

**XXIV**XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009**awarie budowlane**

Mgr inż. ZBIGNIEW KOTYNIA
Mgr inż. HANNA GADZALSKA-SYFERT
Ove Arup and Partners Int. Oddział w Polsce

O METODZIE USUWANIA SŁUPÓW W BUDYNKU O KONSTRUKCJI STALOWEJ

ABOUT THE METHOD OF CUTTING COLUMNS IN EXISTING STEEL STRUCTURE

Streszczenie W referacie opisano metodę usuwania słupów w istniejącym budynku o konstrukcji stalowej. Przedstawiony został sposób przekazania obciążenia od usuwanych słupów na inne elementy konstrukcyjne oraz przebieg przeprowadzonych robót ze zwróceniem szczególnej uwagi na aspekty bezpieczeństwa prowadzonych prac.

Abstract Paper presents the method of cutting columns in existing building of steel structure. It was explained the way of load transfer from the columns to be cut on the other structural elements with special attendance to safety of provided works.

1. Wprowadzenie i opis ogólny budynku

W roku 1930 we Wrocławiu został oddany do użytku dom towarowy berlińskiej firmy Wertheim. Według [1] ten zaprojektowany przez prof. Hermanna Dernburga budynek o konstrukcji stalowej był największym budynkiem szkieletowym w Europie. Budynek ponad 3-krotnie przekraczał powierzchnię innych wrocławskich obiektów handlowych tamtych czasów. W wyniku działań wojennych, w roku 1945 budynek został zbombardowany i płonął przez kilka dni, jednak wpływ pożaru na zabezpieczoną obudową ceglana konstrukcję stalową był nieznaczny. Po wojnie podjęto decyzję o odbudowie budynku i od roku 1947 rozpoczęto jego użytkowanie nie zmieniając funkcji. Budynek działał jako Powszechny Dom Towarowy „Renoma” i był niemal nieustannie remontowany i modernizowany. W roku 1977 został wpisany do rejestru zabytków, jako sztandarowe dzieło europejskiego modernizmu. Jednak dopiero na początku obecnego wieku obecny właściciel budynku podjął decyzję o gruntownej modernizacji i przebudowie obiektu, która ma na celu przywrócenie mu dawnej świetności i znaczenia.

Konstrukcję nośną siedmiokondygnacyjnego budynku stanowi stalowy szkielet w całości wykonany z profili walcowanych, łączonych ze sobą za pomocą nitów i śrub. Zaprojektowano wielogłęziowe ciągłe słupy, na których w sposób przegubowy opierają się jednoprzęsłowe belki główne. Pomiedzy belkami głównymi rozpięte są stalowo-ceramiczne stropy, w skład których wchodzi stalowe żebra oraz płyta typu Kleina wykonana z pustaków ceramicznych. Sztywność budynku zapewniają cztery ceglane trzony klatek schodowych. W budynku zaprojektowano siatkę słupów 8,00×9,20m, w którą wkomponowano dwa prostokątne dziedzińce wewnętrzne przekryte na poziomie czwartego piętra świetlikami.

Z uwagi na zmieniające się trendy w projektowaniu budynków handlowych oraz w celu uatrakcyjnienia budynku dla współczesnych klientów, w ramach nowego projektu architektonicznego, opracowanego przez pracownię Benoy z Londynu oraz Maćków Pracownia Projektowa z Wrocławia, zmieniono nieznacznie przebieg głównych pasaży handlowych i zaprojektowano nowe otwory w stropach. Wymusiło to konieczność usunięcia lub przesunięcia kilku słupów istniejącej konstrukcji budynku. Prace konstrukcyjne komplikował przyjęty harmonogram robót, który zakładał wykonanie w pierwszej kolejności remontu trzech górnych kondygnacji biurowych przy funkcjonujących dolnych kondygnacjach handlowych, a następnie wykonanie przebudowy dolnych kondygnacji przy oddanych już do użytku biurach. Z tego powodu pięć słupów, przeznaczonych do wyburzenia mogło być przeprojektowanych jedynie w obrębie czterech dolnych kondygnacji i na etapie prac projektowych należało opracować taką technologię ich usuwania, która nie wpłynie na użytkowanie górnych pięter.

