

Krzysztof Gromysz\*, Mateusz Smolana  
Politechnika Śląska, Gliwice

# Stanowisko do nieniszczących badań sztywności tymczasowych podpór budynków

## Test stand for non-destructive stiffness tests of the temporary supports of the buildings

### ABSTRACT

The paper presents test stand for non-destructive tests of temporary supports of buildings. Temporary supports consisting of hydraulic jack and stack of cuboid steel elements are used during removal deflections of building. During this process dead-weight of the building is supported by temporary supports. That is why it is necessary to evaluate mechanical parameters of temporary supports. Longitudinal stiffness, lateral stiffness, dumping and second-order effects can be evaluated during non-destructive test by means the presented test stand. In addition authors present exemplary test results.

**Keywords:** temporary support of building; stiffness of the support; removal of building deflections; non-destructive test

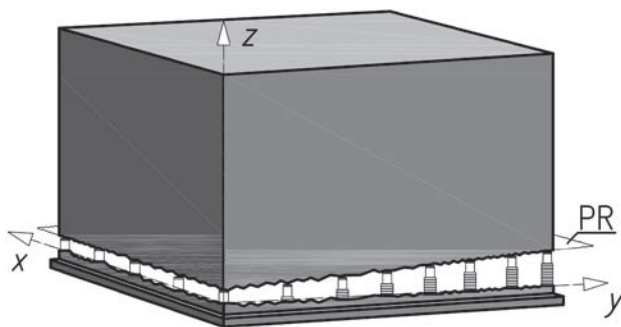
### STRESZCZENIE

Prezentowane stanowisko do nieniszczących badań tymczasowych podpór budynków. Podpory te, składające się z siłowników hydraulicznych oraz stosu prostopadłościennych elementów stalowych, znajdują zastosowanie podczas usuwania wychyleń obiektów budowlanych. W trakcie tego procesu ciężar całego budynku spoczywa na tymczasowych podporach. Z tego względu niezbędne jest rozpoznanie parametrów mechanicznych podpór. Do parametrów, które można wyznaczyć w stanowisku podczas badań nieniszczących należą: sztywność w kierunku działania ciężaru budynku, sztywność w kierunku prostopadłym do obciążenia grawitacyjnego, tłumienie drgań oraz odkształcenia drugiego rzędu podpór. Poza opisem stanowiska badawczego przedstawiono przykładowe wyniki badań.

**Słowa kluczowe:** tymczasowe podpory budynku; sztywność podpór; usuwanie wychyleń budynków; badania nieniszczące

### 1. Wstęp

Eksploatacja górnicza węgla kamiennego powoduje nierównomierne obniżanie powierzchni terenu. Konsekwencją tego obniżenia jest wychylanie się obiektów budowlanych. W przypadku, gdy wartość wychYLENIA przekracza 20 – 25 mm na 1 m jest ono uznawane za uciążliwe [1] i usuwane [2]. Dominującą metodą usuwania wychyleń budynków jest nierównomierne podnoszenie (rektyfikacja) [3]. Metoda polega na zabudowie w ścianach budynków siłowników hydraulicznych, za pomocą których budynek jest rozrywany.



Rys. 1. Prostowanie budynku poprzez nierównomierne podnoszenie  
Fig. 1. Removal of building deflection by uneven lifting

W ten sposób obiekt dzielony jest na dwie części, a powierzchnia rozerwania (PR – Rys. 1) przebiega przez punkty przekazywania ciężaru ze ścian na siłowniki (Rys. 2a). Część budynku znajdująca się nad płaszczyzną rozerwania

jest podnoszona nierównomiernie aż do uzyskaniażądanego, pionowego położenia. Po zakończeniu prostowania wolna przestrzeń powstała w ścianach piwnicznych jest uzupełniana elementami murowymi i po osiągnięciu przez zaprawę odpowiedniej wytrzymałości siłowniki są usuwane. Na końcu zamurowywane zostają gniazda po siłownikach.

