [5]:

- deformuje się w trakcie przekazywania obciążenia (tłumi vibracje i wyrównuje deformacje);
- zapewnia jednorodny rozkład naprężeń wzdłuż połączenia na całej powierzchni kontaktu, optymalnie wykorzystując łączący materiał w połączeniu konstrukcyjnym;
- zapobiega nagłemu nieprzewidzianemu uszkodzeniu złącza;



Rys. 3. Zakres pracy polimerowych złączy podatnych i charakterystyki budujących je poliuretanów  
Fig. 3. Polymer flexible joint range and characteristics of polyurethanes constructing them



- łączy konstrukcyjne nieciągłości w miejscu pęknięć i ogranicza rozwój nowo powstających punktów koncentracji naprężeń.

Technologię złączy podatnych należy traktować jako uzupełnienie dotychczas stosowanych metod naprawy uszkodzonych budowli. Analiza zjawisk występujących w otoczeniu polimerowych złączy podatnych łączących elementy wykonane z materiałów kruchych wykazała, że podatne połączenie powoduje redukcję koncentracji naprężeń w materiałach kruchych, przyczyniając się do zwiększenia nośności konstrukcji skleionej w stosunku do konstrukcji nieuszkodzonej oraz prowadzi do korzystnej redystrybucji naprężeń [5].

### 3.2. Zwiększenie nośności i energii zniszczenia po naprawie złączem podatnym

Naprawa pękniętej konstrukcji przy użyciu złącza podatnego umożliwia zwiększenie nośności całej konstrukcji po naprawie oraz energii zniszczenia, jaka jest potrzebna do powstania nowego pęknięcia. Zjawisko to, charakterystyczne dla pracy złączy podatnych, zostało przedstawione na przykładzie testu czteropunktowego zginania cegieł Bonarka (rys. 4), które po złamaniu zostały naprawione dwoma typami polimerów. Przebadanych zostało 10 cegieł, z których jedną połowę skleiono polimerem PT (moduł Younga  $E = 600$  MPa i odkształcalność graniczna 15%), a drugą polimerem PM (moduł Younga  $E = 4$  MPa i odkształcalność graniczna 120%). Cegły po naprawie ponownie poddano testowi czteropunktowego zginania. W każdym przypadku wyznaczano naprężenia niszczące zgodnie ze wzorem (1) i porównano je ze sobą, wyznaczając procentowy przyrost wzmocnienia po

naprawie, zakładając pierwotną wytrzymałość badanej cegły jako 100%.

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{F(L-L_1)}{bh^2} \quad (1)$$

gdzie:

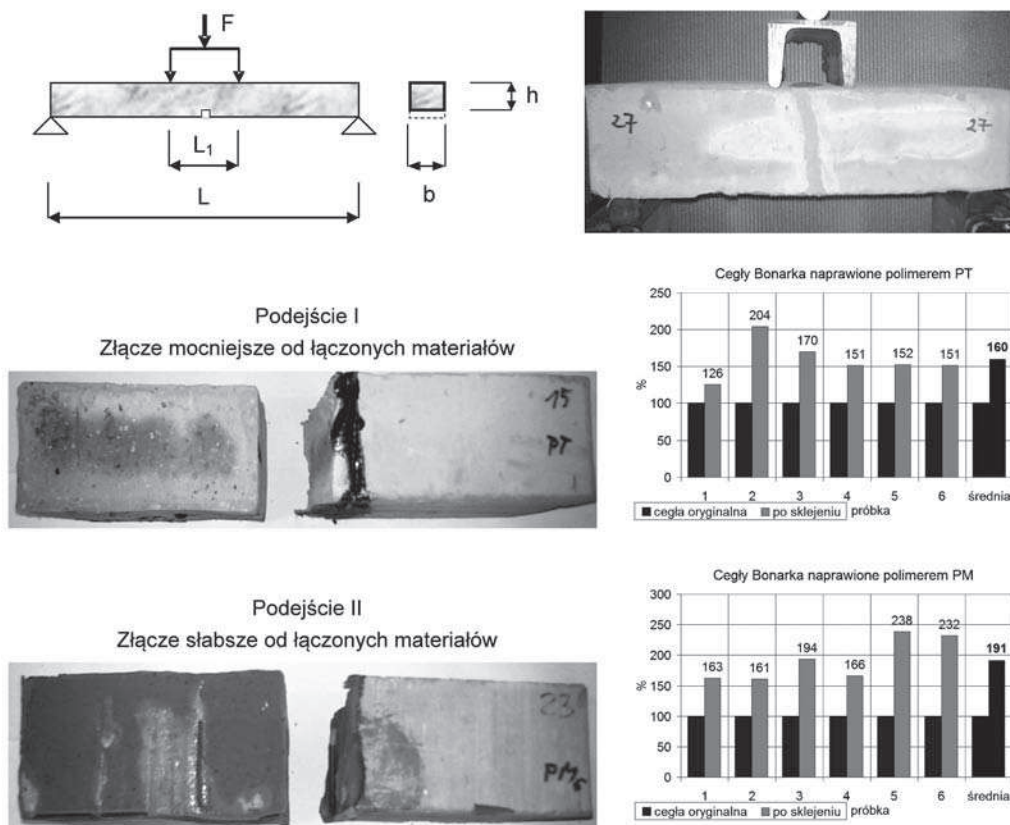
- $\sigma$  – naprężenie,
- $F$  – siła,
- $L, L_1$  – rozpiętości,
- $b, h$  – wymiary przekroju poprzecznego.

