

JERZY JANUSZ

WOJCIECH JANUSZ

PROBLEMY GEODEZYJNEJ KONTROLI BEZPIECZEŃSTWA BUDYNKÓW ZNAJDUJĄCYCH SIĘ W STREFIE WPŁYWU GŁĘBOKICH WYKOPÓW

ZARYS TREŚCI: Omówiono technologię budowy ścian szczelinowych umożliwiających wykonywanie głębokich wykopów w bezpośrednim sąsiedztwie płytko posadowionych budynków. Omówiono technologię pomiarów osiadań i pionowych deformacji fundamentów budynków pod wpływem wykonywania w sąsiedztwie głębokich wykopów. Zilustrowano na przykładzie zależność między osiadaniami i pionowymi deformacjami fundamentów budynków a pracami ziemnymi i budowlanymi w sąsiadującym z nimi głębokim wykopie.

1. WPROWADZENIE

W centralnych rejonach dużych miast znajduje się wśród istniejącej zabudowy wiele placów po budynkach zniszczonych w czasie wojny lub placów zajętych przez budynki nadające się jedynie do rozebrania wskutek osiągnięcia stanu "śmierci technicznej". Są to, ze względu na położenie, place niezwykle atrakcyjne dla inwestorów, którzy pragną na nich wznieść nowoczesne obiekty biurowe, hotelowe, bankowe, handlowe lub mieszkalne.

Wobec żywiołowego rozwoju motoryzacji i nieprzystosowania centrów miast do przyjęcia wzmożonego ruchu samochodowego, jak również braku miejsc do parkowania, coraz częściej dochodzi do tego, że nowoczesne obiekty wznoszone są z kilkukondygnacyjnymi parkingami podziemnymi.

Przy wcześniej stosowanych technologiach trudno było nawet wyobrazić sobie wykonywanie wykopów na głębokość 10-15 m, mieszczących 3-4 kondygnacje podziemne, na działkach plombowych, to jest na styk z istniejącymi budynkami o ścianach fundamentowych sięgających na ogół zaledwie 3-3,5 m pod powierzchnię terenu. Możliwość ta pojawiła się praktycznie dopiero wraz z powstaniem technologii ścian szczelinowych. Wprawdzie technologia ta jest

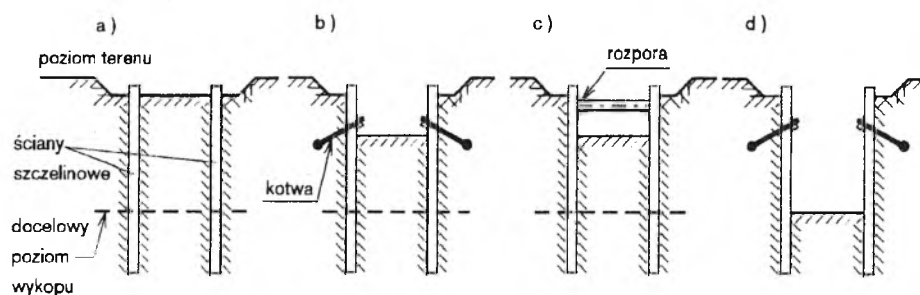
stosowana w Polsce już od kilkunastu lat, jednak zasady jej nie są w środowisku geodezyjnym zbyt szeroko znane, pomimo że budowa z użyciem ścian szczelinowych wymaga wyspecjalizowanej i dobrze ukierunkowanej kontroli geodezyjnej. Z tego powodu pozwalamy sobie na wstępie przedstawić w krótkim zarysie technologię ścian szczelinowych. Jest to niezbędne do przyswojenia sobie dalej podanych informacji i wniosków dotyczących geodezyjnej kontroli bezpieczeństwa budowy.

Technologia ścian szczelinowych polega na tym, że zamiast budowania ścian fundamentowych w przygotowanym wcześniej wykopie, wzdłuż projektowanego obrysu fundamentu drąży się krótkimi, kilkumetrowymi odcinkami wąskie wykopy na zatwierdzonej głębokości - nieco większą niż projektowana głębokość ułożenia posadzki najniższej kondygnacji przyszłej budowli, wstawia się do nich fragmenty zbrojenia wykonanego na powierzchni i zalewa się je betonem, tworząc w rezultacie ścianę, której szalunkiem jest otaczające podłoże - por. rys. 1a. Następnie, po związaniu betonu, ścianę taką stopniowo odsłania się od strony wewnętrznej poziomymi, kilkumetrowymi warstwami przez wydobywanie ziemi.

Jest oczywiste, że w miarę wydobywania ziemi - tworzenia wykopu pod przyszłą budowlę, następuje odciążenie wewnętrznej powierzchni takiej ściany, co powoduje, że parcie gruntu otaczającego wykop na zewnętrzną powierzchnię ściany może wywołać jej ugięcia do wewnątrz wykopu. Z tego powodu po pogłębieniu wykopu o 2-3 m do poziomu I jak na rysunku 1b, wierce się w ścianie i podłożu otaczającym wykop otwory i umieszcza się w nich wiązki lin stalowych, które spręża się po ich umocowaniu do podłoża za pomocą poduszek betonowych utworzonych przez wtłoczenie do otworów mleczka cementowego pod ciśnieniem 10-15 atmosfer. Poduszki te tworzą się na dnach otworów, w odległości do kilkunastu metrów od ściany szczelinowej, w rodzimym, nienaruszonym podłożu otaczającym wykop.

Kotwy mogą być przy bardzo głębokich wykopach zakładane na kilku poziomach, w miarę usuwania z wykopu kolejnych warstw ziemi.