2. Konstrukcje przekazujące obciążenia ze słupów planowanych do usunięcia

W celu zrealizowania opisanych wcześniej założeń opracowano dla pięciu słupów przewidzianych do wyburzenia konstrukcje przekazujące obciążenia na zaprojektowane nowe słupy, lub na sąsiednie, wzmocnione słupy istniejące. Przyjęto następujące założenia projektowe:

- maksymalnie dużą sztywność konstrukcji, która ograniczy przemieszczenia górnego odcinka słupa, do poziomu akceptowalnego dla użytkowników górnych kondygnacji,
- możliwość montażu konstrukcji i ich scalenia z przeznaczonymi do wyburzenia słupami przed ich usunięciem, bez konieczności wykonywania tymczasowych konstrukcji odcciążających i wprowadzania dodatkowych etapów robót, mogących wpłynąć niekorzystnie na bezpieczeństwo prac,
- ograniczenie oddziaływania na elementy istniejącej konstrukcji budynku, zwłaszcza w zakresie przekazywania sił poziomych,
- wkomponowanie zaprojektowanych konstrukcji w nową architekturę budynku i zminimalizowanie zmian architektonicznych,
- łatwy dostęp do zaprojektowanych konstrukcji w czasie operacji usuwania słupów, umożliwiającą obserwację i pomiar ich przemieszczeń.

W czasie prac konstrukcyjnych stwierdzono nie sygnalizowaną we wcześniejszych opracowaniach niską udarność stali. Wpłynęło to na przyjęcie dwóch dodatkowych założeń:

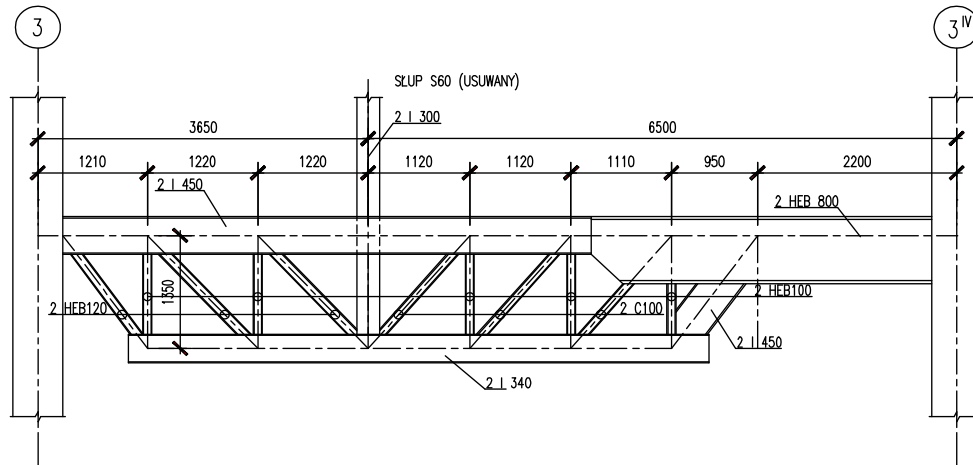
- wyeliminowania połączeń spawanych,
- łagodnego przekazania obciążeń na nowe elementy konstrukcyjne.

Powstały w ten sposób cztery konstrukcje, nazywane dalej konstrukcjami transferowymi, o różnych schematach statycznych. W poniższym opisie tych konstrukcji użyto nazewnictwa, występującego w projekcie budynku.

