

## Badania stuletniego betonu z mostu na ul. Zamojskiej w Lublinie Sławomir Karaś<sup>1</sup>, Beata Klimek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,  
e-mail: s.karas@pollub.pl

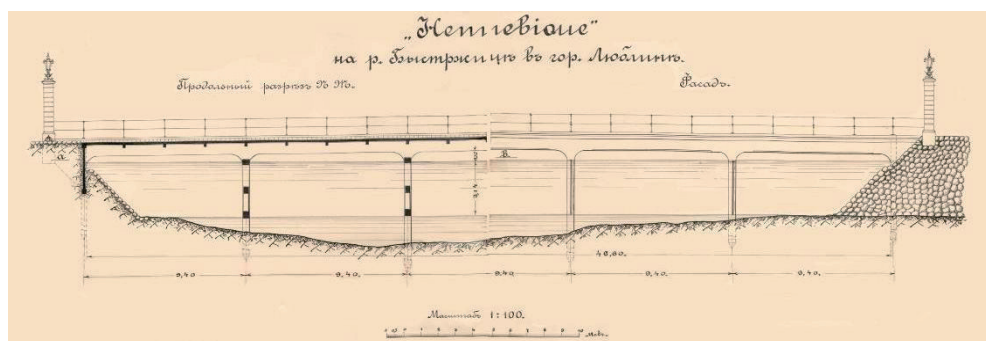
<sup>2</sup> Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,  
e-mail: b.klimek@pollub.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań betonu z *Mostu Mariana Lutosławskiego* przy ulicy Zamojskiej w Lublinie. Inżynier Marian Lutosławski kierował budową dwóch mostów żelbetowych w technologii Francoisa Hennebique'a. Wykonano badania betonu z tych obiektów *in situ* oraz laboratoryjne. Próbkę poddawano badaniom wytrzymałości na ściskanie oraz badaniom makro i mikrostruktury. Obserwacje mikrostruktury wykonano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej SEM wraz z wyznaczeniem widma pierwiastków z powierzchni EDS. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano wnioski zestawiając je z analogicznymi badaniami innych starych betonów.

**Słowa kluczowe:** mosty M. Lutosławskiego, makrostruktura betonu, SEM, EDS.

### 1. Wprowadzenie

W Lublinie istnieją dwa mosty wybudowane odpowiednio w roku 1908 i 1909 przez inż. Mariana Lutosławskiego według projektów Francoisa Hennebique'a w dzielnicy Kalinowszczyzna i na ul. Zamojskiej, Rys. 1. i 2. M. Lutosławski wybudował w Polsce łącznie cztery takie mosty. Poza omawianymi w tym artykule, były wybudowane jeszcze w Piasecznie pod Warszawą i w Tuligłowach koło Krasnegostawu. Do dziś zachowały się tylko dwa z nich, w Lublinie. Jak się wydaje, te mosty są obecnie jedynymi takimi na świecie.



Rys. 1. Most na Kalinowszczyźnie wg projektu, przekrój podłużny i widok z boku<sup>1</sup>



Rys. 2. Most na ul. Zamojskiej

Chronologicznie pierwszy most powstał na Kalinowszczyźnie. W roku 1978 został wyłączony z ruchu samochodowego, pozostając na uboczu, w otoczeniu nieuporządkowanych miejskich terenów zielonych.

W latach 80-tych, wraz z powstaniem popularnej rekreacyjnej ścieżki rowerowej most jest wykorzystywany jako fragment ciągu pieszo-rowerowego. Mniej więcej w tym samym okresie przy skrzyżowaniu ulic Melgiewskiej i Turystycznej wybudowano zespół domów towarowych, do którego najkrótsza droga piesza z osiedli mieszkaniowych na Kalinowszczyźnie biegnie fragmentem przez omawiany most. Można zatem uznać, że most z 1908 roku ma nową funkcję transportowo-społeczną. W kategoriach technicznych most jest użyteczny w nowej formie, zmienionej w stosunku do jego roli projektowej.

Jest to most żelbetowy, przy czym jego stan techniczny można określić jako graniczny. Jesienią 2013 roku zaobserwowano duże odspojenia ciągle liniowe otuliny betonowej, o długości łącznej powyżej 1m. W widoku od spodu formy korozji wyczerpują wszystkie jej postacie. Ze względu na unikalny charakter tego belkowego mostu w technologii F. Hennebique'a w skali światowej, obiekt jest niezwykle cennym świadectwem postępu technicznego w świecie i oczywiście w Polsce, chociaż formalnie nie jest wpisany na listę zabytków.