Uzyskane wyniki wraz z obliczonymi wartościami średnimi przedstawiono graficznie na rys. 4. Szczegółowe wyniki przeprowadzonych testów można znaleźć w pracy [5].

W obu przypadkach naprawy uzyskano przyrosty nośności ok. 60% dla naprawy polimerem PT i ok. 90% dla naprawy polimerem PM. Wyniki te spowodowane są redukcją pików koncentracji naprężeń i ich redystrybucją, które to zjawiska, towarzyszące pracy złączy podatnych, zwiększają zapas dodatkowej nośności w konstrukcji.

W naprawie konstrukcji przy użyciu złączy podatnych wyróżnia się dwa podejścia. W pierwszym, wytrzymałość materiału złącza (PT) jest większa od materiału naprawianej konstrukcji (zniszczenie wtórne przebiega obok złącza w materiale konstrukcji). W drugim, wytrzymałość materiału złącza (PM) jest mniejsza od materiału naprawianej konstrukcji (zniszczenie wtórne przebiega w złączu, a nie w materiale konstrukcji). Oba przypadki zniszczenia wtórnego przedstawiono na rys. 4.

Wartość energii zniszczenia, która może być wyznaczana na podstawie pomiaru pola powierzchni naprężenie-odkształcenie, jest miarą bezpieczeństwa. Im większa jest energia zniszczenia potrzebna do uszkodzenia konstrukcji, tym jest ona bezpiecz-



Rys. 4. Wyniki testu czteropunktowego zginania cegieł Bonarka po naprawie polimerami PT i PM oraz postacie zniszczenia naprawionych elementów badawczych

Fig. 4. Four point bending test results carried out on Bonarka bricks repaired by use of polymers PT and PM, as well as failure modes of the repaired specimens

niejsza. Naprawa konstrukcji murowych (o kruchym zachowaniu) przy użyciu polimerowych złączy podatnych umożliwia znaczące zwiększenie energii zniszczenia (deformacji), co jest szczególnie istotne w przypadku uszkodzonych konstrukcji poddanych działaniu dużych deformacji (przejście niecki osiadań) oraz działaniu sił dynamicznych (wstrząsy górnicze).

Zwiększenie energii zniszczenia po naprawie złączem podatnym (w stosunku do elementu badawczego pierwotnego) przedstawiono na przykładzie wybranych próbek badawczych (test opisany powyżej) naprawionych polimerami PT i PM. W przypadku polimeru PT oprócz przyrostu nośności o ponad 60% uzyskano prawie 4-krotne zwiększenie energii zniszczenia, natomiast w przypadku polimeru PM oprócz przyrostu nośności o ponad 90% uzyskano ponad 14-krotne zwiększenie energii zniszczenia (rys. 5). Przedstawione wyniki wskazują, że użycie polimerowych złączy podatnych do naprawy konstrukcji murowych jest efektywne.

