



VII Международный научно-методический семинар  
**"ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
И ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ"**

**Секция V**

**ПРОБЛЕМЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ, КОРРОЗИОННОЙ  
СТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Król M., Halicka A:**

**REKONSTRUKCJE I AKTYWNE NAPRAWY  
KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH**

**1. 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. W pracach [1, 2, 3] autorzy zaproponowali klasyfikację działań rewitalizacyjnych (restauracyjnych) ze względu na istotę, cel oraz sposób oddziaływania na konstrukcję.

Szczególną rolę wśród działań restauracyjnych zajmuje naprawa, rozumiana jako doprowadzenie uszkodzonej konstrukcji do stanu, w którym spełnione będą normowe wymagania nośności i użyteczności, a sama konstrukcja spełniać będzie wymogi użytkowe. Naprawa obejmuje także ewentualną korektę konstrukcyjną w przypadku występowania błędów pierwotnych.

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 eksploatacyjnej konstrukcji, polega jedynie na uzupełnieniu ubytków (reprofilacji), dobetonowaniu lub wypełnieniu pustek w betonie (sposobem iniekcji). Naprawa aktywna natomiast, indukuje redystrybucję sił wewnętrznych w restaurowanej konstrukcji. 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.

## 2: MATERIAŁY EKSPANSYWNE DO NAPRAW KONSTRUKCJI Z BETONU

Każdy materiał do naprawy konstrukcji z betonu spełniać powinien cztery kryteria:

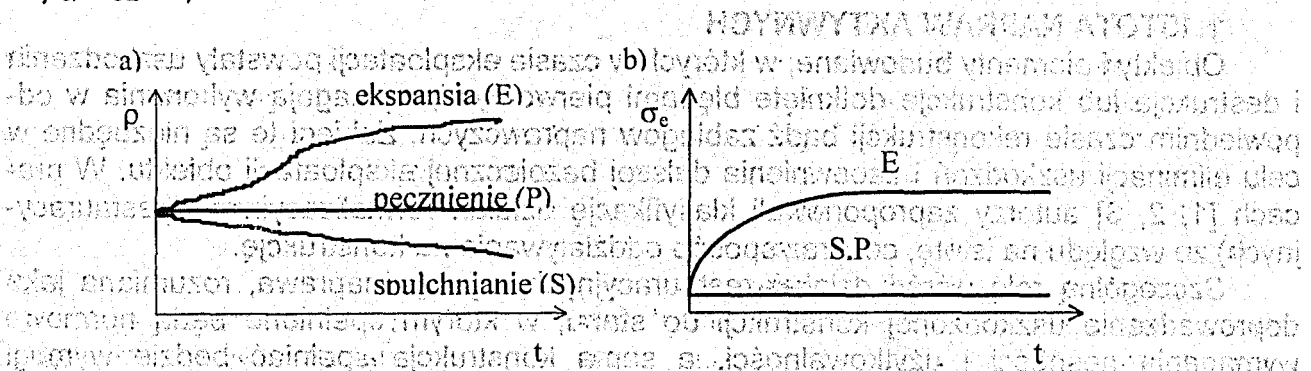
- kompatybilności z materiałem naprawianej konstrukcji, a więc powinien to być materiał na bazie mineralnej,
- wysokiej przyczepności do podłoża betonowego,
- trwałości odpowiadającej prognozowanemu czasowi eksploatacji naprawianej konstrukcji,
- możliwości samoczynnego włączenia się do pracy statycznej obciążonej konstrukcji.

Autorzy dokładniej omówili te kryteria w pracach [2,3] podając również zakres odstępstw od kryterium kompatybilności oraz specyfikując pożądane właściwości materiałów do napraw konstrukcji z betonu [3].

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

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 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.1):

- spulchnianie S, oznacza wzrost objętości z równoczesnym zmniejszaniem się gęstości objętościowej, przy braku samonaprężeń wewnętrznych ( $\rho < \rho_0$ ,  $\sigma_{CE} = 0$ );
- pęcznienie P, oznacza wzrost objętości przy zachowaniu stałej gęstości i braku samonaprężeń 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 ( $\rho > \rho_0$ ,  $\sigma_{CE} > 0$ ).



Rys. 1.

Zmiany: a) gęstości objętościowej  $\rho$ , b) samonaprężenia  $\sigma_e$ , w czasie trwania procesu ekspansji (E), pęcznienia (P) i spulchniania (S).

