

WYBURZANIE

Dynamiczny rozwój obszarów miejskich wiąże się często z koniecznością prowadzenia prac wyburzeniowych i rozbiórkowych w terenie gęsto zabudowanym. Bliskie sąsiedztwo obiektów zabytkowych lub budynków znajdujących się w złym stanie technicznym powoduje, że zastosowanie ciężkiego sprzętu budowlanego jest niewskazane.

Karol Kruczkowski, Krzysztof Zaśko

**Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna im. ks. Bronisława Markiewicza
w Jarosławiu, Instytut Inżynierii Technicznej**

Opiekun naukowy: dr inż. Szymon Kaźmierczak

W zależności od wielkości i rodzaju konstrukcji obiektu, jego lokalizacji oraz zakresu prowadzonych prac należy dobrać taką metodę rozbiórki, która pozwoli ograniczyć wpływ szkodliwych drgań oraz nadmiernego hałasu i zapylenia. Jedną z takich metod jest kruszenie elementów betonowych i żelbetonowych z zastosowaniem materiałów ekspansywnych [1], które są nazywane niewybuchowymi środkami wyburzającymi.

Metody tradycyjne

Najstarszym i do dziś stosowanym sposobem rozbiórki jest metoda tradycyjna, czyli taka, w której stosuje się lekkie narzędzia budowlane, między innymi młotki, kilofy, młoty udarowe i inne tego typu narzędzia lub urządzenia mechaniczne [rys. 1.]. Dzięki tej metodzie możemy odzyskać elementy drobnymi w nienaruszonym stanie i ponownie je wykorzystać. Ważna jest kolejność demontowania elementów. Zła kolejność wykonywania prac rozbiórkowych bądź niepoprawna ocena nośności wyburzanych elementów może stwarzać ryzyko wypadków. Trzeba pamiętać, że ten sposób wyburzania stosujemy w sytuacji, kiedy nie chcemy wywoływać dużych drgań konstrukcji lub zakres prowadzonych prac uniemożliwia zastosowanie ciężkich maszyn.

Metody rozbiórki mechanicznej cechuje duża efektywność. Często stosuje się maszyny wyposażone w specjalistyczne urządzenia udarowe o wysokiej częstotliwości uderzeń [fot. 1.]. Mogą to być młoty o napędzie hydraulicznym, spalinowym lub pneumatycznym.

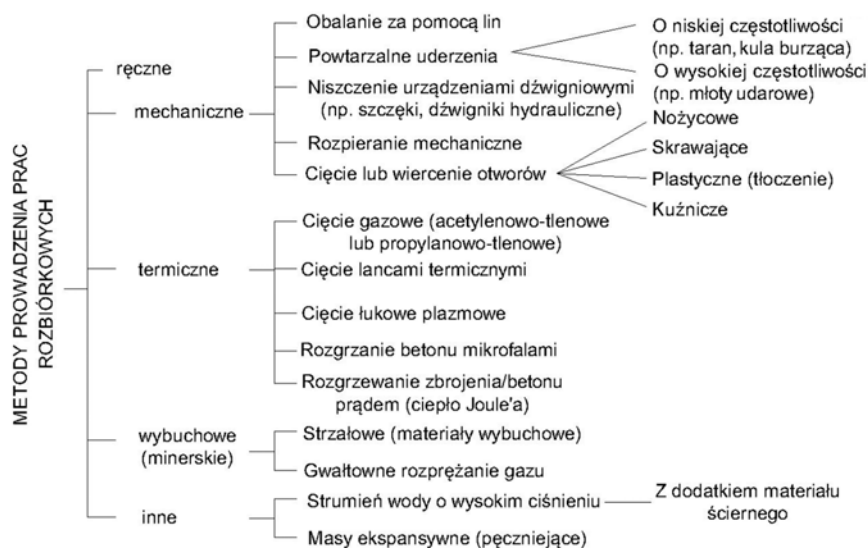
Inną z metod jest obalenie elementu przy użyciu lin stalowych. Liny powinny być minimum trzy razy dłuższe od wysokości obalnego elementu. Jeżeli konstrukcja jest w stanie przenieść momenty zginające o dużej wartości, to należy przed obaleniem osłabić ją nacięciami.

Cięcie elementów konstrukcji jest jedną z popularniejszych sposobów rozbiórki. Stosuje się różne metody cięcia: mechaniczne (przecinarki hydrauliczne, piły tarczowe, pierścieniowe, linowe i taśmowe), termiczne (gazowe, lukowe, lance termiczne) lub strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem.