Należy zauważyć, że zakładanie kotew nie pozostaje bez wpływu na zachowanie się podłoża w otoczeniu wznoszonej budowli, bowiem w celu utworzenia w otworach poduszek mocujących napinane liny wstrzykuje się do nich pod ciśnieniem mleczko cementowe, które przed związaniem rozchodzi się częściowo w podłożu otaczającym otwory rozpierając je, co powoduje unoszenie się ku górze nadległych warstw podłoża wraz z istniejącymi instalacjami podziemnymi i budynkami. W zależności od stopnia jednorodności podłoża i rozmieszczenia kotew unoszenie to może być mniej lub bardziej równomierne. W przypadku dużych nierównomierności należy liczyć się z odkształceniami i uszkodzeniami istniejących budynków i instalacji.



Rys. 1

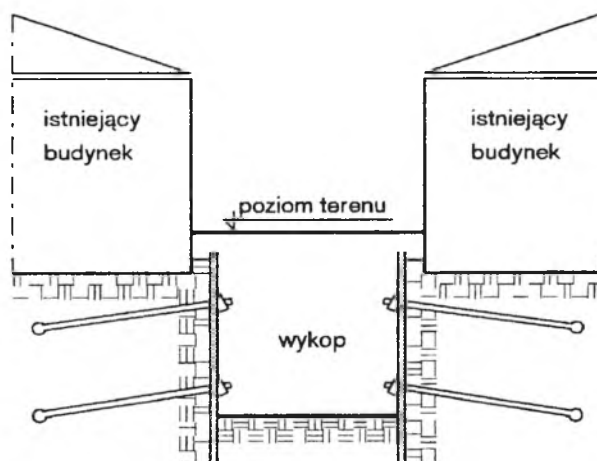
W przypadku, gdy przeciwległe ściany szczelinowe otaczające przyszły wykop pod wznoszoną budowlę znajdują się w niedużych wzajemnych odległościach, to zamiast kotew gruntowych mogą być stosowane rozpory z wielkogabarytowych rur stalowych – rys 1c. Na przykład przy budowie odkrywkowo wznoszonych stacji warszawskiego metra ściany szczelinowe zabezpiecza się za pomocą kotew sytuowanych na 3-5 poziomach, zaś ściany szczelinowe tuneli szlakowych, o wzajemnych odległościach mniejszych niż na stacjach, rozpięane są przy użyciu wielkogabarytowych rur.

Na rysunku 1d pokazano wykop pogłębiony do docelowego poziomu, na którym układa się warstwę chudego betonu i płytę denną a następnie rozpoczyna się wznoszenie kondygnacji podziemnych.

Na rysunku 2 pokazano fragment wykopu i otaczających go ścian szczelinowych, z których jedna, biegnąca wzdłuż ściany szczytowej istniejącego budynku, chroni go przed osunięciem. Na rysunku 2 oznaczono: 1 - opaska stężąca ściany budynku, 2 - ściana szczelinowa, 3 - głowica kotwy, 4 - wnęki w ścianie szczelinowej służące do wsparcia stropów kondygnacji podziemnych, 5 - płyta denną wylana na dnie wykopu, 6 - zbrojenia słupów nośnych wznoszonego budynku.

Niezależnie od stosowania kotew czy też rozpór służących przeciwdziałaniu ugięciom ścian szczelinowych, niezbędne jest, zwłaszcza przy głębokich wykopach graniczących bezpośrednio z istniejącymi, płycej posadowionymi budynkami, prowadzenie pomiarów ewentualnych ugięć ścian pod parciem otaczającego podłoża. Konieczność ta wynika zarówno z dążenia do permanentnego kontrolowania bezpieczeństwa samej ściany szczelinowej, jak i bezpieczeństwa sąsiadujących budynków, które wskutek ugięć ściany szczelinowej tracą oparcie i mogą ulegać rozciąganiom poziomym i nierównomiernym osiadaniom, grożącym spękaniami ścian nośnych.

Kontrola geodezyjna powinna być prowadzona przez cały okres wstępnych prac zabezpieczających sąsiadujące budynki, wykonywania ścian szczelinowych, głębienia wykopu, kotwienia ścian szczelinowych i wykonywania w wykopie podziemnych kondygnacji wznoszonej budowli. W miarę wznoszenia kondygnacji podziemnych niebezpieczeństwo ugięcia ścian szczelinowych stopniowo maleje, bowiem funkcje kotew i rozpór stopniowo przejmują stropy wznoszonych kondygnacji podziemnych. Dzięki temu, po wykonaniu podziemnych kondygnacji kotwy niekiedy są odcinane.



Rys. 3

Gdy na styk ze wznoszoną budowlą znajdują się budynki, to kotwy ścian szczelinowych umieszczone zostają pod nimi, jak to schematycznie ilustruje rysunek 3. Wówczas nie wystarcza kontrolowanie ewentualnych ugięć ścian szczelinowych, ale konieczne jest obserwowanie osiadań i poziomych przemieszczeń sąsiadujących budynków już w fazie poprzedzającej prace związane z budową ścian szczelinowych, głębieniem wykopu i zakładaniem kotew. Wynika to również stąd, że przed rozpoczęciem budowy podejmuje się prace wzmacniające istniejące sąsiednie budynki, polegające na zakładaniu pod nimi mikropali a także na stężaniu ścian nośnych na poziomie piwnic i ewentualnie na wyższych poziomach. Prace te, służące uodpornieniu istniejących budynków, będących na ogół w złym stanie technicznym, zabezpieczeniu ich przed nadmiernymi przemieszczeniami i deformacjami pod wpływem budowy ścian szczelinowych, głębienia wykopu i instalowania kotew, same w sobie też mogą być przyczyną wystąpienia nieznacznych deformacji podłoża i istniejących budynków. Podobnie jak uboczne działania leków na organizm człowieka, które mają na celu chronienie zdrowia, środki te, służące ochronie budynków przed katastrofą, mogą być powodem nieprzyjemnych odczuć i zjawisk, niekiedy nawet wywołując pewne uszkodzenia budynków.