Wymagane podniesienie najniższej części budynku może wynosić nawet ponad 1000 mm i nie jest ono możliwe do zrealizowania przy użyciu samego siłownika, którego zakres pracy jest niewielki, ze względu na ograniczony do 200 mm wysuw tłoka. Siłownik musi więc być podbudowywany dodatkowymi elementami, które tworzą stos kilku lub nawet kilkunastu elementów. Budynek spoczywa więc na układzie podpór tymczasowych, które tworzą siłowniki hydrauliczne lub siłowniki hydrauliczne współpracujące ze stosem powtarzalnych elementów prostopadłościennych. W przypadku niewielkich budynków, o wysokości do trzech kondygnacji nadziemnych, elementy stosu stanowią drewniane kłocę [4]. W przypadku większych obiektów, wykorzystuje się elementy prostopadłościenne wykonane ze stali (Rys. 2b).

### 2. Podpora tymczasowa

Pojedyncza tymczasowa podpora wykorzystywana w trakcie rektyfikacji składa się z siłownika hydraulicznego oraz stosu powtarzalnych elementów prostopadłościennych. Jeden element prostopadłościenny ma wymiary zewnętrzne 320 x 350 x 73 mm i złożony jest z układu zespawanych ze sobą profili walcowanych: trzech ceowników UPN160 oraz dwóch połówek ceownika 1/2UPN160 (Rys. 3a). Kolejno ułożone na sobie elementy prostopadłościenne tworzą stos. Siłownik o nośności 1000 kN (Rys. 3c), ma średnicę zewnętrzną

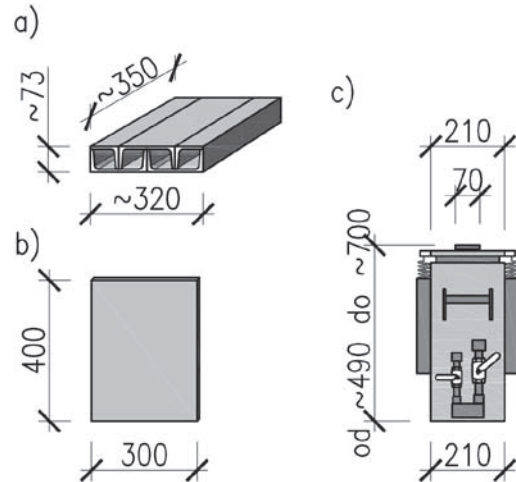
\*Autor korespondencyjny. E-mail: krzysztof.gromysz@polsl.pl



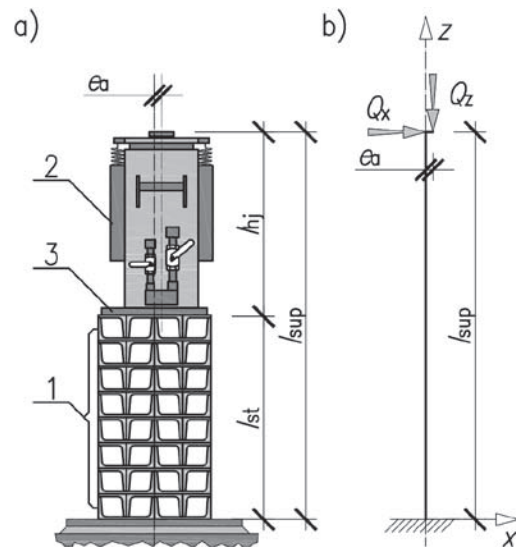
Rys. 2. Tymczasowe podpory budynku: a) układ podpór zabudowany w ścianie budynku, b) pojedyncza podpora złożona z siłownika i stosu stalowych elementów prostokątnych  
Fig. 2. Temporary supports of the building: a) system of the supports built in the wall of the building, b) single support consisting of jack and stack of cuboid steel elements

cylindra wynoszącą 210 mm oraz wysuw tłoka ograniczony do 200 mm. Tłok zakończony jest siodełkiem wahlwym o średnicy 70 mm, zapewniającym przegubowe przekazanie siły. Pomiędzy siłownikiem a pierwszym elementem stosu znajduje się przekładka ze stalowej blachy grubości 20 mm i wymiarach 300 x 400 mm (Rys. 3b), której zadaniem jest przekazanie obciążenia z siłownika hydraulicznego na stos w równomierny sposób. Kompletna podpora w postaci siłownika hydraulicznego, blachy oraz stosu elementów podporowych została przedstawiona na rysunku 4a. Podpora w warunkach rzeczywistych spoczywa na warstwach podbudowy wykonanych z podlewki betonowej i blachy, dzięki

czemu podstawa podpory nie ulega przesuwowi ani obrotowi. Ponadto uwzględniając fakt, że ciężar budynku przekazywany jest na podporę przez wahlwe siodło, można uznać, że schematem statycznym takiej podpory jest wspornik. Długość tego wspornika, obciążonego siłą  $Q_z$  oznaczono przez  $l_{sup}$  (Rys. 4b).