Rozpieranie urządzeniami mechanicznymi działa praktycznie na tej samej zasadzie co metoda chemiczna, z taką różnicą, że zamiast środka chemicznego, który pod wpływem reakcji pęcznieje i kruszy element, stosujemy maszynę, która działa na zasadzie rozporu klinami. Do wywierconego wcześniej otworu o odpowiedniej średnicy i głębokości wsuwamy dwa kliny, a pomiędzy nie klin rozpierający, który pod wpływem siły działającej pionowo będzie się zagłębiał. Wywołane w ten sposób siły prostopadłe do ścian otworu doprowadzają do pęknięcia lub rozkruszenia betonu.

Metoda polegająca na rozbijaniu elementów konstrukcji jest dosyć widowiskowa, ale wymaga użycia ciężkiego sprzętu budowlanego (np. koparki) i dużych samochodów transportowych. W niektórych przypadkach celowy jest także transport żurawiem na szczyt budynku koparki, która stopniowo niszczy konstrukcję. Sposób ten jest dużo szybszy, lecz nie pozwala na odzyskanie materiałów do ponownego użycia. Podczas rozbiórki należy wyznaczyć strefę niebezpieczną, w której nie mogą znajdować się pracownicy ani sprzęt.

Kolejną stosowaną metodą wyburzania jest rozbijanie elementów za pomocą żurawi z masą zawieszoną na linie. Żuraw dzięki dynamicznemu uderzeniu masą w konstrukcję powoduje jego destrukcję. Metoda jest skuteczna w przypadku wyburzania budynków kubaturowych, żelbetonowych o cienkich ścianach oraz murowych. Istnieje także me-



Rys. 1. Podstawowe metody prac wyburzeniowych i rozbiórkowych [2]

toda wybuchowa, w której używamy materiałów wybuchowych lub gwałtownie rozprężającego się gazu (rzadziej). Tego typu prace nazywamy strzałowymi. Metoda pozwala na wyburzenie obiektu w bardzo krótkim czasie i przy niewielkim nakładzie robót, lecz jest ryzykowna. Należy bardzo dokładnie określić miejsca otworów, w których będą umieszczone ładunki wybuchowe, jak również sekwencję odpalania tych ładunków, aby wyburzenie odbywało się pod pełną kontrolą. Metoda ta polega na rozmieszczeniu bardzo małych ładunków w kluczowych miejscach konstrukcji, a następnie ich detonacji. W Polsce rzadko stosuje się tę metodę. Ten sposób ma pewne cechy wspólne z metodą rozporu mechanicznego i chemiczną. Te trzy metody łączy to, że dla każdej potrzebne jest odpowiednie zaprojektowanie otworów, w których trzeba podać ich średnicę, głębokość i sposób rozmieszczenia.

Metoda chemiczna

Opisywane środki ekspansywne dostępne są w sprzedaży pod postacią szarego proszku zarabianego z wodą w odpowiednich proporcjach. Mieszanka wlewa do uprzednio wywierconych otworów pęczniej w procesie hydratacji. Hydratacji towarzyszy znaczne wydzielanie ciepła podczas twardnienia produktu. Zmiana objętości powoduje wzrost ciśnienia w otworze, ponieważ wytrzymałość elementu nie pozwala na dalszy proces ekspansji produktu. Wzrost ciśnienia prowadzi do powstawania sił rozpięających ścianki otworu. Gdy wartość głównego naprężenia rozciągającego przekracza wytrzymałość materiału na rozciąganie, następuje proces zarysowania i kruszenia elementu.

Materiały ekspansywne mogą wywiercać ciśnienie o wartości kilkukrotnie większej od wytrzymałości na rozciąganie skał, mineralnych materiałów budowlanych i betonu. Najczęściej stal zbrojeniowa o średnicy większej od 10 mm nie ulega zniszczeniu, co umożliwia jej ewentualne odzyskanie.

W zależności od średnicy wywierconych otworów, temperatury elementu podczas wykonywania robót wyburzeniowych oraz jego sztywności przybliżony czas powstawania pęknięć można przyjąć w okolicach kilku godzin w okresie letnim do kilku dni w okresie zimowym (gdy temperatura spada poniżej zera).