Drugi z mostów znajduje się w ciągu ulicy Zamojskiej, tworzącej historyczny trakt zamojski. Most łączył dwie części miasta. W XIX w. na skutek dynamicznego rozwoju kapitalizmu w Lublinie, w otoczeniu wybudowanego w 1848 roku dworca kolejowego, powstała dzielnica przemysłowa. Te tereny miały wówczas nazwę – Piaski. Na Piaskach powstawały składy materiałów, manufaktury i fabryki. Z czasem także bogate modernistyczne pałace i wille fabrykantów. Most przez rzekę Bystrycę stał się zwornikiem pomiędzy historycznym starym centrum a przemysłowymi Piaskami.

Decyzja o budowie żelbetowego mostu na ul. Zamojskiej była czysto ekonomiczną decyzją. Z dokumentów zgromadzonych w Archiwum Państwowym Lublina (APL), wynika, że dokonano oszacowania kosztów wzniesienia nowego mostu drewnianego oraz uwzględniono znane koszty utrzymania takiego mostu w ciągu najbliższych 20 lat. Bilans jednoznacznie wskazywał na zastosowanie jako budulca żelbetu, który był wówczas postrzegany jako nie wymagający remontów, na pewno w przeciągu 20 lat po budowie.

Most na ul. Zamojskiej zawiera w sobie dialektyczną sprzeczność, która dzieli poprzez postrzeganie architektoniczno-konstrukcyjnej formy mostu, przynajmniej na dwie strony. Na wyposażenie mostu składa się między innymi bogata, masywna, nawet monumentalna balustrada w stylu neogotyckim. Końce balustrady są dodatkowo podkreślone przez kolumny oświetleniowe. Projektantem balustrady był warszawski architekt Jan

Heurich młodszy. Architekt patrzący na most postrzega jedynie bogatą balustradę, inne elementy mostu jak: kształtowanie koryta rzeki, podpory, ustrój nośny – właściwie nie są dostrzegane. Inaczej obiekt jest odbierany przez inżyniera budownictwa, w tym inżyniera mostownictwa. Dla tej grupy obserwatorów istotna jest mechanika, w tym czytelność kształtowania konstrukcji, rozeznanie sił wewnętrznych i wreszcie tworzywo mostu. Jak zwykle w dialektyce nie chodzi o wspólny punkt widzenia ale raczej o trwały spór. W tym sensie obie zdefiniowane powyżej i pokrótce strony istnieją na zasadzie równowagi wewnętrznej, a w sensie poznawczym się dopełniają.

Most na ul. Zamojskiej po wielu latach różnych starań został odnowiony w roku 2011. Niemal natychmiast, bo już w roku 2013, władze miasta Lublina nadały mu imię jego budowniczego: *Most Mariana Lutosławskiego*. Z racji aktywności środowisk kulturalnych Lublina most ma także drugą nieformalną nazwę *Most Kultury*. Obie nazwy są adekwatne.

Podczas remontu mostu nastąpiła częściowa wymiana wyposażenia, dokonano lokalnych odsłoneń fragmentów nośnych elementów – wszystko zgodnie z surowym prawem konserwatorskim, Rys 3. a.



Rys. 3. Obraz częściowej rozbiórki z fragmentami betonu pobranego do badań laboratoryjnych, a) przyczółek od południa, b) pobieranie próbek

Stan częściowej rozbiórki nieodzownie łączył się z powstaniem znacznej ilości odpadów. Spośród nich, przy zachowaniu pełnej identyfikacji przynależności do konstrukcji mostowej, pobrano za zgodą kierownika budowy kilka bloków betonu i przewieziono je do Laboratorium Budownictwa WBiA PL. Tu, dzięki inwencji mgra Kazimierza Słowika, skonstruowano genialne w swej prostocie stanowisko do pobierania próbek rdzeniowych z bloków ponad stuletniego betonu, Rys. 3. b. Badania przedmiotowego betonu są treścią niniejszego artykułu.