Na rynku pojawiło się wiele materiałów firmowych, których producenci rekomendują je jako materiały zwiększające objętość. Także w Politechnice Lubelskiej wytwarzany jest cement, który użyty do zaczynów, zapraw czy betonów wywołuje wzrost ich objętości. Autorzy przeanalizowali dostępne materiały zmieniające objętości i stwierdzili duże

niezgodności z deklarowanymi parametrami. Przykładami mogą być badane domieszki spęczniające EH-1, Q1, VH-1, zaprawy pęczniejące „Zement-Quellmasse 202”, cement Macflow.

### 3. TECHNIKI NAPRAW AKTYWNYCH

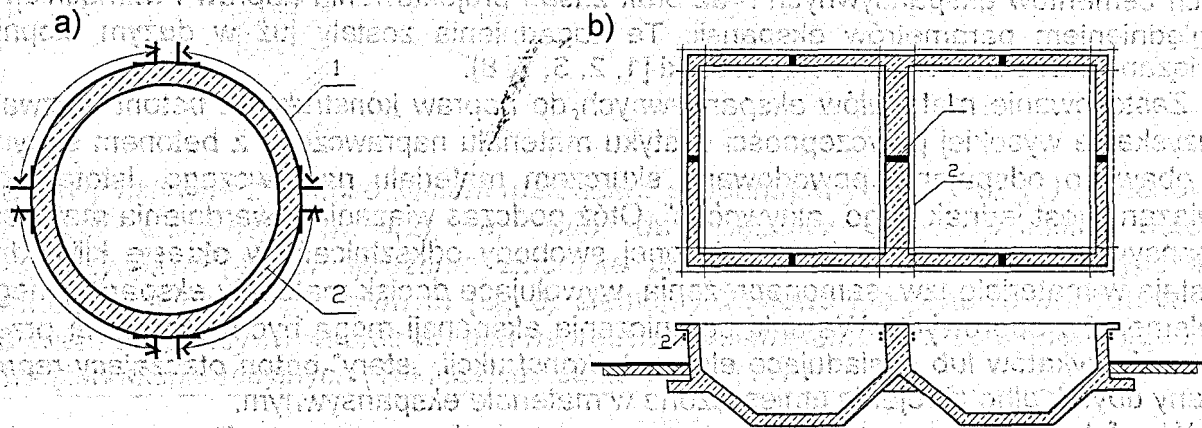
Aby naprawę można było uznać za aktywną, należy ocenić, czy wywoła ona pożądaną zmianę sił wewnętrznych. Taką redystrybucję sił wewnętrznych podczas naprawy lub wzmocnienia konstrukcji można uzyskać przez:

- 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 [7].

#### 3.1 CIĘGNA SPRĘŻAJĄCE LUB ŚCIĄGI WSTĘPNIE NAPIĘTE

Zastosowanie cięgien sprężających lub ściągów wstępnie napiętych oznacza wprowadzenie dodatkowych naprężeń ściskających w strefach, gdzie spodziewane jest wystąpienie naprężeń rozciągających od obciążeń eksploatacyjnych. Autorzy zastosowali to rozwiązanie m.in. w przypadku:

- naprawy spękanego żelbetowego pierścieniowego cokołu, stanowiącego podstawę płaszcza stalowego pieca cylindrycznego do wypalania wapna, gdzie zastosowano obejmy ze wstępnie napiętych odcinków prętów - rys. 2a [4],
- naprawy dwukomorowego nadziemnego zbiornika prostokątnego w oczyszczalni ścieków, w którym zaobserwowano obfite wycieki w wyniku rozwierania się pionowych dylatacji - rys. 2b [5].