2.1. Kratownica transferowa w osi F

Pierwsza z zaprojektowanych konstrukcji transferowych przybrała formę swobodnie podpartej belki kratownicowej o rozpiętości 9,54 m i wysokości 1,35 m w osiach pasów. Kratownica służyła do przeniesienia obciążeń od słupa S61. Aby umożliwić montaż konstrukcji transferowej bez naruszenia konstrukcji słupa zaprojektowano dwie bliźniacze, równoległe kratownice, obejmujące z obu stron gałęzie słupa, połączone przewiązkami z blach. Zarówno pasy, jak i krzyżulce kratownic zaprojektowano z profili walcowanych. W celu zapewnienia wymaganej wysokości pomieszczenia w miejscu ciągu komunikacyjnego jeden z dwóch przypodporowych odcinków konstrukcji zaprojektowano w formie belki blachowni-

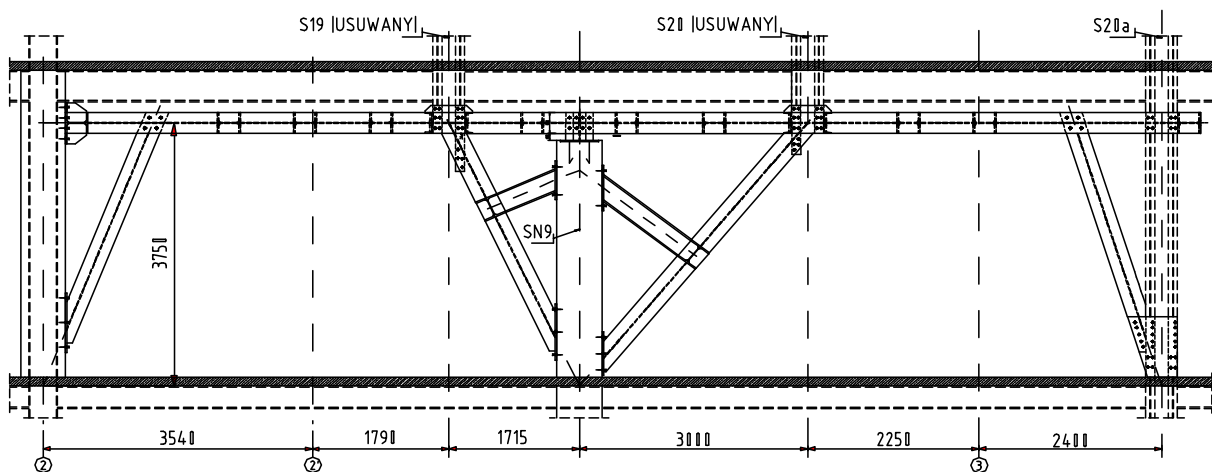
cowej. Kratownica została oparta na dwóch słupach oryginalnej konstrukcji budynku, które w tym celu wzmocniono. Podpory zaprojektowano w postaci dwóch stalowych konsoli. Fundamenty słupów wzmocniono mikropalami wykonanymi w technologii iniekcji ciśnieniowej. Szkic kratownicy pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Kratownica w osi F

2.2 Rama w osi H

W oryginalnym projekcie oś H była skrajną osią budynku i jednocześnie osią jego ściany zewnętrznej. Według nowej koncepcji architektonicznej w tym miejscu zlokalizowana została dylatacja pomiędzy starym – stalowym, a nowym – żelbetowym budynkiem. Ponieważ nowy projekt zakładał usunięcie w tej osi dwóch sąsiadujących ze sobą słupów, zaprojektowano ramę stalowo-żelbetową, która przekazywała obciążenia od obu tych słupów na sąsiadujące słupy istniejącej konstrukcji i nowy słup wykonany pomiędzy usuwanymi słupami. Słupy przeznaczone do usunięcia były oznaczone w projekcie jako S19 i S20. Powstała w ten sposób dwunawowa rama o rozpiętości naw 7,04m i 7,65m, której wewnętrzne zastrzały podierały bezpośrednio usuwane słupy. Zewnętrzne zastrzały były rozparte o słupy konstrukcji istniejącej wzmocnione przez obetonowanie. Również w tym wypadku ramę zaprojektowano w postaci dwóch bliźniaczych elementów obejmujących istniejącą konstrukcję. Szkic zaprojektowanej ramy pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Rama w osi H