## 2. Badania betonu prowadzone w 2002 r.

Zainteresowanie mostami Lutosławskiego trwa nieprzerwanie od początku XXI w. Jest związane z zadaniem statutowym Katedry Dróg i Mostów WBiA PL. Z racji ograniczeń wynikających z wpisania mostu z ul. Zamojskiej do rejestru zabytków, możliwe były tylko badania nieniszczące *in situ*. W 2004 r. wykonano badania sklerometryczne<sup>2</sup>. Obszary pomiarowe przyjęto na powierzchniach bocznych pali-słupów, rygli i zastrzałów. Stosowano młotek typu N przy poziomych ustawieniach. Poniżej zamieszczono wyniki badań w Tabeli 1.

Po przeanalizowaniu otrzymanych wyników stwierdzono bardzo wysoką jednorod-

<sup>2</sup> Szewczyk E., *Koncepcja użytkowania historycznego mostu w ciągu ulicy Zamojskiej w Lublinie*, Praca magisterska, WBiS, 2002.

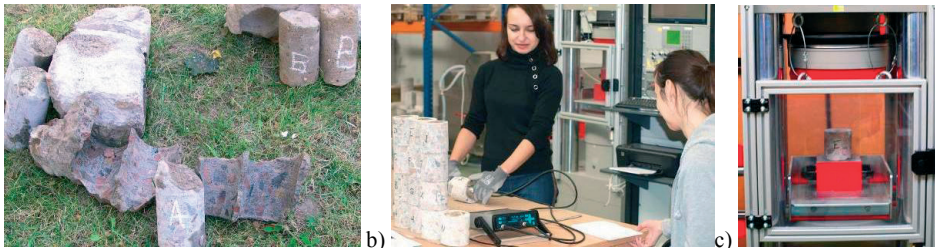
ność betonu. Wytrzymałość betonu w chwili badania oszacowano na ~40 MPa, a sprowadzoną do klasy wytrzymałości równą ~22 MPa, co odpowiada klasie wytrzymałości betonu C16/20. Prawidłowość uzyskanych rezultatów została potwierdzona badaniami próbek rdzeniowych na ściskanie w 2011 r.

Tabela 1. Wyniki badań sklerometrycznych filarów

Element	$L_{isr.sprov}$	$f_{cm,i}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm,i,28}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm,28}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{(f_c,28)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$V_{(f_c)}$	$f_{c,28,95\%}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Oczep	42	40,76	22,12	22,0	0,535	0,024	21,2
	42	41,33	22,43				
	41	39,17	21,25				
	41	40,19	21,81				
	43	41,65	22,60				
	45	44,13	23,95				
	43	42,61	23,12				
Słup	44	42,99	23,33	23,0	0,533	0,023	22,1
	43	42,56	23,09				
	44	43,75	23,74				
	43	42,02	22,80				
	43	41,86	22,71				
	42	40,91	22,20				
	41	40,19	21,81				
	43	42,83	23,24				
Zastrzał	41	39,78	21,58	21,7	0,138	0,006	21,5
	41	40,14	21,78				

### 3. Badania betonu prowadzone w 2011 r.

W roku 2011 badaniom wytrzymałościowym poddano próbki rdzeniowe pobrane z elementów mostu na ulicy Zamojskiej, Rys. 4. Rdzenie pobierano zgodnie z normą PN-EN 12504-1.



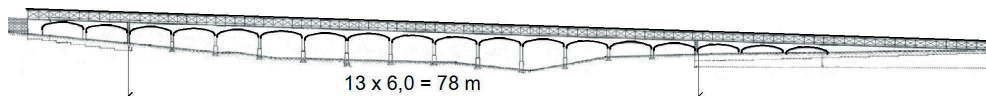
Rys. 4. a) Pobrane próbki rdzeniowe z elementów konstrukcji nośnej, b) betonoskopia, c) wytrzymałość na ściskanie

Wyniki badania betonoskopowego i wykonanych badań sklerometrycznych były zbieżne. Po pobraniu próbek rdzeniowych okazało się, że przy budowie mostu stosowano różne mieszanki betonowe do różnych elementów mostu. Łącznie z zaprawą wyróżniono 5 różnych betonów. Obserwacje makroskopowe w oczywisty sposób przełożyły się na wartości wytrzymałości. Wyniki w formie syntetycznej zawarto w Tabeli 2.