1 2 3 4 5 6

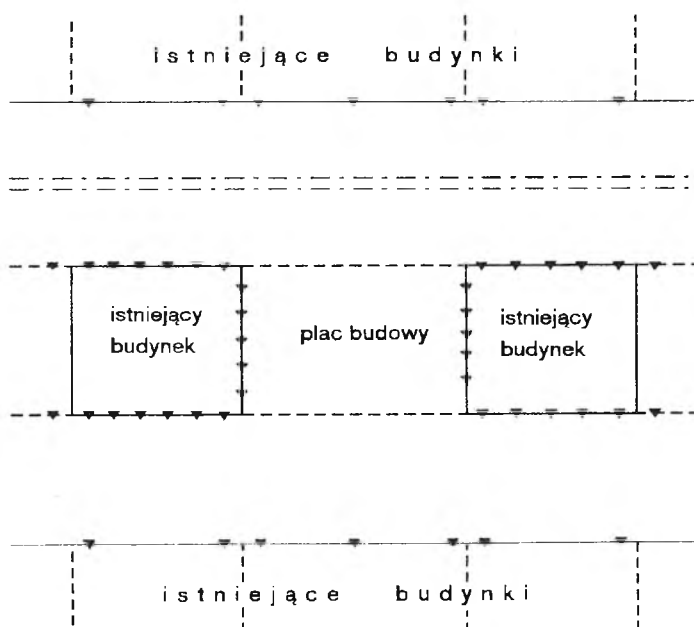


Rys. 2

2. PRZEDMIOT KONTROLI GEODEZYJNEJ, PRACE PRZYGOTOWAWCZE DO POMIARÓW I POMIARY

2.1. Przemieszczenia pionowe

Przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac wzmacniających istniejące budynki oraz prac związanych z wykonaniem ścian szczelinowych i głębieniem wykopu należy zastabilizować sieć reperów kontrolnych rozmieszczonych w taki sposób, aby powtarzane pomiary niwelacyjne dostarczały informacje o osiadaniach i wysokościowych deformacjach wszystkich istniejących budynków otaczających plac przyszłej budowy, zarówno bezpośrednio przylegających do nowo wznoszonej budowli, jak i znajdujących się po przeciwnych stronach ulic i podwórek, w odległości do kilkunastu metrów lub większej, stosownie do oceny geotechnicznej podłoża i oceny wpływu przyszłej budowy. Na rysunku 4 pokazano przykładowo rozmieszczenie reperów przy kontroli wznoszenia jednego z budynków.

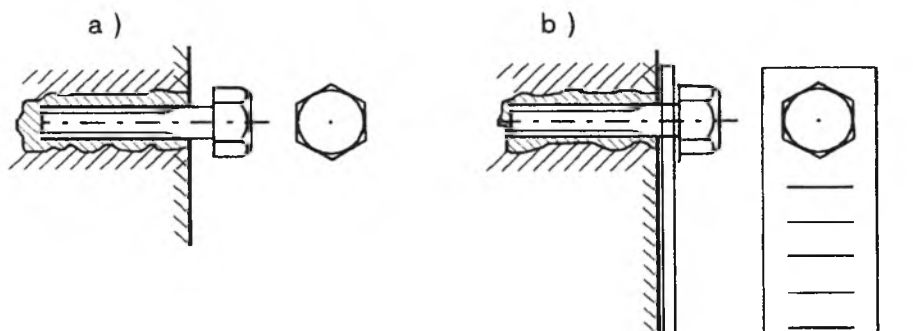


Rys. 4

Na budynkach bezpośrednio przylegających repery powinny być usytuowane na zewnętrznych ścianach nośnych w odstępach co kilka metrów, w miejscach wskazanych przez projektanta, w przybliżeniu na jednym poziomie. Ponadto, w miarę możliwości, repery powinny być osadzane na wewnętrznych ścianach nośnych, w miejscach do których jest wystarczająco dobry dostęp, umożliwiający wykonywanie pomiaru ciągów wewnętrznych i powiązanie ich z siecią zewnętrzną. Jest to jednak postulat w większości przypadków niezwykle trudny do spełnienia. Repery należy w miarę możliwości instalować również na inaczej ukształtowanych elementach nośnych, np. słupach i ławach podporowych.

Przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac związanych z zabezpieczaniem istniejących budynków należy wykonać wyjściowy pomiar założonej sieci reperów.

Jako repery mogą służyć śruby metalowe z sześciokątną główką sytuowaną jak na rysunku 5a, o długości 16-20 cm i średnicy co najmniej 16 mm. Na ścianach szczytowych, graniczących bezpośrednio z przyszłą budową, repery te będą przydatne na ogół tylko w pierwszej fazie budowy, przed rozpoczęciem głębienia wykopu, bowiem później dostęp do nich z łatą staje się bardzo uciążliwy i niebezpieczny. Z tego powodu, bezpośrednio przed rozpoczęciem głębienia wykopu, należy nad tymi reperami osadzić na ścianach krótkie, kilkunastocentymetrowe łatki (rys. 5b), na takim poziomie, aby można było na nie celować lunetą niwelatora ustawionego na stanowiskach. Doświadczenie wskazuje, że nie jest celowe wcześniejsze instalowanie tych łatek, gdyż przed rozpoczęciem głębienia wykopu są one łatwo dostępne dla osób postronnych i narażone na uszkodzenie. Po zainstalowaniu łatek należy oczywiście przy najbliższym pomiarze okresowym wykonać tzw. pomiar przejściowy, to jest odczyty zarówno na łacie ustawionej na reperach, jak i odczyty na zainstalowanych łatkach, aby utrzymać ciągłość wyznaczania osiadań, w odniesieniu do wyników pomiaru wyjściowego.