Rys. 3. Elementy wchodzące w skład tymczasowej podpory: a) element prostokątny, b) przekładka z blachy stalowej, c) siłownik hydrauliczny  
Fig. 3. Elements of temporary support: a) underlay element, b) steel plate, c) hydraulic jack



Rys. 4. Tymczasowa podpora o długości  $l_{sup}$ : a) szkic podpory, b) wspornik jako schemat statyczny tymczasowej podpory; 1 – stos elementów prostokątnych; 2 – siłownik hydrauliczny; 3 – przekładka z blachy stalowej  
Fig. 4. Temporary support of length  $l_{sup}$ : a) draft of temporary support, b) cantilever as a scheme of temporary support; 1 – stack of cuboid elements; 2 – hydraulic jack; 3 – steel plate

Jak przedstawiono powyżej, w trakcie procesu usuwania wychylenia na tymczasowych podporach spoczywa cały budynek. Ze względu na niedokładności montażu podpór może występować w nich mimośród niezamierzony  $e_a$  przyłożenia obciążenia z siłownika na stos elementów (rys. 4a). Ponadto budynek może przekazywać na podporę także obciążenie

poziome w postaci siły  $Q_x$  (rys. 4b). Obciążenie to wynika z oddziaływania wiatru, oddziaływania niezabudowanych pionowo podpór sąsiednich lub obciążeń wyjątkowych. O bezpieczeństwie procesu usuwania wychylenia decyduje wówczas głównie sztywność podpór. Podpory o zbyt małej sztywności, zmieniające swoją długość podczas ich obciążania powodują odkształcenia budynku. W konsekwencji ściany budynków, zwykle murowane z cegieł, które nie są przystosowane do przenoszenia znacznych odkształceń, ulegają uszkodzeniom. Podobnie podpory cechujące się małą sztywnością są podatne na przemieszczenia w kierunku poziomym. Przemieszczenia te wynikają z występowania sił  $Q_x$  działających w kierunku poziomym oraz odkształceń drugiego rzędu ujawniających się w postaci przemieszczeń w kierunku poziomym nawet przy niewystępującym obciążeniu w tym kierunku. W sytuacji granicznej przemieszczenia w kierunku poziomym mogą doprowadzić do utraty stateczności budynku spoczywającego na tymczasowych podporach i katastrofy wielkich rozmiarów. Stąd wystąpiła potrzeba zaprojektowania i wykonania stanowiska badawczego, które umożliwiłoby wyznaczanie sztywności podpór. Na sztywność podpór, rozumianą jako iloraz wartości siły do wartości przemieszczenia w kierunku działania tej siły, wpływa zarówno sztywność siłownika, jak i stosu elementów prostopadłościennych. Zatem stanowisko badawcze oraz sposób prowadzenia badań winien umożliwiać wyznaczanie parametrów mechanicznych całej podpory oraz jej elementów składowych. Założono wyznaczanie następujących parametrów:

- sztywność  $k_{sup,z}$  podpory w kierunku pionowym, którą zdefiniowano jako iloraz wartości  $Q_z$  pionowej siły obciążającej przez zmianę długości podpory  $\Delta l_{sup}$ ,

$$k_{sup,z} = \frac{Q_z}{\Delta l_{sup}} \quad (1)$$

- sztywność w kierunku pionowym elementów podpory, to jest siłownika  $k_{hj}$  oraz stosu elementów  $k_{st}$ , jako równe ilorazowi  $Q_z$  przez odpowiednią zmianę długości,