Tabela 2. Rezultaty badania wytrzymałości na ściskanie betonów stosowanych w moście na ul. Zamojskiej

Nr	Element mostu	$\sigma_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\nu$ [1]	$\sigma_{95\%}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{28}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Klasa [N/mm <sup>2</sup> ]
1	Ustrój nośny	52,62	0,12	42,53	37,36	C30/37
2	Przyczółki	39,27	0,02	37,78	33,19	C25/30
3	Prefabrykaty balustrady	33,30	0,11	27,19	23,88	C20/25
4	Beton piaskowy	35,75	0,19	24,86	21,84	C16/20
5	Zaprawa	12,10	0,24	8,71	6,50	-

W Belgii, w pobliżu miejscowości Waterloo istniał wyłączony z ruchu kolejowego żelbetowy wiadukt Colo-Hugues. Był wybudowany w 1904 r. na podstawie patentu F. Hennebique'a. Konstrukcję ramową wiaduku o łącznej długości  $18 \times 6 = 108$  m przedstawia, Rys. 5. W przekroju poprzecznym zastosowano 4 belki w rozstawach 1,3-1,0-1,3m, przy czym dwie środkowe belki były usytuowane pod torami kolejowymi. W roku 2010 zdecydowano o rozebraniu wiaduku. Była to okazja do przeprowadzenia badań belek w całości oraz szczegółowo badań betonu [1, 2].

Rys. 5. Widok z boku na wiadukt Colo-Hugues<sup>3</sup>

W testach ściskania próbek wyodrębnionych z pobranych rdzeni z wiaduku uzyskano wyniki zamieszczone w Tabeli 3, będącą repliką z pracy [2], przy czym nie podaje się opisu szczegółowego zawartych w niej danych, odsyłając do źródła. Należy zwrócić uwagę na zbieżność uzyskanych wyników w zakresie wytrzymałości uzyskanych w chwili badania oraz wytrzymałości sprowadzonych do czasu po 28 dniach wiązania i twardnienia z zamieszczonymi w Tabeli 2.

Tabela 3. Wyniki badań betonu na ściskanie na próbkach rdzeniowych pobranych z wiaduku Colo-Hugues

Localisation	$f_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm,28}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm,RN}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm,RNcar}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ck, isEC}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ck, isEN}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Slab	54,2 ( $\sigma_x=7$ )	32,6	49,0	45,5	42,1	47,2
Beam	34,6 ( $\sigma_x=8$ )	20,8	45,3	41,5	21,4	27,6
Column	19,7 ( $\sigma_x=2$ )	11,8	24,7	15,6	17,0	12,7

(Table 2-7: Values of concrete compressive strenght from the samples of the Colo-Huges viaduct)

Źródło: replika tabeli z pracy [2], 2012, zamieszczone za zgodą autorów.

Porównując wyniki zamieszczone w tabelach 2 i 3, stwierdza się niewielką różnicę świadczącą o lepszej jakości betonu wykonywanego przez M. Lutosławskiego. Należy zaznaczyć, że M. Lutosławski wytwarzał własny cement, przygotowywał receptury i prowadził własne badania betonu<sup>4</sup>.

Pod pojęciem struktury betonu rozumie się zazwyczaj jego budowę wewnętrzną oraz zespół relacji między tymi elementami [3, 4].

<sup>3</sup> Kopia, fragment oryginalnego projektu technicznego

<sup>4</sup> Królikowski L., *Marian Lutosławski*, Przegląd Techniczny – Innowacje, 1975.



Wyróżnia się trzy poziomy obserwacji struktury:

- molekularny (skala Å lub nm),
- strukturalny, skala mikrometrów, określane mianem mikrostruktury,
- poziom struktury, skala powyżej 1 mm, określane mianem makrostruktury.

Przyjmuje się szacunkowo, że w cemencie, znajdują się następujące składniki: uwodnione krzemiany wapnia, C-S-H, powstające z krzemianów wapnia: alit –  $C_3S$  i belit  $b-C_2S$  jako dwa dominujące ilościowo składniki w cemencie. W nich zwykle wyróżnia się formy włókniste, płytkowe, listkowe i tzw. zmięte folie.