Rys. 5

Łatki powinny być przytwierdzone w pozycji pionowej ze zwrotem płaszczyzny podziału w kierunku stanowiska niwelatora, z którego prowadzi się odczyty. Jest to jednak postulat niezwykle trudny do spełnienia i wymagający bardzo szczegółowego zapoznania się z projektem organizacji prac budowlanych. Wynika to stąd, że w poszczególnych fazach głębienia wykopu i wykonywania prac przy wznoszeniu kondygnacji podziemnych może występować konieczność zmieniania lokalizacji stanowisk pomiarowych, bowiem w otoczeniu placu budowy pozostaje bardzo wąski pas terenu, zajmowany do: ruchu transportowego, ustawiania dźwigów, składowania materiałów, zaplecza socjalnego, ogrodzeń. Jest to temat nie tylko do studiów dokumentacji, bowiem ze względu na szczupłość miejsca mogą następować nieplanowane wcześniej, doraźne dyspozycje co do jego wykorzystania. Dlatego sprawy wizur i miejsc ustawiania instrumentów muszą być przedmiotem uzgodnień z kierownikiem budowy.

Praktycznie łatki przytwierdza się na styk z powierzchnią ściany szczytowej istniejącego budynku, przylegającej do krawędzi wykopu, a stanowiska niwelatora należy obierać na kierunku w przybliżeniu prostopadłym do tej ściany.

Dodamy, że pomiary służące kontroli bezpieczeństwa powinny być kosztorysowane z uwzględnieniem nagminnie występujących przypadków oczekiwania na udostępnienie wizur przez usunięcie przeszkód, które często zastaje się na placu budowy, pomimo wcześniejszych uzgodnień. Czas oczekiwania może niekiedy być dłuższy od czasu pomiaru.

Na budynkach po przeciwnych stronach ulic i podwórek, znajdujących się w strefie możliwego wpływu wznoszenia ścian szczelinowych i głębienia wykopu również powinny znajdować się repery, lecz ich liczba i gęstość rozmieszczenia nie musi być już tak duża jak na budynkach bezpośrednio przylegających do miejsca budowy. Repery te również powinny być zainstalowane w miejscach wskazanych przez projektanta.

Osiadania wszystkich reperów należy wyznaczać na podstawie okresowych pomiarów sieci niwelacyjnej nawiązanej do 2-3 reperów odniesienia, zainstalowanych na ścianach nośnych budynków znajdujących się poza zasięgiem wpływu innych budów prowadzonych w okolicy. Wynika z tego, że projektowanie sieci nie może odbywać się jedynie na podstawie informacji dotyczących omawianej budowy, która może stanowić potencjalne zagrożenie dla sąsiadujących budynków podlegających kontroli geodezyjnej, ale również z uwzględnieniem wszystkich okolicznych inwestycji, włącznie z budową i remontami sieci uzbrojenia podziemnego, tak aby repery odniesienia mogły spełnić warunek wzajemnej nieruchomości w całym okresie pomiarów osiadań. Ocenę stałości reperów odniesienia i obliczenia osiadań pozostałych reperów należy wykonywać zgodnie z zasadami podanymi w [5].

Po zainstalowaniu reperów na budynkach znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie projektowanej budowy należy wykonać pomiar, umożliwiający

określenie ich współrzędnych poziomych z dokładnością rzędu 0,1 m w lokalnych układach współrzędnych każdego budynku. Są one niezbędne do wyznaczania, na podstawie wyników okresowych pomiarów niwelacyjnych, parametrów określających średnie osiadania dz_0 i zmiany nachylenia ε_x , ε_y , niezdyktowanych fragmentów każdego budynku, a także części pionowych przemieszczeń v_z wszystkich reperów, wywołanych wysokościowymi deformacjami fundamentu. Obliczenia do tego celu należy wykonywać przy użyciu metody omówionej w pracy [2].

Stwierdzenie dużych zmian wysokości położenia poszczególnych reperów nie musi jeszcze świadczyć o zagrożeniu budynku. Do oceny stopnia zagrożenia niezbędne jest analizowanie zmian wysokości całego zbioru reperów zainstalowanych na budynku, służące określeniu, w jakim stopniu stwierdzone osiadanie każdego reperu wywołane zostało równomiernym osiadaniem lub osiadaniem połączonym ze zmianą nachylenia powierzchni reprezentowanej przez repery zainstalowane na niezdyktowanej części fundamentu, a w jakim zniekształceniu tej powierzchni.

Sama zmiana nachylenia powierzchni określonej przez zainstalowane repery może osiągać dosyć duże wartości bez istotnej szkody dla kontrolowanego budynku, pod warunkiem jednak, że nie towarzyszy jej duże zróżnicowanie deformacji wysokościowych tej powierzchni. Stwierdzenie to koresponduje z dopuszczaniem przy budowie i eksploatacji budowli względnych odchyień od pionu ich pionowych krawędzi o wartości do 1:1000. Trzeba dodać, że szkodliwość stwierdzonych deformacji wysokościowych fundamentów zależy w niewątpliwym sposób od szybkości z jaką one narastają. Nawet dosyć duże deformacje, do których dochodzi stopniowo w długim okresie czasu nie są zapewne tak groźne, jak deformacje o podobnej wartości, do których dochodzi nagle lub w krótkim czasie.