Moduł sprężystości podłużnej materiału, z jakiego jest wykonana konstrukcja, odgrywa w procesie zniszczenia bardzo istotną rolę, ponieważ im wyższa jest jego wartość, tym większa jest skuteczność środka ekspansywnego. Problemy z niedostateczną efektywnością metody mogą się pojawić np. przy betonach niskich klas wytrzymałości, gdy zamiast wystąpienia promieniowych pęknięć beton może ulec zmiążdżeniu pod wpływem pęcznienia środka chemicznego.



Fot. 1. Rozbiórka płyty stropowej przy użyciu maszyny ze zdalnie sterowanym ramieniem, na którym zamocowane jest urządzenie udarowe

Wpływ temperatury na czas pęcznienia materiału ekspansywnego można powiązać z faktem, iż reakcja jego hydratacji jest procesem egzotermicznym. Czas trwania reakcji chemicznej przy ujemnych temperaturach będzie więc wzrastał. W okresie zimowym, jeżeli zachodzi taka potrzeba, można przyspieszyć reakcję poprzez zwilżanie otworów ciepłą wodą po stwardnieniu materiału. W czasie lata, gdy temperatury wzrastają do 20–30°C, czas zachodzenia reakcji jest znacznie krótszy.

Tę analogię można zaobserwować przy doborze właściwego rodzaju cementu do mieszanki betonowej. Proces wiązania betonu również cechuje się reakcją egzotermiczną, co ma znaczący wpływ na czas dojrzewania betonu. Chcąc uniknąć zbyt szybkiego czasu dojrzewania mieszanki podczas okresu letniego, co spowodowałoby spękanie betonu, stosuje się cementy o niskim cieple hydratacji, takie jak: cement pucolanowy, cement hutniczy lub cement wieloskładnikowy. Odwrotnie w okresie zimowym – cementy o wysokim cieple hydratacji, takie jak cement portlandzki CEM I, zapewniają prawidłowy przebieg wiązania betonu.

Stosując metodę chemiczną, należy zachować szczególną uwagę w skrajnie wysokich temperaturach, gdyż przy zbyt dużej średnicy otworów prędkość reakcji chemicznej może spowodować „wystrzelenie” materiału z otworu. Materiał wydmuchany z otworu pryska na wysokość niebezpieczną dla pracownika, sięgając oczu, co mogłoby spowodować nawet utratę wzroku. W okresie letnim należy spowolnić reakcję, zarabając środek chemiczny zimną wodą oraz projektując większą liczbę otworów o mniejszej średnicy.

Ze względu na bezpieczeństwo stosowania środków ekspansywnych producenci [1] proponują trzy gatunki o nieco zróżnicowanych charakterystykach (w tym prędkości reakcji chemicznej), dostosowanych do temperatury elementu rozsadzanego. Do zastosowania w temperaturach od -5°C do 20°C zaleca się wersję STANDARD, w temperaturach od 15°C do 30°C wersję LATO, a od 30°C do 50°C wersję LATO+.

Średnice otworów oraz ich rozmieszczenie są zatem uwarunkowane temperaturą i sztywnością elementu. Przy projektowaniu takich prac wyburzeniowych najbezpieczniejsze byłoby wyznaczenie i uwzględnienie w każdym przypadku temperatury elementu poprzez pomiar wewnątrz otworu oraz określenie klasy wytrzymałości rozsadzanego betonu. Jeśli nie ustalono tych danych, można wykorzystać zalecenia producentów (tab. 1.).

Odnosząc się do zaleceń producentów [1], przy projektowaniu należy zwracać szczególną uwagę na rozmieszczenie otworów, ich średnicę oraz na ich minimalną głębokość. W zależności od rozmieszczenia otworów można osiągnąć rozmaite efekty niszczenia elementu, w związku z tym odpowiednie ich zaprojektowanie gwarantuje pożądaną formę końcową rozdzielonego elementu. Jak można zauważyć w tabeli powyżej, rozbieżność zalecanych rozstawów pomiędzy otworami jest stosunkowo duża, co świadczy o dominującej roli projektanta w umiejętnym usytuowaniu otworów.