W cemencie wodorotlenek wapnia – portlandyt – tworzy się w hydratacji krzemianów wapnia z wodą. Jego kryształy mają zazwyczaj postać płytek heksagonalnych o wielkości od 0,01 do 1 mm. Występują także uwodnione gliniany, siarczanogliniany i glinożelaziany wapnia. Uwodnione gliniany wapnia tworzą się przy hydratacji glinianu trójwapniowego. Fazy te krystalizują w postaci kryształów regularnych oraz płytek heksagonalnych. Kryształy ettringitu występują w postaci kryształów w formie igieł. W porównaniu z uwodnionymi krzemianami wapnia typu C-S-H w zaczynie cementowym kryształy ettringitu są dłuższe i charakteryzują się stałą średnicą na całej długości.

W cemencie węglan wapnia występuje jako produkt karbonatyzacji składników cementu pod wpływem dwutlenku węgla i wody środowiskowej. Karbonatyzacji ulegają wodorotlenek wapnia, uwodnione krzemiany wapnia typu C-S-H i ettringit. Szacuje się, że uwodnione krzemiany wapnia występują w ilości 55–70% objętości, wodorotlenek wapnia w postaci kryształów ~ 20%, uwodnione gliniosiarczany i gliniany wapnia w śladowej ilości oraz pory kapilarnie w wymiarze ~15% objętości [4, 6].

Newralgicznym obszarem wpływającym na wytrzymałość betonu jest powierzchnia kontaktowa pomiędzy stwardniałym zaczynem a kruszywem<sup>5</sup>, co potwierdza mechanika pęknięcia [5]. Występowanie uwodnionych krzemianów wapnia C-S-H wzmacnia przyszłą strukturę i podnosi odporność na pęknięcie. Natomiast występowanie tych samych uwodnionych krzemianów wapnia C-S-H, ale w obecności dużych kryształów portlandytu, powoduje efekt przeciwny. Korzystając z mikroskopii skaningowej zidentyfikowano wybrane składniki w stwardniałym zaczynie cementowym, Tabela 4.

Tabela 4. Możliwości identyfikacji składników stwardniałego zaczynu za pomocą SEM

Lp.	Składnik zaczynu	Mikroskopia elektronowa
1	Relikty nie uwodnionych ziaren cementu	+
2	Żużel i popiół lotny	+
3	Uwodnione krzemiany wapnia typu C-S-H	+
4	Wodorotlenek wapnia (portlandyt)	+
5	Ettringit	+
6	Uwodnione glinożelazyny wapnia typu AFM	+
7	Węglan wapnia	
	Kalcyt	
	Aragonit	+
	Vateryt	

#### 4. Badania makro i mikroskopowe

Do badań wytypowano próbki betonu z: 1. – ustrój nośny mostu, 2. – podpory mostu, 3. – słupki balustrady, 4. – wypełnienia elementów balustrady, 5. – poręcz balustrady.

<sup>5</sup> Praca zbiorowa pod redakcją A. Jarmontowicz, *Metodyka kompleksowych badań laboratoryjnych betonów lekkich*. ITB, 1983.

#### 4.1. Metody badań, preparaty do badań makro i mikrostruktury

Przy rozpoznaniu mikrostruktury stwardniałego zaczynu cementowego zastosowano mikroskop skaningowy SEM wraz z mikrosondą EDS, która daje możliwości oznaczania składu chemicznego mikroobszarów [7, 8].

Przy wykonywaniu preparatów z badanych betonów próbki pobierano zarówno z plasterków wyciętych z całych próbek, jak i fragmentów próbek pozostałych po badaniu wytrzymałości na ściskanie<sup>6</sup>. Powierzchnia preparatów poddana obserwacjom w SEM wynosiła nie mniej niż 0,5 cm<sup>2</sup>. Analizę mikroskopową wykonano w skaningowym mikroskopie elektronowym QUANTA FEG 250.

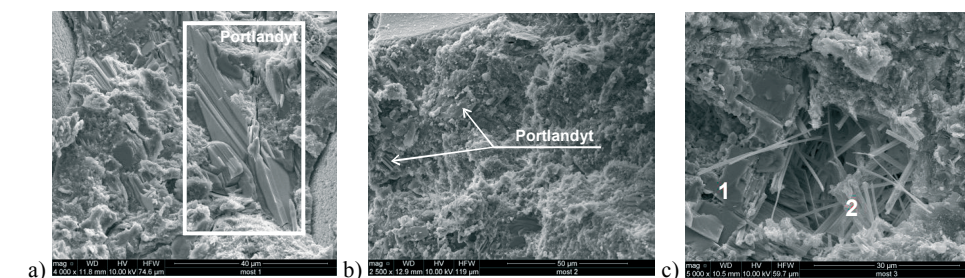
Tabela 5. Charakterystyka makroskopowa pobranych próbek