Na zagadnienia te pragniemy zwrócić szczególną uwagę wobec tego, że są one powszechnie niedoceniane i że bardzo często spotyka się ograniczenie zainteresowania odbiorców pomiarów do zmian wysokości położenia poszczególnych reperów bez próby wnioskowania o zachowaniu się całych fragmentów fundamentu na podstawie zbioru osiadań wszystkich posadowionych na nim reperów. Również geodeci wykonujący tego rodzaju pomiary niechętnie podejmują próby generalizowania osiągniętych wyników, to jest pokazania prawdopodobnych deformacji fundamentu poza miejscami reperów, uzasadniając to tym, że nie mogą odpowiadać za informacje pochodne od osiągniętych rezultatów pomiarów a jedynie za same rezultaty.

Częstotliwość okresowych pomiarów niwelacyjnych powinna być ustalana przez kierownika budowy i projektanta. Jest ona zależna, w warunkach braku niekorzystnych symptomów zachowania się budynków, od faz prac związanych z wykonaniem ścian szczelinowych, głębinieniem wykopu, kotwieniem ścian szczelinowych i prowadzeniem prac budowlanych. W przypadku jednak

wystąpienia symptomów niekorzystnego zachowania się sąsiednich, istniejących budynków, w postaci pojawiających się spękań i nierównomiernych osiadań, trzeba liczyć się z tym, że może nastąpić konieczność znacznego zwiększenia częstotliwości pomiarów okresowych.

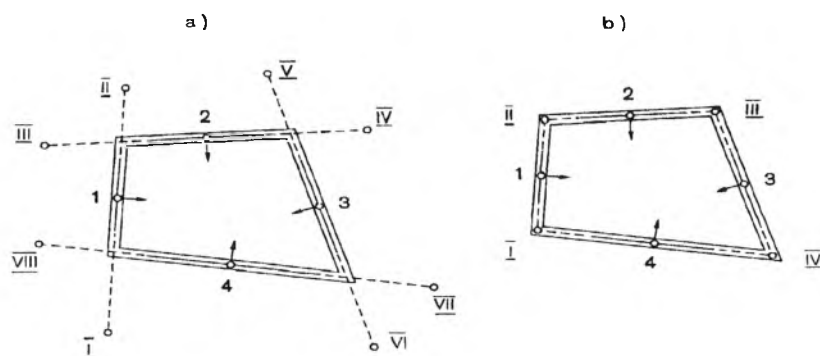
Doświadczenie wskazuje, że przy tego rodzaju budowach osiadania reperów na przyległych istniejących budynkach mogą osiągać wartości dochodzące do 20 mm, z czego można by wyciągnąć wniosek, że niezbędna dokładność ich wyznaczenia może być rzędu 1-2 mm. Jednak decydujące znaczenie dla ustalenia niezbędnej dokładności wyznaczeń mają nie całkowite wartości osiadań dz , lecz wartości części osiadań v_z reperów osadzonych na niezdyktowanych fragmentach fundamentu, wywołane deformacjami wysokościowymi określonej przez nie powierzchni. Okazuje się, że spękania budynków o wartościach wymagających analizowania mogą następować przy znacznie mniejszych, nierównomiernych osiadaniach, rzędu kilku milimetrów, co wskazuje, że dokładność wyznaczania osiadań musi być wyższa, rzędu 0,2 mm. Oznacza to, że pomiary osiadań trzeba wykonywać przy użyciu niwelatora, łąt i technologii niwelacji precyzyjnej.

Czas trwania prac przy głębieniu wykopu i budowie podziemnej części wznoszonego budynku zawiera się na ogół w granicach 0,5-1 roku i w całym tym okresie niezbędne jest wykonywanie pomiarów przy użyciu tego samego niwelatora i łąty o zachowanej, niezmienniej długości podziału. Należy dbać o to, aby w tym czasie nie następowało uszkodzenie reperów, bowiem ich wznowienie w celu kontynuacji pomiarów jest wprawdzie możliwe, ale ocena uzyskiwanych rezultatów staje się bardzo kłopotliwa, głównie z powodu tracenia informacji o zmianach zachodzących w okresach między pomiarami poprzedzającymi uszkodzenia a pomiarami wykonanymi na reperach wznowionych.

2.2. Przemieszczenia poziome

Przedmiotem pomiarów powinny być głównie ugięcia ścian szczelinowych, odsłanianych od wewnątrz, pod parciem podłoża zalegającego po stronie zewnętrznej. Należy oczekiwać, że ugięcia te będą się wyrażały przemieszczeniem punktów oznaczonych na ścianie w kierunkach poziomych, prostopadłych do ściany. Składowe poziomych przesunięć w innych kierunkach mogą osiągnąć nieznaczne wartości, głównie pod wpływem zmian temperatury. W zasadzie wyznaczane przemieszczenia poziome powodowane ugięciem ścian powinny być odnoszone do trwałych, kierunkowych punktów odniesienia, oznaczonych poza zasięgiem wpływu parcia podłoża na ścianę. Tak więc, np. w przypadku ścian szczelinowych otaczających przyszłą podziemną część budowli, jak na rysunku 6a, należałoby wyznaczać składowe przemieszczeń punktów, oznaczone strzałkami, względem stałych punktów odniesienia, oznaczonych np. na sąsiednich, istniejących budowlach.

Zgodnie z rysunkiem 6a, przemieszczenie punktu 1 należałoby wyznaczać względem płaszczyzny pionowej zadanej przez punkty I i II, przemieszczenie punktu 2 względem płaszczyzny pionowej zadanej przez punkty III i IV, przemieszczenie punktu 3 względem płaszczyzny pionowej zadanej przez punkty V i VI, zaś przemieszczenie punktu 4 względem płaszczyzny pionowej zadanej przez punkty VII, VIII.