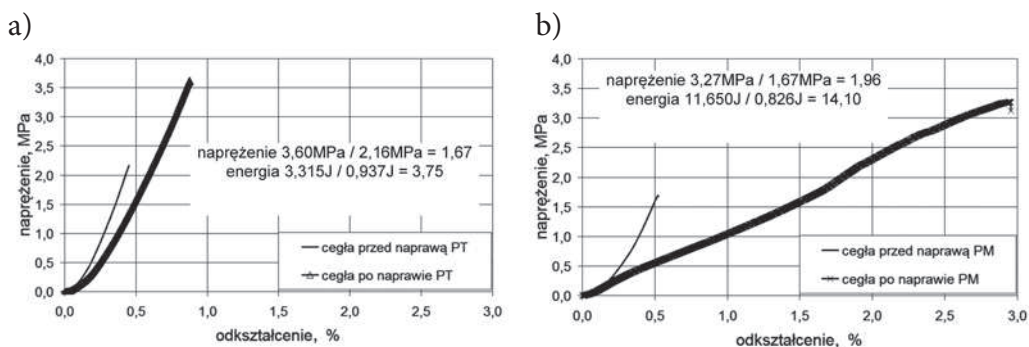
#### 4. Naprawy obiektów i elementów budowlanych przy użyciu polimerowego złącza podatnego

Jednym z przykładów wysokiej skuteczności złącza podatnego jest naprawa znacząco popękane go budynku ceglanego

przy użyciu polimeru PM. Budynek ten był poddany silnym działaniom dynamicznym oraz dużym deformacjom przed i po naprawie. W trakcie tych ekstremalnych testów niszczących złącze podatne nie uległo uszkodzeniu (rys. 6), co opisano szczegółowo w pracy [7].

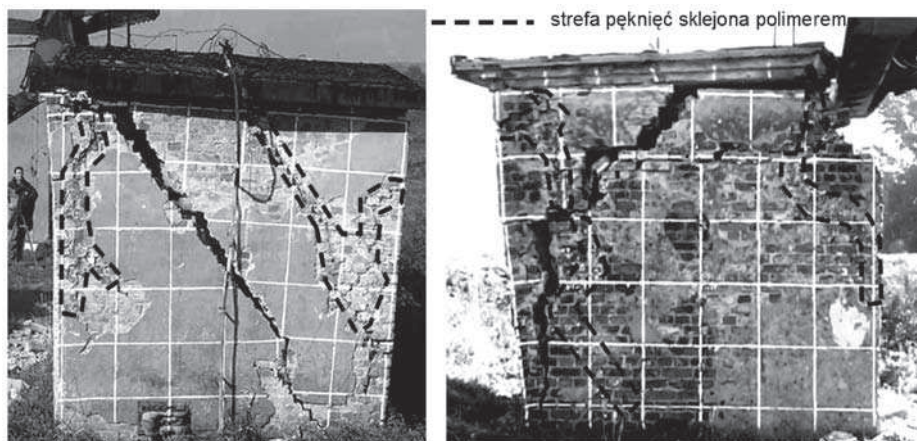
Polimerowe złącze podatne wykonane z polimeru PM wykorzystano także do naprawy popękane go budynku murowanego w Prawęcinnie. Obiekt ten wybudowany z kamienia uległ uszkodzeniu w wyniku nierównomiernych osiadań po powodzi. Pęknięcia ścian nośnych dochodziły do 40 mm szerokości [6] – rys. 7. Polimerowe złącze podatne powstrzymało szybko postępujący proces destrukcji obiektu, który prawidłowo funkcjonuje do tej pory.

W 2007 roku, polimerowe złącze podatne zostało wykorzystane w pracach konserwatorskich do podatnego zamocowania figur na fasadzie Pałacu pod Błachą Zamku Królewskiego w Warszawie (rys. 8) oraz kapliczki na Placu Bernardyńskim przy ul. Czerniakowskiej w Warszawie. Prace wykonano w celu ochrony elementów zabytkowych przed oddziaływaniem na nie drganiami komunikacyjnymi, wywołującymi destrukcję figur. Zastosowana wibroizolacja pracuje prawidłowo do tej pory [5].