Nr próbki	Barwa	Obecność makropęknięć i innych defektów struktury	Przyczepność zaczynu do kruszywa	Średnia wielkość kruszywa [mm]
1	jasno szara	brak	bardzo dobra	14,87
2	jasno szara	brak	dobra	9,88
3	szara	kruszywo wylupuje się z zaprawy i często ulega dalszemu rozkruszeniu pod słabym naciskiem	dostateczna, miejscami słaba	10,00
4	szara	kruszywo wylupuje się z zaprawy i często ulega dalszemu rozkruszeniu pod słabym naciskiem	dostateczna, miejscami słaba	10,00
5	jasno szara	mikrorysy na granicy grube kruszywo -zaczyn	dostateczna	6,30

## 5. Wyniki badań

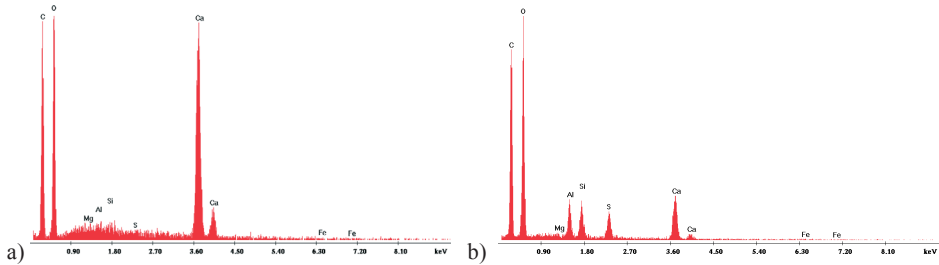
### 5.1. Makro i mikrostruktura stwardniałego zaczynu

Analiza makroskopowa objęła wyniki obserwacji próbek okiem nieuzbrojonym. Analiza w SEM była prowadzona najczęściej w powiększeniach od 2500 do 8000 razy, sporadycznie wykonywano obserwacje w powiększeniu 12 000 razy i większym, Tabela 6. Charakterystyczne fotografie SEM zaczynów zamieszczono poniżej.



Rys. 6. Zdjęcia skaningowe (SEM), zaczyn w betonie a) pr. 1 b) pr. 2 – C-S-H i portlandyt c) pr. 3, 1-portlandyt, 2-ettringit

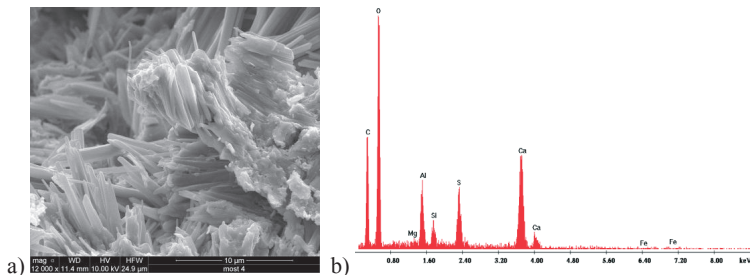
<sup>6</sup> Wg [3], Zarówno jeden jak i drugi sposób ma swoje zalety i wady. Wycinanie próbek z betonu wymaga ponownego nawilżania próbek, stąd należy korzystać z próbek po badaniu wytrzymałości na ściskanie.



Rys. 7. Wyniki energodispersyjnej analizy rentgenowej z zastosowaniem mikros sondy EDS pr. 3 a) w punkcie 1, portlandyt b) w punkcie 2, ettringit

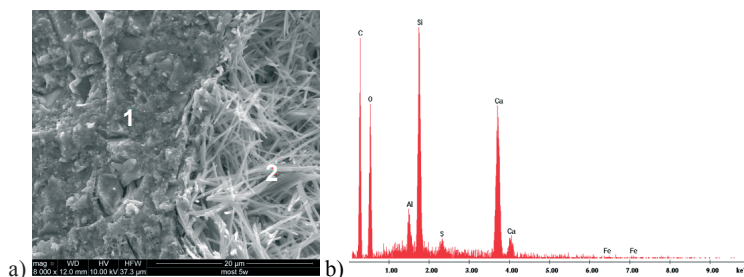
Tabela 6. Wybrane cechy struktury betonu z próbek pobranych z różnych elementów