2.3. Żelbetowa tarcza w osi G

W osi G zlokalizowane były dwa najbardziej obciążone słupy ze wszystkich pięciu przeznaczonych do usunięcia, oznaczone w projekcie jako S75 i S70. Ponieważ w pierwszym wypadku odległość pomiędzy sąsiadującymi słupami istniejącej konstrukcji wynosiła 16,5m, zdecydowano się na przeniesienie obciążeń z usuwanego słupa stalowego na nowy, słup żelbetowy, za pośrednictwem żelbetowej tarczy wspornikowej. Zaprojektowano tarczę wspornikową o grubości 400mm, wysokości 4,38m i wysięgu 2,42m, pomiędzy usuwanym i nowym słupem.. Słup przeznaczony do usunięcia obetonowano i połączono z konstrukcją wspornika. Moment zginający ze wspornika przekazywał się na konstrukcję budynku w postaci pary sił poziomych, które pojawiły się w stropach połączonych z tarczą na jej górnej i dolnej krawędzi. W celu przejścia tych sił, zaprojektowano w tej samej osi kolejną tarczę żelbetową, tym razem rozpiętą pomiędzy słupami konstrukcji oryginalnej. Również ta tarcza została zaprojektowana na pełną wysokość kondygnacji i była monolitycznie połączona z sąsiadującymi słupami. Aby powstałe siły poziome nie obciążały oryginalnych połączeń śrubowych, zaprojektowano wzmocnienie poziomych elementów stalowych w osi G w postaci ciągłych rur stalowych, spinających swobodnie podparte belki. Również w tym wypadku fundamenty nowego słupa oparto na mikropalach wykonywanych w technologii iniekcji ciśnieniowej. Obie opisane tarcze, a także znajdujący się poniżej słup, przeznaczony do usunięcia, widoczne są na zdjęciu rys.3.



Rys. 3. Tarcza w osi G

2.4. Rama stalowa w osi G

Ostatnia z zaprojektowanych konstrukcji transferowych podpieraa słup oznaczony w projekcie jako S70 i znajdujący się również w osi G. Zastosowanie w tym wypadku sztywnej konstrukcji tarczowej lub rama portalowej było niemożliwe ze względu na konieczność zapewnienia otwartej przestrzeni handlowej. Zaprojektowano więc w opisywanej osi dwa nowe słupy żelbetowe i oparto na nich stalową ramę jednoprzęsłową o sztywnych węzłach, podpierającą usuwany słup.

3. Metoda usuwania słupów

Z uwagi na przyjęte etapy robót budowlanych i konieczność utrzymania ciągłej obecności najemców w pozostałej części budynku usuwanie słupów było zadaniem silnie wpływającym na projekt konstrukcji. Początkowo założono, że konstrukcje transferowe zostaną wykonane na kondygnacjach biurowych przez wykonawcę tej części robót, a samo usunięcie słupów zostanie przeprowadzone przez wykonawcę dolnej – handlowej części budynku. Stwierdzona niska udatność oryginalnej stali i związany z tym brak spawalności zdecydowały o przeniesieniu konstrukcji transferowych na kondygnacje handlowe. W ten sposób uniknięto też niebezpiecznego podziału odpowiedzialności pomiędzy wykonawcami. Technologię wycinania uwarunkowały następujące założenia:

- zapewnienie ciągłej kontroli sił występujących w wycinanym słupie i ich przekazania na konstrukcję transferową,
- zapewnienie możliwości zatrzymania procesu wycinania słupa w dowolnym momencie i tymczasowego zabezpieczenia konstrukcji,
- zapewnienie możliwości ciągłego pomiaru przemieszczeń i monitoringu geodezyjnego budynku
- opracowanie metody nie wymagającej ciężkiego sprzętu i dodatkowych, konstrukcji wsporczych (wszystkie słupy przeznaczone do wycięcia znajdowały się na trzeciej lub czwartej kondygnacji budynku).