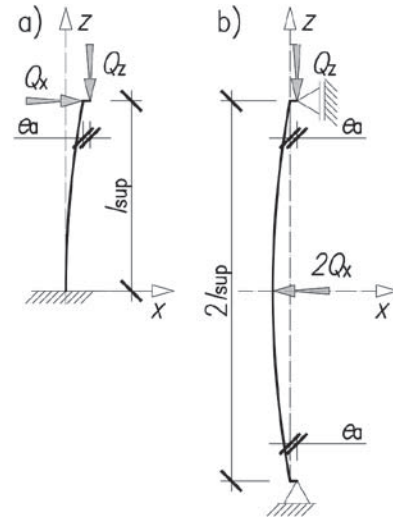
$$k_{hj} = \frac{Q_z}{\Delta l_{hj}} \quad (2)$$

$$k_{st} = \frac{Q_z}{\Delta l_{st}} \quad (3)$$

- sztywność podpory w kierunku poziomym jako iloraz wartości  $Q_x$  siły poziomej przyłożonej do wierzchołka podpory przez wartość  $u_x$  przemieszczenia w kierunku działania tej siły.

$$k_{sup,x} = \frac{Q_x}{u_x} \quad (4)$$

Wyznaczanie tej ostatniej sztywności winno być możliwe przy występowaniu w podporze dowolnej siły pionowej  $Q_z$ . Ponadto w warunkach rzeczywistych występuje mimośród niezamierzony  $e_a$  przyłożenia obciążenia z siłownika na stos elementów prostopadłościennych. Zatem w projektowanym stanowisku winna być możliwość zadawania różnych wartości  $Q_z$  oraz  $e_a$  przy wyznaczaniu parametrów (1) – (4).



Rys. 5. Schematy: a) schemat tymczasowej podpory, b) schemat badanego układu

Fig. 5. Schemes: a) scheme of temporary support, b) scheme of tested system

### 3. Stanowisko badawcze

Jak przedstawiono powyżej schemat podpory może być przybliżony wspornikiem o długości  $l_{sup}$ . Wspornik ten, w zależności od wyznaczanego parametru, jest obciążony siłą  $Q_z$  lub siłą  $Q_x$ . Ponadto siła  $Q_z$  może być przyłożona na mimośrodek  $e_a$ , co wynika z niedokładności montażu podpory w warunkach budowy. Odtworzenie takiego stanu (rys. 5a) w warunkach laboratoryjnych, przy wartościach sił  $Q_z$  sięgających 1000 kN jest niemożliwe. Koniecznym zatem stało się zastosowanie schematu zastępczego, który pozwoliłby na przeprowadzenie badań w laboratorium. Przyjętym schematem jest pręt wolnopodparty o długości całkowitej  $2l_{sup}$  (Rys. 5b). Sztywność  $k_{sup,x}$  tego układu w kierunku poziomym jest równa sztywności wspornika. Z kolei sztywność  $k_{sup,z}$  w kierunku pionowym elementu o długości  $2l_{sup}$  jest dwukrotnie mniejsza od sztywności wspornika o długości  $l_{sup}$ .

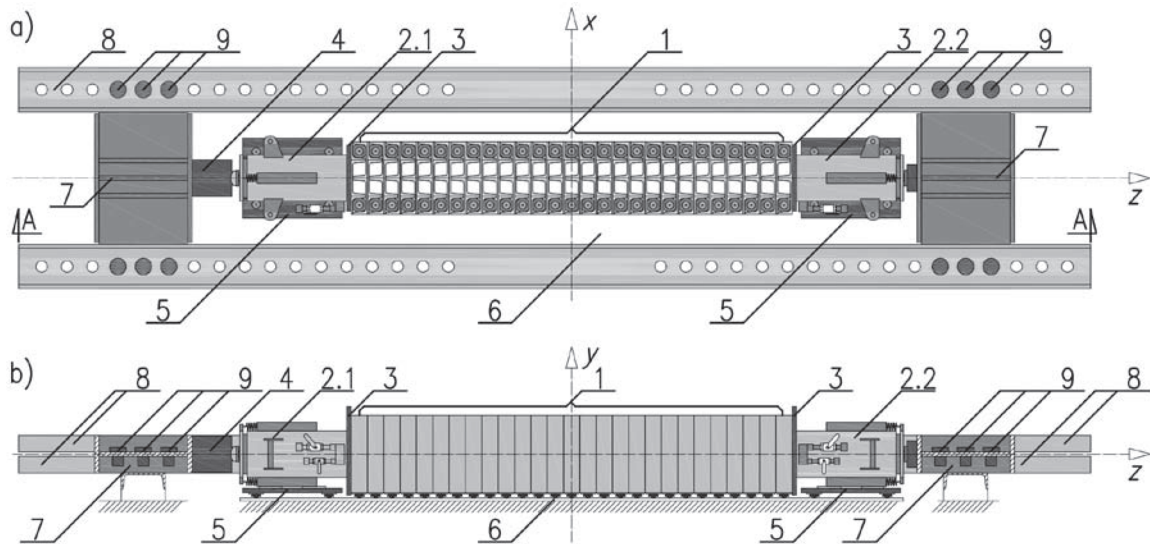
Kolejny problem stanowiła pionowa orientacja podłużnej osi podpory (oś z). Okazało się, że trudno jest zrealizować stanowisko, w którym byłoby możliwe dokładne ustawienie elementów w tej pozycji oraz przeprowadzenie bezpiecznego badania pionowego stosu o długości 3 m, na którego końcach znajdują się dwa siłowniki hydrauliczne o długości 0,5 m każdy. Zdecydowano się więc badać podpory w orientacji poziomej (oś z równoległa do podłoża).