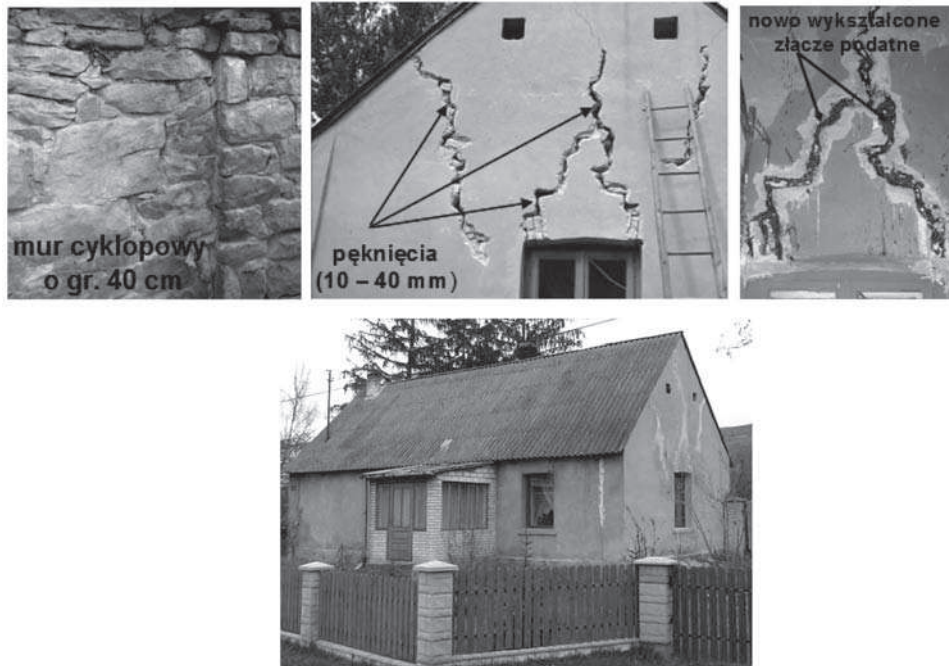
Rys. 5. Porównanie krzywych  $\sigma$ - $\varepsilon$  dla wybranych próbek przed i po naprawie polimerami PT i PM oraz porównanie obliczonych przyrostów nośności i energii zniszczenia

Fig. 5. Comparison of the  $\sigma$ - $\varepsilon$  curves for the selected samples before and after repair by use of polymers PT and PM, as well as comparison of the calculated increments of strength and damage energy



Rys. 6. Praca polimerowych złączy podatnych, podczas procesu destrukcji naprawionego budynku murowanego, utrzymujących w całości jego fragmenty [5]

Fig. 6. Work of polymer flexible joints during destruction process of the repaired masonry building, which support the detached parts of the building [5]



Rys. 7. Naprawa (przy użyciu polimerowego złącza podatnego) popękanego budynku murowanego z kamienia, uszkodzonego w wyniku nierównomiernych osiadań po powodzi [5]  
 Fig. 7. Repair (by use of polymer flexible joint) of the cracked masonry building made of stone, damaged by uneven settlements after a flood [5]



Rys. 8. Mocowanie figur na fasadzie Pałacu pod Blachą Zamku Królewskiego w Warszawie [5]  
 Fig. 8. Fastening of statues on the facade of Palace "pod Blacha" in Zamek Krolewski in Warsaw [5]

Zaprezentowane przykłady praktycznego zastosowania polimerowych złączy podatnych potwierdziły skuteczność innowacyjnej metody naprawy przez okres wielu lat eksploatacji. Złącza te, pracujące na obiektach poddanych silnym wpływom dynamicznym i dużym deformacjom, a także testowane w warunkach ekstremalnych obciążeń, wykazały się odpowiednimi cechami, umożliwiającymi należytą pracę naprawionych konstrukcji. Cechy te, do których należy redukcja koncentracji naprężeń i równomierny ich rozkład oraz dyssypacja dużej ilości energii, wskazują na przydatność polimerowych złączy podatnych do zastosowań naprawczych na terenach szkód górniczych.