Przystępując do rozplanowania otworów, projektant powinien zdecydować, czy korzystniejsze będzie podzielenie konstrukcji na względnie duże elementy niezniszczone,

Tab. 1. Średnica i rozstaw otworów w zależności od temperatury [1]

Decyzje, które zależą od temperatury	temperatura rozsadzanego elementu			
	<0 °C	0-10 °C	10-20 °C	20-30 °C
Typ	STANDARD	STANDARD	STANDARD / LATO	LATO
Średnica otworów w żelbecie i twardych skałach	5 cm	4 cm	4 cm	3 cm
Średnica otworów w betonie i miękkich skałach	4 cm	4 cm	3 cm	2 cm
Temperatura wody zarobowej	ciepla		zimna	
Rozstaw otworów w żelbecie i twardych skałach	5-, 10-krotność średnicy			
Rozstaw otworów w betonie/ miękkich skałach	10-, 15- / 10-, 20-krotność średnicy			
Ilość wody zarobowej na 5 kg proszku	Podana jest na opakowaniu			
Minimalna głębokość otworu	5-krotność średnicy			

czy całkowite rozkruszenie betonu odsłaniające stal zbrojeniową.

Podział konstrukcji na duże elementy daje możliwość ponownego ich wykorzystania. Takie fragmenty konstrukcji można porównać do prefabrykatów znajdujących wiele zastosowań. Jest to szczególnie opłacalne, jeżeli prowadzone są inne prace budowlane, w których istnieje możliwość wykorzystania wielkogabarytowych materiałów z rozbiórki. Odzyskanie i ponowne wykorzystanie dużych elementów konstrukcji rodzi konieczność używania ciężkich sprzętów mechanicznych, takich jak dźwig czy koparki. Wiąże się więc z dużymi kosztami prowadzonych robót i wymaga wnikliwej analizy korzyści i ryzyka.

Całkowite rozkruszenie konstrukcji żelbetowej na niewielkie fragmenty betonu daje możliwość odzyskania i powtórnego wykorzystania stali zbrojeniowej. Pozyskany w trakcie rozbiórki gruz betonowy także bardzo często poddawany jest procesowi recyklingu. Dużą zaletą tej metody jest minimalne zapotrzebowanie na ciężki sprzęt mechaniczny.

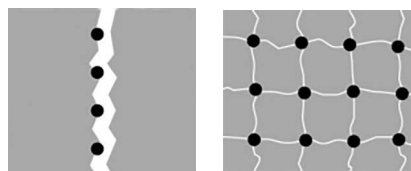
W zależności od przyjętego podziału konstrukcji na części należy dobrać odpowiednie rozmieszczenie otworów na środek ekspansywny. Dwie podstawowe możliwości to liniowe rozmieszczenie otworów (rys. 2a) oraz rastrowe rozmieszczenie otworów (rys. 2b).

Liniowe rozmieszczenie otworów polega na usytuowaniu otworów w szeregu, tak że w wyniku pęcznienia środka chemicznego pęknięcie betonu wystąpi wzdłuż tej linii, dzieląc element na pożądane części. W zależności od rozstawu pomiędzy tymi otworami a odległością między linią otworów i powierzchnią swobodną może powstać: jedno pęknięcie wzdłuż szeregu otworów lub główne pęknięcie wzdłuż otworów i szereg mniejszych pęknięć prostopadłych do tych otworów (rys. 3a i 3b).

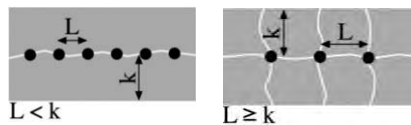
W przypadku wyburzania metodą chemiczną konstrukcji masywnych (np. fundamentów) i belek żelbetowych ze względów ekonomicznych korzystniejsza jest technika dzielenia na duże fragmenty. Odpowiednie rozmieszczenie otworów przyczynia się do powstania rys prostopadłych do osi elementu. Na kolejnym etapie prac należy przeciąć lub przepalić pręty zbrojenia głównego odsłonięte w miejscach pęknięć.

Jeżeli podjęto decyzję o dzieleniu elementów płytowych i ściennych, to najlepsze jest usytuowanie szeregu otworów równoległe do kierunku głównego zbrojenia elementu. W celu ponownego wykorzystania „wyciętego” z konstrukcji elementu zalecane jest włożenie listwy z drewna lub z blachy stalowej podczas wypełniania otworów. Listwa skierowana wzdłuż linii otworów zapobiega powstawaniu zbędnych spękań bocznych (rys. 4).