Na potrzeby tak zaplanowanego badania zaprojektowano oraz wykonano stanowisko, którego głównymi elementami są (Rys. 6):

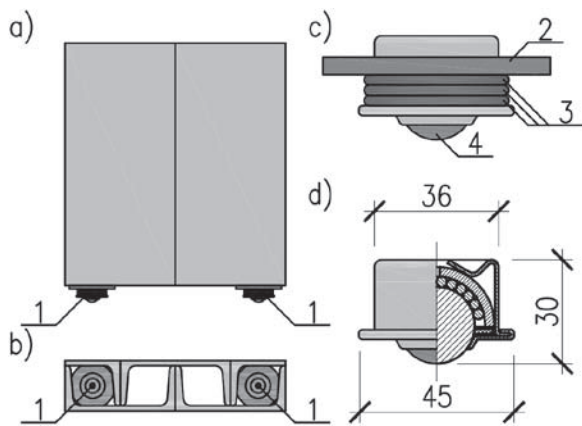
- stalowa rama;
- płyta zespolona;
- aparatura pomiarowa.

Zadaniem ramy jest przeniesienie sił rozporu wywołanych przez aktywny siłownik (2.2 na Rys. 6) w trakcie ściskania elementów badanego układu siłą  $Q_z$ . W związku z tym rama składa się z dwóch głowic oraz dwóch ściągow. Głowice (7 na Rys. 6) mają postać blachownic o wysokości 440 mm i przenoszą siły rozporu pochodzące z siłownika hydraulicznego na parę ściągow (8 na Rys. 6). Każdy ze





Rys. 6. Stanowisko badawcze oraz badany układ: a) widok z góry, b) przekrój A-A; 1 – stos dwudziestu siedmiu elementów podporowych; 2.1 – pasywny siłownik hydrauliczny; 2.2 – aktywny siłownik hydrauliczny; 3 – przekładka z blachy stalowej; 4 – siłomierz; 5 – wózek siłownika; 6 – płyta zespolona; 7 – głowica ramy; 8 – ściąg ramy; 9 – trzpień;  
Fig. 6. Test stand with tested system: a) top view, b) section A-A; 1 – stack of twenty seven underlay elements; 2.1 – passive hydraulic jack; 2.2 – active hydraulic jack; 3 – steel plate; 4 – force transducer; 5 – trolley of hydraulic jack; 6 – composite panel; 7 – the head of the stand; 8 – ties; 9 – steel pin



Rys. 7. Prostopadłościenny stalowy element stosu z łożyskami: a) widok z przodu, b) widok z góry, c) budowa łożyska, d) kula transportowa półwidok – półprzekrój; 1 – łożysko, 2 – podkładka M36; 3 – oringi; 4 – kula transportowa  
Fig. 7. Element of stack with bearings: a) front view, b) top view, c) bearing elements, d) ball transfer unit – half section; 1 – bearing; 2 – M36 washer; 3 – o-rings; 4 – ball transfer unit