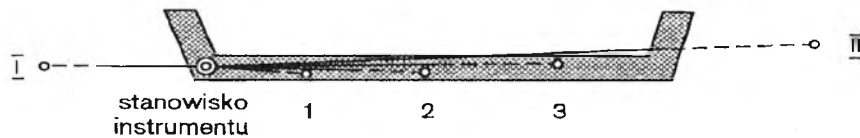
Rys. 6

Ograniczona widoczność oraz rozmieszczenie istniejących, trwałych obiektów wokół placu budowy często znacznie ograniczają możliwości wyznaczania przemieszczeń według tego schematu. Wówczas, w porozumieniu z zamawiającym, można przyjąć wariant postępowania zakładający, że w narożach ścian szczelinowych występują warunki brzegowe, sprowadzające się do znacznie większej odporności na wpływ parcia otaczającego podłoża. Zakładając więc praktyczną nieruchomość punktów oznaczonych w tych miejscach możemy wyznaczać względem nich przemieszczenia punktów znajdujących się na prostych odcinkach ścian, między narożnikami, jak to pokazuje rysunek 6b.

Zgodnie z tym rysunkiem, przemieszczenie względne (bo tak je musimy w tym przypadku nazwać) punktu 1 wyznaczamy względem płaszczyzny pionowej zadanej przez punkty I i II, punktu 2 względem płaszczyzny pionowej zadanej przez punkty II i III, punktu 3 względem płaszczyzny pionowej zadanej przez punkty III i IV i punktu 4 względem płaszczyzny pionowej zadanej przez punkty IV, I.

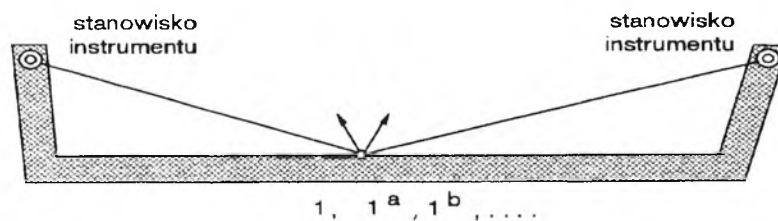
Praktycznie wyznaczenie ugięć ścian w przypadkach pokazanych na rysunku 6 można wykonywać przez pomiar kątów poziomych teodolitem centrowanym optycznie nad punktami o wyznaczanych przemieszczeniach, przy celowaniu na odpowiednie punkty odniesienia. Przy znanych, wyznaczonych przy pierwszym pomiarze odległościach do punktów odniesienia, możemy z różnic okresowo mierzonych kątów obliczać w łatwy sposób liniowe wartości przemieszczeń poziomych.

Jeżeli na każdej ścianie między narożami znajduje się kilka punktów o wyznaczanych przemieszczeniach, to korzystne jest wykonywanie obserwacji tych punktów ze stanowiska umieszczonego w narożu, jak to pokazano przykładowo na rysunku 7. Wartości zmian kątów poziomych zmierzonych ze stanowiska przy celowaniu na stałe punkty odniesienia I i II, oznaczone na sąsiadujących budynkach w znanych odległościach, umożliwiają obliczenie składowej ewentualnych poziomych przemieszczeń stanowiska, natomiast zaobserwowane wartości zmian kierunków poziomych do punktów kontrolowanych 1, 2 i 3 oznaczonych w znanych odległościach od stanowiska instrumentu umożliwiają obliczenie składowych przemieszczeń tych punktów.



Rys. 7

Częstokroć zamawiający zainteresowany jest możliwością wyznaczenia przemieszczeń punktów ściany szczelinowej usytuowanych na profilach pionowych. Tak więc, gdy profil ma rozpoczynać się na górnej powierzchni fundamentu w punkcie 1 (rys. 8) i obejmować punkty $1^a, 1^b, \dots$, zakładane na wewnętrznej powierzchni ściany na niższych poziomach w miarę głębienia wykopu, to konieczne jest mimośrodowe usytuowanie stanowiska. Ten sposób umożliwia wyznaczenie składowych przemieszczeń o kierunkach nieco odchylonych od prostopadłości do osi ściany, co jednak przy niewielkich wartościach mimośródów nie odgrywa istotnej roli, wobec praktycznego braku dużych przemieszczeń punktów kontrolowanych wzdłuż płaszczyzny ściany.



Rys. 8

Trzeba jednak powiedzieć, że wadą tak obserwowanych profili pionowych jest dostępność ich na całej wysokości dopiero po całkowitym pogłębieniu wykopu. Z tego powodu lepiej byłoby dysponować możliwością osadzenia w ścianie szczelinowej pionowej rury w miejscu profilu i obserwować przemieszczenia przy użyciu inklinometru poruszającego się na wózku w rurze. Inklinometry takie używane są do badania przemieszczeń głębszych warstw podłoża na osuwiskach [9]. Analiza wykazała jednak, że takie rozwiązanie, choć korzystne z uwagi na możliwość obserwowania przemieszczeń od początku istnienia ściany szczelinowej, jest zbyt mało dokładne w stosunku do potrzeb. Oczekiwane wartości przemieszczeń punktów nie są większe od 1-3 cm, w zależności od głębokości i rozległości wykopu, zatem dokładność ich wyznaczenia powinna być rzędu 1 mm. Z tego powodu obecnie trwają prace nad innym rozwiązaniem z wykorzystaniem rury osadzonej w ścianie.