Przyjęta ostatecznie technologia okazała się nieskomplikowana w zastosowaniu, a założenia projektowe potwierdziły się w praktyce. Zdecydowano, że każdy ze słupów zostanie w pierwszym etapie poprzecznie przecięty, a po całkowitym przekazaniu obciążeń na konstrukcję transferową i kilkudniowym monitoringu, całkowicie wyburzony. W tym celu dla każdego wycinanego słupa opracowano dwie konsole – górną i dolną, montowane poniżej i powyżej miejsca przecięcia za pomocą łączników śrubowych. W przestrzeni pomiędzy konsolami umieszczono cylindryczne siłowniki hydrauliczne (patrz, rys.4). Po wstępnym zwiększeniu ciśnienia w siłownikach, poziomo przecięto gałęzie słupa przy użyciu palnika gazowego, wykonując szczelinę o szerokości większej od przewidywanego ugięcia konstrukcji transferowej w tym miejscu. Szczelinę wykonywano etapami symetrycznie względem osi słupa, monitorując w trakcie nacinania przemieszczenia słupa wynikające z uplastycznienia materiału oraz przyrostu siły w siłownikach. W zbliżonej metodzie wycinania słupa zastosowanej przez biuro projektowe Arup w Birmingham [2] zaprojektowano wykonanie szczeliny w słupie serią przewiertów o średnicy 50mm. Ten sposób eliminował ryzyko wystąpienia pożaru, jednak w opisywanych wypadkach był niemożliwy do zastosowania z uwagi na brak odpowiedniego dostępu do gałęzi słupa. Po całkowitym przecięciu gałęzi słupa i ustabilizowaniu się sił w poszczególnych siłownikach rozpoczęto opuszczanie tłoków siłowników, powodując równomierne dociążanie zaprojektowanej konstrukcji transferowej. Również tę czynność podzielono na etapy, po każdym z nich dokonując pomiaru przemieszczeń konstrukcji. W ten sposób łagodnie i płynnie przekazano obciążenie z gałęzi usuwanego słupa na siłowniki, a następnie z siłowników na konstrukcje transferową, monitorując jednocześnie przemieszczenia i przepływ sił w konstrukcji. Pomiar przemieszczeń kontynuowano aż do zakończenia głównych prac konstrukcyjnych.

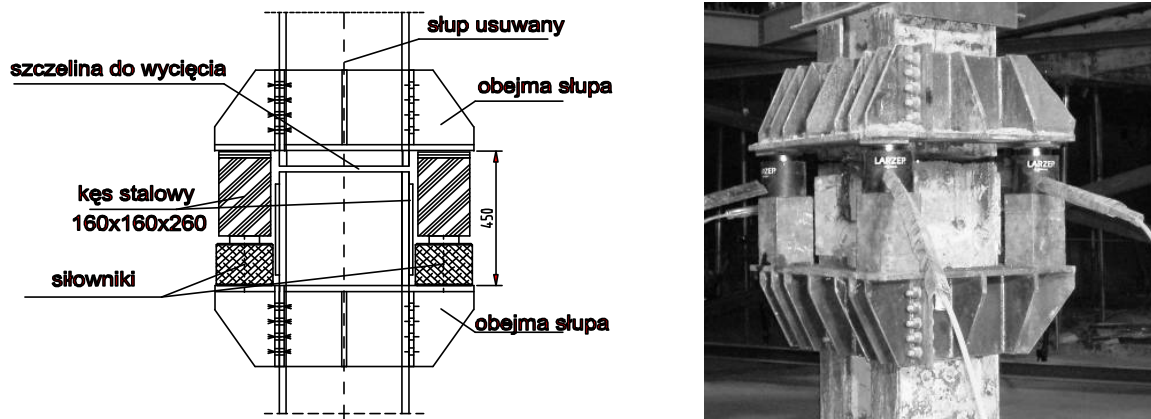
Dla ramy w osi H, przenoszącej obciążenia od dwóch słupów przeznaczonych do usunięcia zaprojektowano jednoczesne ich usuwanie. Wymagało to skoordynowania pracy dwóch siłowników, a także równoczesnego przecinania słupów.