## 5. Podsumowanie

Istniejące, tradycyjne metody naprawy pękniętych elementów konstrukcyjnych nie zapewniają skutecznego połączenia i szczelności łączonych elementów. Dotyczy to szczególnie przypadków wpływu dużych deformacji terenu i przenoszenia obciążeń, powstających w ich wyniku. Konstruktorzy i wykonawcy budowlani obecnie nie dysponują materiałami i technologiami zapewniającymi odpowiednią trwałość elementów poddanych dużym deformacjom terenu. Przedstawiona w pracy metoda złącza podatnego polega na łączeniu elementów konstrukcyjnych za pomocą specjalnych, sprężysto-lepko-plastycznych poliuretanów. Wskazano zakres pracy polimerowych



złącza podatnych i charakterystyki budujących je poliuretanów, a także pokazano ograniczenia stosowanych tradycyjnie połączeń sztywnych.

W pracy wykazano, że stosowane w naprawach złącza podatne powodują kilkudziesięcioprocentowy wzrost nośności naprawianego elementu konstrukcyjnego. Dotychczas wykonane naprawy przy zastosowaniu złącza podatnego wskazują, że ten innowacyjny sposób może być także z powodzeniem stosowany na obszarach objętych wpływami eksploatacji górniczej. Dotyczy to terenów LGOM i GZW, gdzie dotychczas stosuje się tradycyjne metody napraw.

Metody te obciążone są jednak dużymi kosztami społecznymi i koniecznością wykwaterowania mieszkańców na czas trwania remontu, pomimo relatywnie niskich kosztów używanych tradycyjnych materiałów naprawczych. Z tego względu, w najbliższym czasie powinny być rozpoczęte prace nad wdrożeniem metody złącza podatnego, jako alternatywnego sposobu naprawy uszkodzonych obiektów powierzchniowych na terenach górniczych.

## Literatura

1. *Kawulok M.*: Szkody górnicze w budownictwie. Prace naukowe ITB. Warszawa 2010.
2. *Klabis L., Kowalski A.*: Deformacje powierzchni spowodowane eksploatacją pojedynczej ściany z zawałem stropu. „Przeгляд Górnicy” 2013, nr 8, s. 62-70.
3. *Kowalski A.*: Dokładność i trafność prognoz obniżen powierzchni spowodowanych podziemną eksploatacją górnicyą w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym. Wybrane problemy badań geologicznych i hydrogeologicznych dla górnictwa i energetyki. Praca zbiorowa pod redakcją Przemysław Bukowskiego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2012, s. 184-197.
4. *Kwiatek J.*: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice 2007.
5. *Kwiecień A.*: Polimerowe złącza podatne w konstrukcjach murych i betonowych. Monografia nr 414, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Seria Inżynieria Łądowa, Kraków 2012.
6. *Kwiecień A., Zajac B.*: Naprawa pękniętych budynków murowanych metodą złącza podatnego. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Awarie Budowlane’07, Wyd. Ucz. Politechnika Szczecińska, Szczecin-Międzyzdroje, t.1, 2007, s. 843-850.
7. *Kwiecień A., Zajac B.*: Praca polimerowego złącza podatnego na przykładzie polowych badań niszcących budynek. Czasopismo Techniczne, „Budownictwo” 2009, nr 2-B, z. 9, s. 205-216.
8. *Mika W., Muszyński L.*: Wpływ wielokrotnej eksploatacji górnicyą na budynek o rozległym rzucie pionowym. Materiały XI Dni Miernictwa Górnicy i Ochrony Terenów Górnicych, Prace Naukowe GIG „Górnictwo i Środowisko” 2011, nr 2/1, s. 332-340.
9. *Tatara T.*: Działanie drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górnicyymi na niską tradycyjną zabudowę mieszkalną, „Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej”, seria „Inżynieria Łądowa” 2002, nr 74.
10. *Tatara T.*: Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górnicych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012, s. 258.
11. *Szojda L.*: Analiza współdziałania murowanych budynków ścianowych z deformującym się podłożem. Politechnika Śląska, Gliwice 2001.