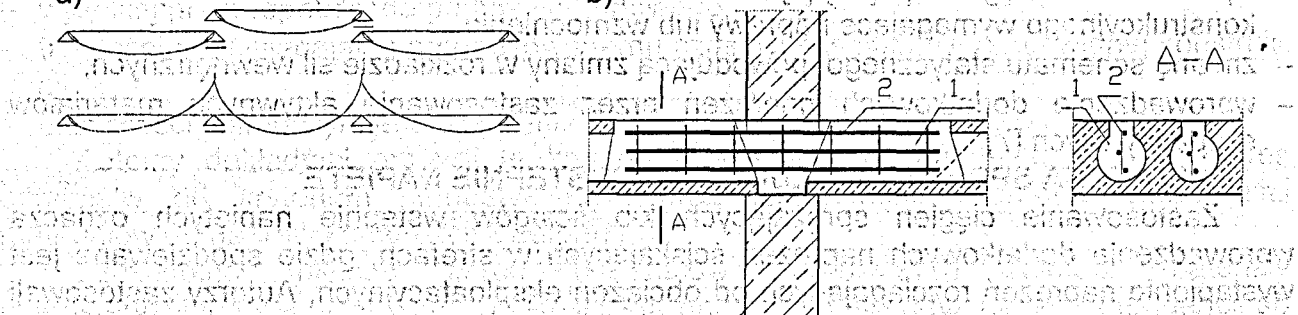
**Rys. 2.**

Aktywne naprawy konstrukcji za pomocą ściągów wywołujących redystrybucję sił wewnętrznych: a) obejmy sprężające (1) pierścieniowy cokół (2) stanowiący podstawę pieca do wypalania wapna [4], b) ściągi stalowe (2) założone w dwukomorowym, dzielonym dylatacjami (1) zbiorniku komory biosorpcji w oczyszczalni ścieków [5].

#### 3.2 ZMIANA SCHEMATYW STATYCZNYCH

Wzmocnienie lub naprawa tego typu rekomendowana jest wówczas, gdy uszkodzony element konstrukcyjny nie ma wystarczającej nośności, aby w najbardziej wyjątkowych przekrojach bezpiecznie przenieść siły wewnętrzne powstające od obciążeń eksploatacyjnych. Celem zmiany schematu statycznego będzie więc zmniejszenie wartości sił wewnętrznych w najbardziej wyjątkowych przekrojach wymagających wzmocnienia, z równoczesnym zwiększeniem sił w przekrojach mniej wyjątkowych.

Klasyfikacją przykładem takiego postępowania jest zamiana schematu statycznego elementów wolnopodpartych w schemat elementów wieloprzęsłowych przez zmonolityzowanie na podporach elementów prefabrykowanych. Zmniejszenie momentu przęsłowego zachodzi tu kosztem powstania momentu podporowego (rys.3a), a więc należy zapewnić możliwość jego przeniesienia. W przypadku stropu z płyt wielokanałowych można to zrealizować np. przez zabetonowanie części przypodporowej kanałów z równoczesnym ich zazbrojeniem (rys. 3b);



**Rys. 3.** Naprawa aktywna przez zmianę schematu statycznego (a) stropu wielokanałowego (b) przez zmonolityzowanie na podporze (c): 1 - wypełnienie kanałów, 2 - zbrojenie

### 3.3 MATERIAŁY EKSPANSYWNE DO NAPRAW AKTYWNYCH

Stosowanie do napraw aktywnych materiałów ekspansywnych w postaci zaczynów, zapraw i betonów jest w kraju mało rozpowszechnione. Głównym powodem był brak krajowych cementów ekspansywnych oraz brak zasad projektowania napraw i wzmocnień z uwzględnieniem parametrów ekspansji. Te zagadnienia zostały już w dużym stopniu rozwiązane przez ośrodki lubelski i brzeski [1, 2, 3, 7, 8].

Zastosowanie materiałów ekspansywnych do napraw konstrukcji z betonu pozwala na uzyskanie wysokiej przyczepności w styku materiału naprawczego z betonem starym, bez obawy o odspajanie powodowane skurczem materiału naprawczego. Istotą tego rozwiązania jest jednak jego „aktywność”. Otóż podczas wiązania i twardnienia materiału ekspansywnego w warunkach ograniczonej 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.