W wyniku szczegółowych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych modelu konstrukcji całego budynku przewidziano następujące, maksymalne przemieszczenia w miejscu przekaza-

nia siły od podpieranego słupa (podano przemieszczenia względem podpór, eliminując wpływ skrócenia słupów podpierających konstrukcje transferowe:

- kratownica w osi F – przy sile charakterystycznej o wartości 1133 kN, przemieszczenie 9,7 mm,
- rama w osi H – przy siłach charakterystycznych w słupach odpowiednio $F1 = 822$ kN i $F2 = 680$ kN, przemieszczenia pionowe $U1 = 0,7$ mm, $U2 = 2,5$ mm,
- tarcza żelbetowa w osi G – przy sile charakterystycznej w słupie o wartości 3008 kN, przemieszczenie pionowe 2,7 mm, przemieszczenie poziome u nasady wspornika 1,0 mm,
- rama w osi H – przy sile charakterystycznej o wartości 2542 kN przemieszczenie 8,9 mm.

Na rys.4 pokazano schemat konsoli do umieszczenia siłowników.



Rys. 4. Konsola dla siłowników

4. Bezpieczeństwo prac budowlanych

W związku ze specyfiką prac, które miały być prowadzone w częściowo użytkowanym budynku, podjęto szereg środków mających zapewnić bezpieczeństwo ludzi przebywających w budynku, a także konstrukcji budynku:

- a) przed rozpoczęciem prac wykonano inwentaryzację fotograficzną wszystkich uszkodzeń warstw wykończeniowych na kondygnacjach położonych powyżej usuwanych słupów w strefie ich wpływu na pozostałe elementy konstrukcyjne budynku,
- b) w czasie prowadzenia robót dostęp do budynku miały tylko wyznaczone osoby przeszkolone dodatkowo w zakresie BHP i poinformowane o charakterze prowadzonych prac,
- c) wykonawca, na podstawie wytycznych projektanta opracował procedurę prowadzenia prac konstrukcyjnych, uwzględniając kolejność prowadzonych prac, oraz warunki ponownego dopuszczenia budynku do użytkowania,
- d) decyzja o ponownym dopuszczeniu budynku do użytkowania podejmowana była przez projektanta i inspektora nadzoru na podstawie przekazywanych na bieżąco wyników monitoringu geodezyjnego po upływie minimum 24 godzin od momentu zakończenia wycinania słupa,
- e) słupy usuwano pojedynczo, zachowując minimum tygodniowy odstęp czasu pomiędzy kolejnymi operacjami.

5. Opis przebiegu wycinania słupów

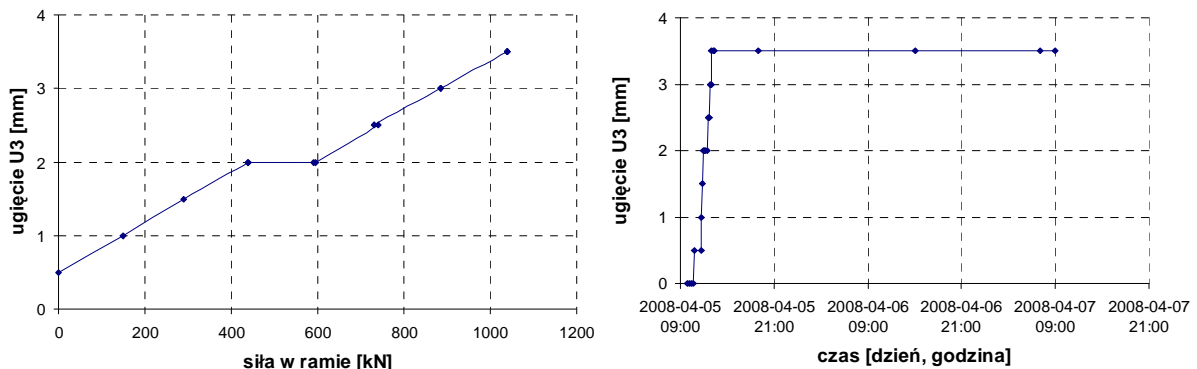
Użyto siłowników typu SMP10006 firmy LARZEP o nośności 1000kN. Każdy siłownik zaopatrzone był w manometr wskazujący działającą na niego siłę. Aby zapewnić równoczesne działanie

wszystkich siłowników połączono je w jednym układzie hydraulicznym. Wszystkie siłowniki były zasilane ręczną pompą. W ten sposób osiągnięto dużą precyzję regulacji siły. Z uwagi na użycie palników gazowych siłowniki i przewody hydrauliczne zabezpieczono blachami.