Nr próbki	Cechy mikrostruktury
1	W skali makroskopowej struktura zwarta. W mikrostrukturze zaczynów próbek nr1 i nr 2 wyróżniono: drobnoporowatą, drobnoziarnistą, a miejscami drobno włóknistą masę złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H, oraz relikty cementu portlandzkiego w postaci ziaren nieregularnym kształcie i częściowo skorodowanych powierzchniach.
2	W skali makroskopowej beton wykazuje rysy, kruszywo wylupuje się z zaprawy, a zaczyn próbki nr 3 ulega dalszemu rozkruszeniu pod słabym naciskiem. Mikrostruktura zaczynu jest silnie porowata, wyróżniono w niej: masę złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H w postaci drobnych, płytek- kryształ wodorotlenku wapnia, w postaci stosunkowo dużych, sześciokątnych tabliczek, częściowo odkształconych, budowie warstwowej, kryształy ettringitu, przeważnie jako skupiska igiełkowatych postaci, (2) relikty cementu portlandzkiego występują w postaci większych ziaren o nieregularnym kształcie (1).
3	W skali makroskopowej beton wykazuje liczne rysy i dezintegruje się pod słabym naciskiem. Mikrostruktura zaczynu próbki nr 4 jest silnie porowata, masa złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H w postaci drobnych, płytek- kryształ wodorotlenku wapnia, w postaci stosunkowo dużych, sześciokątnych tabliczek wykazuje też dezintegrację z równoczesną wyraźną krystalizacją w mikroobszarach włóknistych kryształów ettringitu.
4	W skali makroskopowej struktura zwarta słabo porowata , z nielicznymi rysami W mikrostrukturze zaczynu próbki nr 5 wyróżniono: drobno porowatą, drobnoziarnistą, a miejscami drobno włóknistą masę złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H, relikty cementu portlandzkiego postaci większych ziaren o nieregularnym kształcie, w porach przeważnie jako skupiska igiełkowatych postaci - kryształy ettringitu.
5	



Rys. 8. a) Zdjęcie skaningowe SEM pr. 4 b) EDS w mikroobszarze, ettringit





Rys. 9. a) Zdjęcie skaningowe SEM pr. 5, w punkcie 2 ettringit b) EDS w punkcie 1, kwarc, portlandyt

## 6. Wnioski i podsumowanie

Na podstawie obserwacji makroskopowych, wśród wybranych do badań próbek wyróżniono trzy odrębne grupy<sup>7</sup>:

- Grupa I (próbki 1 i 2) - kruszywo zdominowane przez ziarna kwarcu oraz fragmenty skał, wapieni i marmurów o średniej wielkości okruchów 15 mm i o dużym zróżnicowaniu wielkości występujących fragmentów skał od 3,8 do 35,6 mm.
- Grupa II (próbki 3 i 40) - dominują ziarna kwarcu o średniej wielkości 10 mm. Wielkości i regularne wymiary ziaren wskazują, że było to specjalnie dobierane kruszywo.
- Grupa III (próbka 5) - główny składnik kruszywa to kwarc i drobne fragmenty skał, wapieni i marmurów, o umownej średnicy 6,3 mm i o bardzo małym zróżnicowaniu wielkości występujących fragmentów skał od 4,7 do 8,6 mm.

Przeprowadzone obserwacje mikroskopowe w zakresie mikroobszarów i analiz z punktu próbek betonów implikują wnioski zamieszczone poniżej:

- Podobieństwo stwardniałych zaczynów 1 i 2. W obu zaczynach wyróżnia się drobnooporową, drobnoziarnistą, miejscami drobno włóknistą masę zhydratyzowanego cementu, złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H. Występują także tabliczkowate kryształy portlandytu, relikty nie uwodnionych ziaren klinkieru.
- Podobieństwo zaczynów 3 i 4. Mikrostruktura zaczynów jest silnie porowata. Wyróżniono: masę złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H w postaci drobnych, rozmytych płytek, kryształy wodorotlenku wapnia w postaci stosunkowo dużych, sześciokątnych tabliczek o zarysach rozmytych. Wykryto kryształy ettringitu, przeważnie jako skupiska igielkowatych formach.