Rastrowe rozmieszczenie otworów to układ (siatka) prostopadłych do siebie linii



Rys. 2. Warianty rozmieszczenia otworów: a) liniowy (dzielenie), b) rastrowy (kruszenie) [1]

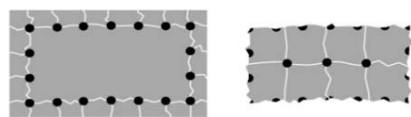


Rys. 3. Warianty zagęszczenia otworów w linii: a) mały rozstaw daje tylko jedną rysę, b) duży rozstaw daje rysy główne i prostopadłe [1]

Gdzie: L – rozstaw otworów, k – odległość między linią otworów i powierzchnią swobodną



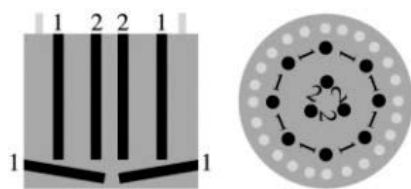
Rys. 4. Warianty dzielenia / przecięcia żelbetu, listwy umieszczone w otworach pomagają kierować całą energię rozpierającą na powstanie tylko jednego, szerszego pęknięcia [1]



Rys. 5. Etapy kruszenia (niszczenia) żelbetu: a) uwalnianie, b) kruszenie betonu i demontaż zbrojenia. Przy prawidłowym doborze średnic i rozstawu otworów zbrojenie zostaje całkowicie uwolnione [1]



Rys. 6. Przykład usytuowania otworów tak, żeby rysy nie przechodziły poza linię pustych otworów [1]



Rys. 7. Przekrój i widok z góry na głowicę pala: 1 – otwory wypełniane na pierwszym etapie, 2 – otwory wypełniane po usunięciu betonu skruszonego w etapie 1 [1]

otworów. Większy lub mniejszy rozstaw stosuje się w zależności od pożądanego efektu rozkruszenia. Na pierwszym etapie należy uwolnić element wyburzany, czyli stworzyć swobodną powierzchnię wzdłuż zewnętrznej krawędzi części wyburzanej (rys. 5a). Na przykład przy rozkruszaniu stropu zaleca się

wykonanie linii otworów w odległości 4 średnic od krawędzi elementu. Na skutek pęcznienia produktu powstają rysy, które oddzielają wybrany fragment od reszty konstrukcji. Po stworzeniu swobodnej krawędzi gęsta siatka otworów umożliwia rozkruszenie płyty na małe części (rys. 5b).

Aby kontrolować propagację pęknięć w kruchym materiale, wykonuje się dodatkowe otwory, których nie wypełnia się materiałem ekspansywnym. Wyznaczają one zakres kruszenia elementu w sposób pokazany na rys. 6.

W każdym z przypadków należy jednak pamiętać o właściwej głębokości wywiercania otworu, aby proces przebiegł prawidłowo. Producenci owych środków chemicznych zalecają wiercenie do głębokości co najmniej 5-krotności średnicy otworu. Jeżeli dojdzie do przebicia całego elementu, należy za pomocą np. pianki montażowej uszczelnić dno otworu tak, żeby uniemożliwić wyciek produktu przed jego stwardnieniem.

Metodę chemiczną można stosować również do rozbiórki pali żelbetowych. W pierwszej kolejności wykonuje się poziome otwory rozmieszczone promieniście, w kierunku środka pala, które umożliwią odcięcie części rozkruszanej. Następnie należy wywiercić otwory pionowe usytuowane bezpośrednio za zbrojeniem w celu zarysowania betonu wokół prętów zbrojeniowych (rys. 7). Po usunięciu rozkruszonego betonu przystępuje się do drugiego etapu, czyli rozkruszenia pozostałości części betonowej.

Streszczenie. DEMOLISHING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY USING CHEMICAL METHOD.

Artykuł zawiera opis metody chemicznej, która jest stosowana przy pracach rozbiórkowych bądź wyburzeniowych w sytuacji, gdy obiekt nie może być narażony na drgania, bądź otaczający go teren nie sprzyja stosowaniu innych metod wyburzeniowych.

W artykule przedstawiono powszechnie stosowane sposoby wyburzeniowe i porównano je z metodą chemiczną. Na tle najpopularniejszych sposobów prowadzenia prac wyburzeniowych metoda chemiczna wydaje się cechować niską efektywnością, lecz w przypadku częściowej rozbiórki obiektów zabytkowych lub w terenie gęsto zabudowanym, jej zastosowanie może być jedynym skutecznym sposobem uniknięcia uszkodzeń sąsiednich elementów lub konstrukcji.

Słowa kluczowe: konstrukcje żelbetowe, wyburzanie obiektów, metoda chemiczna

Bibliografia

- [1] Materiały informacyjne firmy OTIK Sp. z o.o.; www.dynacem.com.
- [2] Rawska-Skotniczny A., Margazyn A., Rozbiórki budynków i budowli, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2016.