Po całkowitym wycięciu szczeliny rozpoczęto odciążanie siłowników, odpowiadające dociążaniu konstrukcji transferowej. Przyjęto wartość pojedynczego spadku siły na siłowniku w granicach 50kN, co dawało wzrost siły działającej na konstrukcję od 150kN do 200kN w zależności od liczby siłowników. Pomiedzy poszczególnymi etapami robiono dwudziestominutowe przerwy na ustabilizowanie się konstrukcji i pomiar geodezyjny. W czasie procesu wycinania słupa ustawiono dwóch obserwatorów na kondygnacji powyżej i poniżej konstrukcji transferowej. Monitoring geodezyjny prowadzono metodą niwelacji precyzyjnej z dokładnością do 0,1mm. Stanowisko pomiarowe ustawiono w części budynku wolnej od wpływu konstrukcji transferowych. Pomiary przemieszczeń pionowych i poziomych wyznaczonych punktów konstrukcji wykonywano w czasie wycinania słupa, a także w czasie odciążania siłowników, po każdej zmianie siły. Po wycięciu słupa pomiary kontynuowano w odstępach dwugodzinnych, a po upływie trzech dób, raz dziennie. Przykładowe wyniki pomiarów słupa S61 pokazano na rys. 6. Należy zwrócić uwagę, że są to pomiary bezwzględne, obejmujące ugięcie konstrukcji transferowej oraz przemieszczenie pionowe podpór w wyniku przyłożenia dodatkowego obciążenia.



Rys. 5. Układ hydrauliczny dla słupa S70 i wycinanie słupa S61



Rys. 6. Przykładowe wykresy z pomiaru przemieszczeń słupa S61

6. Podsumowanie i wnioski

Przyjęta metoda przeprowadzenia nietypowego i mającego bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo budynku procesu, jakim jest wycięcie słupów konstrukcyjnych pod kondygnacjami przekazanymi do użytkowania potwierdziła założenia przyjęte w projekcie. Proces przeprowadzono kilkakrotnie przy różnych schematach statycznych konstrukcji. Uzyskane w ten sposób doświadczenie zawarto w następujących wnioskach:

- w celu przeniesienia sił pomiędzy pionowymi elementami budynku należy projektować konstrukcje sztywne, przekazujące te siły na fundament jak najkrótszą drogą,
- przy prognozowaniu i pomiarze przemieszczeń takich sztywnych konstrukcji należy uwzględniać również przemieszczenia podpór oraz przemieszczenia całej konstrukcji w wyniku działania czynników zewnętrznych (wiatr, temperatura, skurcz w konstrukcjach żelbetowych), przemieszczenia podpór należy również monitorować geodezyjnie,
- proces należy prowadzić w taki sposób, aby w każdej chwili istniała możliwość jego zatrzymania,
- w czasie prowadzenia prac należy ściśle kontrolować dostęp wszystkich osób do budynku i ustalić jednoznaczne reguły przywrócenia dostępu dla osób nie związanych z procesem budowlanym,
- zastosowanie układów hydraulicznych sterowanych ręcznie zapewnia wymaganą dokładność regulacji siły oraz daje możliwość kontroli procesu w każdym momencie.

Literatura

1. Kirschke K., Kirschke P.: Studium konserwatorskie i wytyczne do projektu modernizacji Domu Towarowego 'CENTRUM-RENOMA' przy ulicy Świdnickiej 40 we Wrocławiu, Wrocław 1998
2. Tarnowski M.: Birmingham School of Acting. Large Studio Transfer Structure. Designers Outline Construction Sequence, Birmingham 2005