Bez wątpliwości w zakresie rozpoznania mikrostruktury formułowane są jasne i uzasadnione wnioski jakościowe. Wykazuje się wpływ rodzaju i wielkości minerałów występujących na powierzchni kontaktowej pomiędzy kruszywem betonu a zaprawą na wzrost lub obniżenie wytrzymałości. Można nawet podać oceny wytrzymałości w wymiarze analizy tj. w skali mikro. Postęp jakościowy wynikający z powszechnego stosowania SEM i EDS sprawił, że takie oceny są niemal powszechne. Jednakże złożoność makrostruktury betonu jak na razie nie jest dostatecznie rozpoznana na tyle, aby móc mówić o pełnym rozpoznaniu mechanizmu zniszczenia, łącząc przy tym oceny powstające na poziomach makro i mikro.

Badanie starych betonów, tj. pochodzących z okresu wprowadzania tej technologii, potwierdza ich wysoką jakość nawet wówczas, gdy są porównywane ze współczesnymi

<sup>7</sup> Podstawowym kryterium wyodrębnienia grup było zróżnicowanie wypełniacza.

betonami mostowymi. Istnienie starych mostów betonowych funkcjonujących przy różnych obciążeniach jest także dowodem na osłabienie formułowanej przez prof. Z. Bażanta tezy o nieuniknionej granicznej sytuacji w zakresie nośności i użyteczności, powodowanej stałym rozwojem pelzania betonu.

## Literatura

- 1 Hellebois A., Espion, B., Test up to failure of a typical RC Hennebique T-beam, *Proceedings of the ICE – Structures and Buildings*, 166(9), p. 81-93, 2013. doi:10.1680/stbu.12.00036.
- 2 Hellebois A., Theoretical and experimental studies on early reinforced concrete structures. Contribution to the analysis of the bearing capacity of the Hennebique System, Université Libre de Bruxelles, Presses Universitaires de Bruxelles, p. 391, 2012. [http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-07312013-12425/unrestricted/Hellebois\\_Arna nde\\_PhDthesis.pdf](http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-07312013-12425/unrestricted/Hellebois_Arna nde_PhDthesis.pdf) [Dostęp: 02.01.2014].
- 3 Bednarek Z., Krzywobłocka-Laurów R., Drzymala T., Wpływ wysokiej temperatury na strukturę, skład fazowy i wytrzymałość betonu. *Zeszyty Naukowe SGSP*, 38, s. 5-8, 2009.
- 4 Krzywobłocka-Laurów R., Badania składu fazowego betonu. Instrukcja nr 357/98, 1998.
- 5 Praca zbiorowa pod redakcją A. M. Brandta i J. Kasperkiewicza, *Metody diagnozowania betonów i betonów wysokowartościowych na podstawie badań strukturalnych*. IPPT PAN, 2003.
- 6 Golewski G.L., Sadowski T., An analysis of shear fracture toughness  $K_{IIc}$  and microstructure in concretes containing fly-ash, *Construction and Building Materials* 51, p. 207–214, 2014.
- 7 Brant A.M., Diagnostyka betonu na podstawie struktury. 56 konferencja naukowa Kielce-Krynica, 19-26 września 2010, s. 57-71, <http://www.ippt.pan.pl/Repository/o99.pdf>; [Dostęp: 22.05.2014]
- 8 Józwiak-Niedzwiedzka D., Tucholski Z., Widukt żelbetowy z początków XX wieku-analiza struktury stuletniego betonu. *Drogi i Mosty*, s. 23-37, 3/2010

## Diagnosis of 100 years old concrete from M. Lutoslawski Bridge in Lublin

Sławomir Karaś<sup>1</sup>, Beata Klimek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Road and Bridge Chair, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: s.karas@pollub.pl*

<sup>2</sup> *Department of Historic Building Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: b.klimek@pollub.pl*

**Abstract:** The paper presents the results investigation of old concrete. The material was retrieved from M. Lutoslawski Bridge which is located in Zamojska Street. M. Lutoslawski built two bridges in Lublin by using Francois Hennebique projects. The carried out investigations include recognition in situ and during laboratory tests. Among others, the concrete compression strength and the diagnosis of concrete microstructure were made by means of SEM and EDS techniques. The conclusions pertain to both macro and microscopic analyses. The concrete strength results were compared with other authors' results obtained for similar old concretes.

**Keywords:** M. Lutoslawski Bridges, concrete macro & microstructure, SEM, EDS