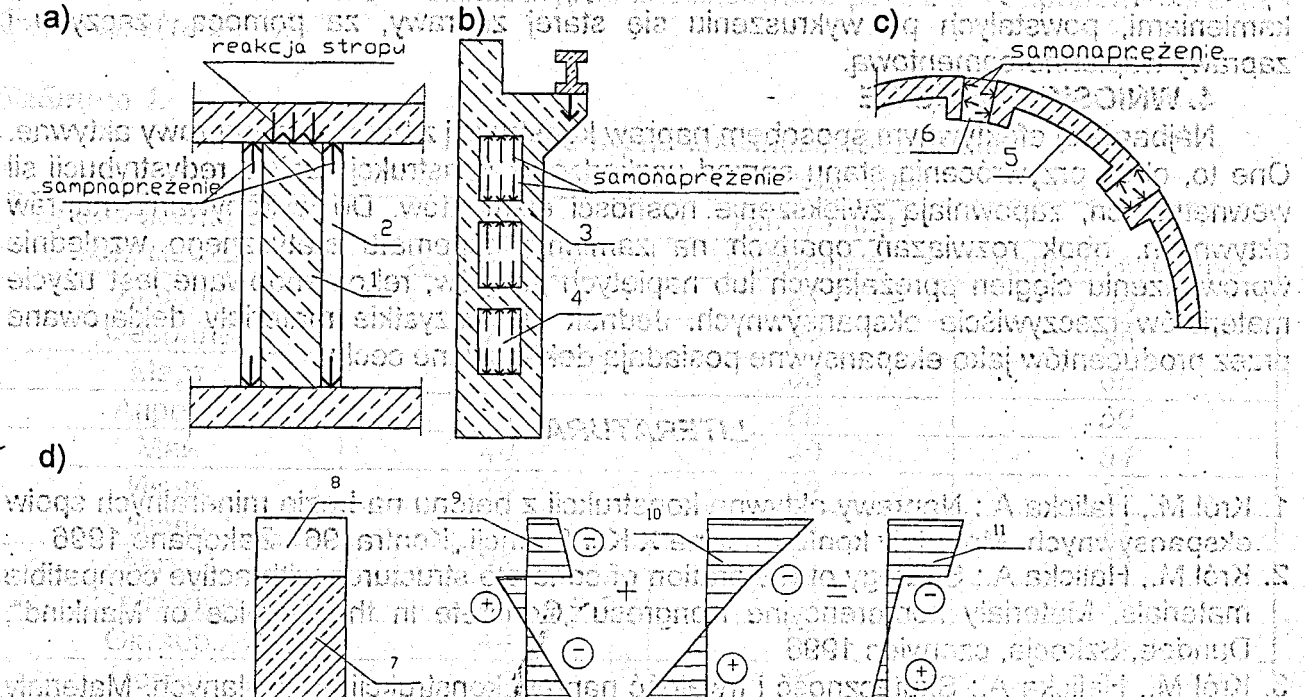
W efekcie docisku do elementów oporowych fragment reprofilowany czy dobetonowany jest ściskany, zaś otaczające go strefy są rozciągane. Zatem jeszcze przed wystąpieniem pełnego obciążenia konstrukcji indukowane są naprężenia wstępne. Takie rozwiązanie jest efektywne wtedy, gdy generowane w konstrukcji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

Przykładami efektywnego zastosowania materiałów ekspansywnych są [8]:

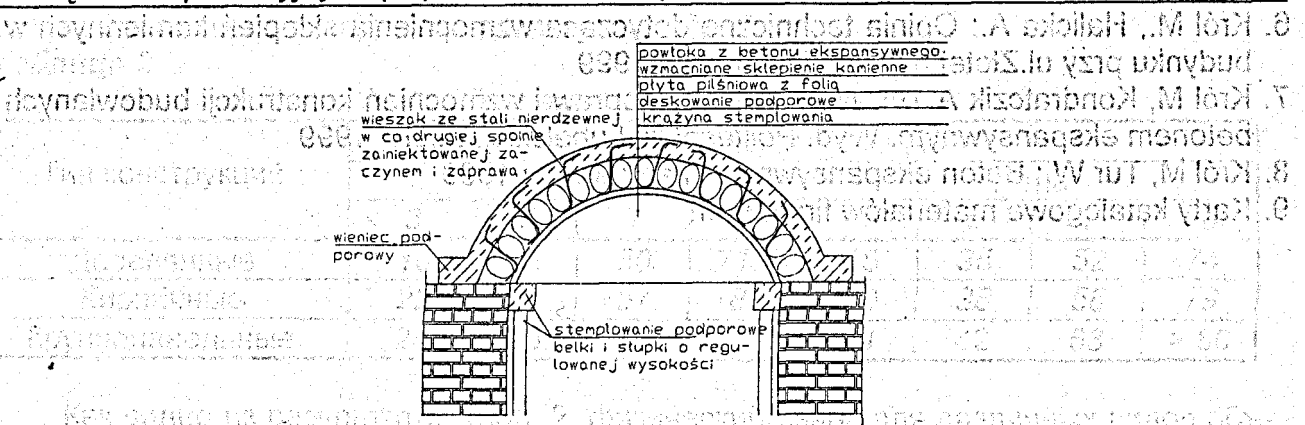
- naprawa słupa jednorodnego przez wykonanie jego obetonowania materiałem ekspansywnym (rys.4a): górny i dolny punkt podparcia słupa oraz odpowiednio ukształtowane zbrojenie stanowią opory dla ekspansji w obetonowaniu, powodujące powstanie samonapężeń w kierunku pionowym, które z kolei wywierają nacisk na fundament i strop; pionowa reakcja skierowana do góry odciąża słup zmniejszając reakcję pierwotną wywieraną przez strop;
- naprawa słupa dwugałęziowego przez wypełnienie materiałem ekspansywnym przestrzeni pomiędzy gałęziami i przewiązkami (rys.4b);