ściągów składa się z układu dwóch ceowników UPN200, w których wykonano 34 otwory umożliwiające zmianę odległości pomiędzy głowicami. Połączenie głowic ze ściągami zapewnia 12 trzpień średnicy 50 mm tworzących wraz ze średnikami głowic oraz ceownikami ściągów połączenia dwucięte. Elementem podpierającym badany stos oraz siłowniki jest płyta zespolona (6 na Rys. 6). Jej górną warstwę tworzy wypolerowana blacha stalowa o grubości 2 mm, a warstwę dolną płyta MDF o grubości 12 mm. W dalszej części artykułu przedstawiono stanowisko przygotowane do badania stosu o długości ~2000 mm (Rys. 6). Stos ten składa się z dwudziestu siedmiu stalowych elementów prostopadłościennych, które wraz z dwoma siłownikami powinny odpowiadać rzeczywistej pracy podpory złożonej z siłownika oraz stosu o wysokości 1000 mm (Rys. 5). Aby

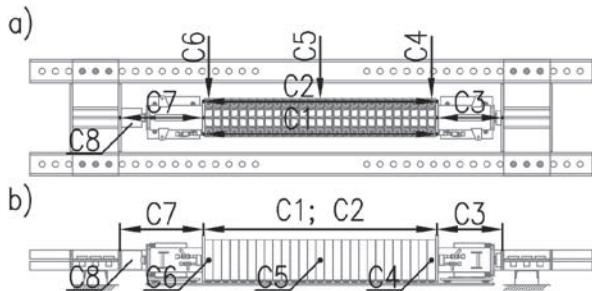
tak było, niezbędne jest zapewnienie swobody przemieszczeń elementów w dwóch kierunkach - wzdłuż osi  $z$  oraz wzdłuż osi  $x$ . Koniecznym stało się więc zminimalizowanie oporów ruchu elementów stosu oraz siłowników względem płyty zespolonej, która stanowi ich oparcie. Każdy z elementów stosu został więc oparty na płycie zespolonej za pośrednictwem dwóch łożysk (Rys. 7).

Podobnie siłowniki zostały oparte na łożyskowanych wózkach. Rozwiązanie to pozwoliło na zredukowanie oporów ruchu do pomijalnie małych wartości. Samo łożysko złożone jest z podkładki M36 przyspawanej do elementu podporowego, kuli transportowej oraz trzech oringów NBR70 o grubości 3 mm każdy. Oringi pełnią rolę sprężystego zawieszenia minimalizującego ryzyko przecięcia pojedynczego łożyska, które mogłoby skutkować uszkodzeniem płyty zespolonej lub samego łożyska. Rozwiązanie to rozkłada obciążenie równomiernie na większą liczbę łożysk.

#### 4. Mierzone wielkości oraz przykładowe wyniki pomiarów

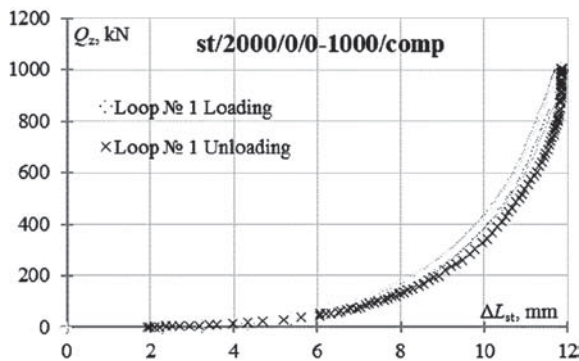
Procedura badania sztywności w kierunku pionowym (kierunku osi  $z$ ) za pomocą opisanego wyżej stanowiska wygląda następująco: w pierwszej kolejności wszystkie elementy stosu zostają ustawione współosiowo, w równej odległości od ściągów ramy i zostają zabezpieczone w tej pozycji. Następnie siłowniki hydrauliczne zostają ustawione w taki sposób, aby przekazywały siłę  $Q_z$  na stos elementów stalowych z założonym dla danej próby mimośrodem  $e_a$ . W kolejnym kroku zabezpieczenie stosu zostaje usunięte, wszystkie czujniki zostają wyzerowane i rozpoczęta zostaje akwizycja danych. Ciśnienie płynu hydraulicznego w siłowniku aktywnym jest stopniowo zwiększane aż do osiągnięcia założonej w danej próbie wartości siły  $Q_{z,max}$ . Po osiągnięciu siły  $Q_{z,max}$  ciśnienie w siłowniku jest stopniowo zmniejszane aż do spadku wartości siły ściskającej  $Q_z$  do zera. Przeprowadzane