– naprawa zbiorników prefabrykowanych przez wypełnienie styków pomiędzy prefabrykatami materiałem ekspansywnym (rys.4c); dzięki wypełnieniu styków betonem ekspansywnym uzyskuje się efekt „sprężenia” prefabrykatów;

– naprawy i wzmocnienia stropów przez nadbetonowanie betonem ekspansywnym (rys.4d); uzyskuje się wówczas element zespolony, który ma nie tylko większą nośność dzięki zwiększonej wysokości przekroju, ale również charakteryzuje się większym momentem rysującym i mniejszym ugięciem; dzięki powstaniu naprężeń ściskających w dolnej strefie przekroju; jest to więc również pewna forma „sprężenia” elementu stropowego.



**Rys. 4.** Naprawy aktywne z zastosowaniem materiałów ekspansywnych: a) słup (1) obetonowany betonem ekspansywnym (2), b) słup dwugałęziowy (3) wypełniony betonem ekspansywnym (4), c) sprężenie zbiornika prefabrykowanego (5) przez wypełnienie styków betonem ekspansywnym (6); d) elementy belkowe lub płytowe nadbetonowane betonem ekspansywnym oraz rozkład naprężeń w takim elemencie: od samonapreżeń (9), obciążeń eksploatacyjnych (10) i rozkład sumaryczny (11)



**Rys. 5.** Naprawa aktywna sklepienia kamiennego przez podwieszenie do nowej powłoki z betonu ekspansywnego [6]

Autorzy zaprojektowali również naprawę i wzmocnienie przy użyciu materiałów ekspansywnych zabytkowych sklepień kamiennych - rys.5 [6]. Sklepienia te znajdowały się w stanie rumoszu kamiennego tak, że pomimo zaprojektowania stropu odciążającego, konstrukcja pod ciężarem własnym groziła zawaleniem. Na dolnych powierzchniach sklepień występowała ponadto polichromia, a więc niemożliwe było wzmocnienie sklepień od dołu. Zaproponowano podwieszenie istniejącego sklepienia do nowej powłoki nośnej, wykonanej z betonu ekspansywnego. Aktywne „podwieszenie” sklepienia jest możliwe dzięki ekspansji, która wypina sklepienie ku górze, napinając tym samym wieszaki podchwytyjące ciosy kamienne. Przewidziano wypełnienie wolnych przestrzeni pomiędzy kamieniami, powstałych po wykruszeniu się starej zaprawy, za pomocą zaczynu i zaprawy wapienno-cementową.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

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 wykonywania napraw aktywnych, obok rozwiązań opartych na zamianie schematu statycznego względnie wprowadzeniu cięgien sprężających lub napiętych ściągów, rekomendowane jest użycie materiałów rzeczywiście ekspansywnych. Jednak nie wszystkie materiały deklarowane przez producentów jako ekspansywne posiadają deklarowane cechy.

#### LITERATURA

1. Król M., Halicka A.: Naprawy aktywne konstrukcji z betonu na bazie mineralnych spoiw ekspansywnych. Materiały konferencyjne X Konferencji „Kontra '96”, Zakopane 1996
2. Król M., Halicka A.: Strategy of restoration of concrete structures with active compatible materials. Materiały konferencyjne Kongresu „Concrete in the Service of Mankind”, Dundee, Szkocja, czerwiec 1996
3. Król M., Halicka A.: Skuteczność i trwałość napraw konstrukcji budowlanych. Materiały XLIV Konferencji Naukowej KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 1998
4. Król M., Halicka A.: Rekonstrukcja i wzmocnienie konstrukcji wsporczej pieca wapiennego, Materiały I Konferencji Naukowo-Technicznej „Rzeczoznawstwo budowlane”, Kielce 1995
5. Król M., Halicka A.: Ekspertyza techniczna - Ocena stanu technicznego i określenie sposobu naprawy komory biosorpcji na terenie oczyszczalni ścieków w Łaszczowie, Lublin 1999
6. Król M., Halicka A.: Opinia techniczne dotycząca wzmocnienia sklepień kamiennych w budynku przy ul. Złotej 3 w Lublinie, Lublin 1999
7. Król M., Kondratczik A. Tur W.: Przykłady napraw i wzmocnień konstrukcji budowlanych betonem ekspansywnym. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 1999
8. Król M., Tur W.: Beton ekspansywny. Arkady, W-wa 1999
9. Karty katalogowe materiałów firmowych