są cztery cykle takiego obciążenia dla każdej założonej konfiguracji długości stosu  $l_{st}$ , mimośrodzie obciążenia  $e_a$  oraz wartości siły  $Q_{z,max}$ . W trakcie badania wykorzystuje się 8 kanałów pomiarowych (C1 – C8). Dokonuje się pomiaru siły  $Q_z$  (C8) przemieszczeń punktów charakterystycznych (C4 – C6) oraz zmiany odległości pomiędzy punktami (C1, C2, C3, C7) (Rys. 8). Zmianę długości stosu wyznacza się przy założeniu, że przekładki z blachy stalowej pomiędzy siłownikami, a stosem zachowują się jak ciała sztywne. Można wówczas wyznaczyć zmianę długości stosu w osi siłownika, przy danym mimośrodku  $e_a$ , dysponując jedynie danymi z kanałów C1 i C2.



Rys. 8. Lokalizacja czujników oraz przypisane im kanały pomiarowe  
Fig. 8. Placement of sensors and measurement channels

Poniżej (Rys. 9) przedstawiony został wykres zależności zmiany długości stosu  $\Delta l_{st}$  od siły  $Q_z$  w osi siłownika pochodzący z pojedynczego cyklu obciążenie-odciążenie. Badanie przeprowadzono na stosie o długości  $l_{st} = 2000$  mm,  $e_a = 0$  mm,  $Q_{z,max} = 1000$  kN.



Rys. 9. Zależność  $\Delta l_{st}$  -  $Q_z$  dla stosu o długości  $l_{st} = 2000$  mm,  $e_a = 0$  mm,  $Q_{z,max} = 1000$  kN  
Fig. 9.  $\Delta l_{st}$  -  $Q_z$  dependency of stack of length  $l_{st} = 2000$  mm,  $e_a = 0$  mm,  $Q_{z,max} = 1000$  kN

## 5. Podsumowanie

Usuwanie wychyleń budynków polega na ich nierównomiernym podnoszeniu za pomocą tymczasowych podpór. Schematem statycznym tych podpór jest wspornik o długości  $l_{sup}$ . Bezpieczne projektowanie i prowadzenie procesu usuwania wychyleń obiektów budowlanych wymaga znajomości parametrów mechanicznych tymczasowych podpór, w szczególności ich sztywności. Okazało się, że wyznaczanie tych parametrów, choć proste co do zasady, jest zadaniem złożonym. Nie ma bowiem możliwości w warunkach laboratoryjnych obciążania pojedynczej tymczasowej podpory siłą grawitacyjną o wartości do 1000 kN, przyłożoną na mimośrodku z równoczesnym przykładaniem siły poziomej. W związku z tym przyjęto zastępczy schemat badania tymczasowych podpór, który stanowi element swobodnie podparty o długości  $2l_{sup}$ . Zdecydowano, głównie ze względów bezpieczeństwa, że element badany w pozycji poziomej. W związku z tym skonstruowano stanowisko badawcze, w skład którego wchodzi stalowa rama, płyta zespolona, na którym spoczywa badany układ o długości  $2l_{sup}$  oraz aparatura pomiarowa. Stalowa rama równoważy siłę wywołwaną w siłownikach imitującą siłę grawitacyjną, a płyta stanowi oparcie dla badanego układu. W celu zminimalizowania sił tarcia między badanym układem a płytą, każdy element układu wyposażony jest w łożyska. Po zastosowaniu rozwiązań opisanych w artykule udało się rozwiązać wymienione problemy, a wyniki przeprowadzonych dotąd prób są zadowalające. Umożliwiają one projektowanie procesu usuwania wychyleń w sposób zapewniający jego bezpieczne prowadzenie.

## 6. Literatura/References

- [1] M. Kawulok, Ocena właściwości użytkowych budynków z uwagi na oddziaływanie górnicze. Warszawa: Wydawnictwo ITB, 2000.
- [2] J. Kwiatek i inni, Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Katowice: Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, 1997.
- [3] K. Gromysz, O metodach eliminowania wychyleń obiektów budowlanych, Inżynieria i Budownictwo, nr 6, s. 302-307, 2006.
- [4] K. Gromysz, Wyznaczanie sztywności tymczasowej drewnianej podpory budynku w kierunku podłużnym, MATERIAŁY BUDOWLANE, nr 8, s. 18-21, 2017.