Z dotychczasowego opisu zagadnienia wynika, że w zasadzie pomiary ugięć ścian można wykonać przy użyciu stosunkowo prostych, wielokrotnie już sprawdzonych metod pomiarowych. Jednak w warunkach intensywnie prowadzonych prac budowlanych występują znaczne utrudnienia w wykonywaniu pomiarów i utrzymaniu ciągłości kontroli ugięć. Mogłoby się wydawać, że służba geodezyjna może postawić warunki co do zachowania wizur i dostępności całej założonej sieci pomiarowej w całym okresie trwania budowy. Niestety, w praktyce jest to nierealne, bowiem wymagałoby kosztownego uzależnienia organizacji budowy od prac geodezyjnych lub nie mieszczącego się w kosztach wykonania takich pomiarów rozbudowywania i zabezpieczenia układu obserwacyjnego, związanego z pomiarami precyzyjnymi (kilkakrotnie dokładniejszymi od tyczenia przy wznoszeniu budowli). Z tego powodu geodeta przystępujący do założenia sieci i wykonywania pomiarów ugięć ścian musi możliwie jak najwnikliwiej zapoznać się z harmonogramem prac budowlanych i ziemnych, jak również umieć przewidzieć konsekwencje zmian harmonogramu wywołanych np. złymi warunkami atmosferycznymi. Chodzi mianowicie o to, aby, licząc się z utrudnieniami pomiarów w poszczególnych fazach budowy podziemnej części obiektu, w miarę możliwości ubezpieczyć się przez założenie sieci i wykonywanie pomiarów w kilku wariantach tak, aby przy każdym kolejnym pomiarze mieć w dyspozycji możliwość wykonania prac przynajmniej w jednym z tych wariantów.

Doświadczenie z kilku budów wskazuje, że ograniczenie się do wyznaczania ugięć ścian szczelinowych może nie wystarczać do sprawnego informowania o stanie bezpieczeństwa sąsiadujących, istniejących budynków. Chodzi mianowicie o to, że w okresie prac przygotowawczych i prac związanych z wykonaniem głębokiego wykopu występują cztery newralgiczne podokresy, w których możliwe jest wystąpienie niekorzystnych zjawisk:

- 1.) okres wstępnego głębenia wykopu do poziomu, na którym ma się znaleźć górna powierzchnia ściany szczelinowej;
- 2.) okres głębenia odcinkami wąskich wykopów pod ścianę szczelinową;
- 3.) okres kotwienia ściany szczelinowej (zwłaszcza na najwyższym poziomie, pod istniejącymi fundamentami sąsiadujących budynków);
- 4.) okres głębenia wykopu oraz stopniowego odsłaniania i odciążenia ściany szczelinowej.

Z tego powodu, już w fazie prac przygotowawczych, a jeszcze przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac ziemnych i wykonywania ścian szczelinowych, może się okazać celowe wyznaczenie poziomych przemieszczeń ścian szczytowych istniejących budynków, graniczących bezpośrednio z przyszłym wykopem.

Przesłankami do takiego wniosku mogą być m.in. wyniki analizy geometrycznej z pomiarów osiadań przedstawione w przykładzie.

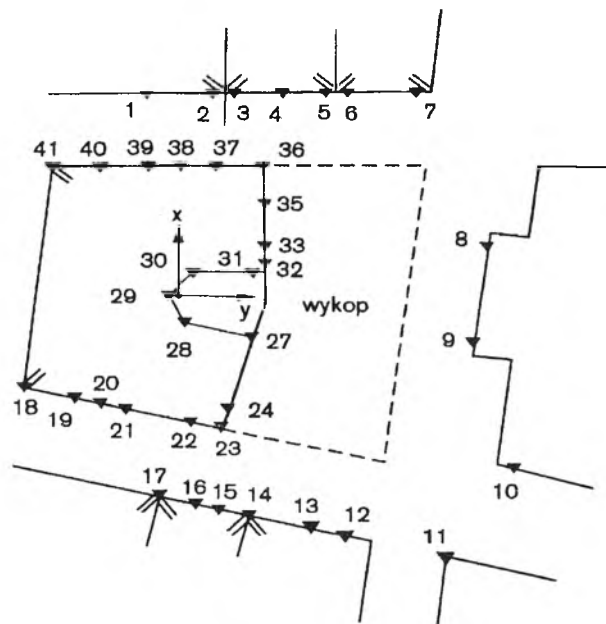
3. PRZYKŁAD

3.1. Ocena wysokościowych przemieszczeń i odkształceń fundamentów istniejących budynków pod wpływem wykonywania w ich sąsiedztwie głębokiego wykopu

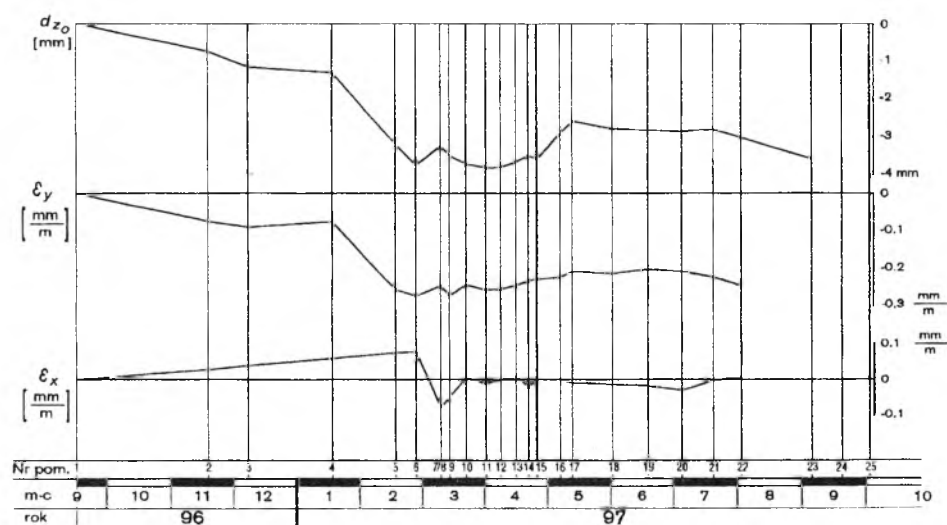
Na rysunku 9 pokazano rozmieszczenie 41 reperów kontrolnych zastabilizowanych na budynkach w otoczeniu wykopu o głębokości 10 m, przeznaczonego na podziemną część wznoszonego budynku. 21 reperów zastabilizowano na istniejących w bezpośrednim sąsiedztwie dwóch budynkach podlegających zabezpieczeniom w postaci mikropali i stężeń ścian nośnych na poziomie piwnic i najwyższej kondygnacji.

Przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac ziemnych i budowlanych wykonano pomiar wyjściowy, a następnie, w okresie prac zabezpieczających, budowy i kotwienia ścian szczelinowych, prac ziemnych i wykonywania konstrukcji trzech podziemnych kondygnacji wznoszonego budynku wykonano 24 pomiary okresowe tej sieci reperów. Pomiary wykonywano w terminach określonych przez zamawiającego, dostosowanych do określonych sytuacji i faz prac na budowie – por. rys. 10.

Wyznaczone osiadania *dz* 21 reperów zastabilizowanych na bezpośrednio sąsiadujących budynkach zestawione są w tablicy 1.



Rys. 9



Rys. 10

Tablica 1

Reper nr	Wartości osiadania d_z [mm] w okresie od pomiaru pierwszego do pomiaru ...																							
	1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7/8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14	1-15	1-16	1-17	1-18	1-19	1-20	1-21	1-22	1-23	1-24	1-25
18	0,0	0,1	-0,2	-0,4	-0,3	-1,1	2,0	1,3	0,0	0,4	0,2	0,0	0,5	-0,2	0,6	0,9	0,8	0,7	0,8	0,6	0,5	0,4	0,7	0,2
19	0,0	0,1	-0,3	-0,8	-0,7	-1,4	2,2	1,5	0,0	0,4	0,1	0,0	0,5	0,0	0,8	1,1	1,0	1,0	1,2	1,1	0,7	0,5	0,4	0,2
20	0,0	-0,1	-0,6	-1,8	-2,2	-2,8	0,4	-0,2	-1,6	-1,2	-1,4	-1,6	-1,0	-1,5	-0,8	-0,5	-0,6	-0,8	-0,6	-0,5	-0,8	-1,1	-1,2	-1,4
21	0,0	-0,6	-0,8	-1,5	-2,0	-2,4	0,6	-0,3	-1,4	-1,1	-1,3	-1,3	-0,8	-1,1	-0,5	-0,2	-0,4	-0,3	0,0	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,8
22	0,0	-0,1	-0,7	-3,1	-3,8	-4,5	-2,8	-3,0	-3,9	-3,6	-3,8	-4,0	-3,2	-3,6	-2,3	-2,6	-2,5	-2,4	-2,5	-2,7	-3,0	-3,2	-3,8	-4,0
23	0,0	-2,0	-3,0	-4,1	-7,4	-8,0	-6,3	-6,7	-7,2	-7,2	-7,2	-7,1	-6,6	-6,8	-5,9	-5,7	-5,7	-5,8	-6,1	-6,5	-6,8	-7,0	-7,4	
24	0,0	-3,4	-4,2	-4,1	-8,0	-8,6	-6,8	-7,3	-7,7	-7,8	-7,9	-7,7	-7,0	-7,8	-6,7	-5,9	-6,7	-6,5	-6,2	-6,3	-6,5	-7,0	-7,4	
27	0,0	-2,2	-3,4	-2,0	-6,1	-7,0	-5,8	-5,9	-6,2	-6,4	-6,4	-6,2	-5,9	-6,4	-5,2	-4,6	-5,2	-5,0	-4,8	-5,0	-5,7	-6,8	-7,4	
28	0,0	-0,2	-0,5	-0,5	-2,8	-3,4	-2,1	-2,1	-3,4	-3,5	-3,5	-3,5	-3,4	-3,7	-2,7	-2,2	-2,5	-2,6	-2,6	-2,6	-3,1	-4,3	-4,2	
29	0,0	0,2	0,0	0,3	-1,6	-2,1	-0,4	-1,0	-1,8	-2,2	-2,1	-2,0	-1,9	-2,1	-1,4	-1,0	-1,3	-1,4	-1,4	-1,3	-1,8	-3,0	-2,5	
30	0,0	0,2	0,3	0,0	-2,1	-2,6	-0,8	-1,3	-1,9	-2,1	-2,0	-2,0	-1,8	-1,9	-1,2	-0,7	-1,1	-1,0	-1,1	-1,1	-1,4	-2,4	-2,2	
31	0,0	0,2	-0,9	-0,7	-4,6	-5,5	-4,2	-4,3	-4,7	-4,8	-4,7	-4,6	-4,3	-4,4	-4,5	-3,1	-3,2	-3,3	-3,4	-3,7	-4,1	-4,9	-5,4	
32	0,0	-0,3	-0,8	-0,9	-4,5	-5,3	-4,2	-4,9	-5,0	-5,1	-5,0	-4,8	-4,4	-4,7	-3,7	-3,0	-3,5	-3,5	-3,6	-3,5	-4,0	-4,6	-5,4	
33	0,0	-0,6	-0,9	-0,9	-5,4	-5,5	-4,6	-6,3	-5,2	-5,4	-5,3	-5,0	-4,7	-5,0	-4,1	-3,5	-4,0	-3,8	-3,9	-4,1	-4,8	-5,4	-6,0	
35	0,0	-2,0	-2,3	-2,0	-5,5	-6,6	-7,0	-7,5	-7,2	-7,4	-7,4	-7,1	-7,0	-7,0	-7,0	-6,0	-5,8	-6,2	-6,0	-6,4	-6,3	-6,8	-7,0	
36	0,0	-1,5	-2,0	-2,4	-5,5	-6,4	-7,3	-7,8	-7,3	-7,7	-7,7	-7,2	-7,3	-7,1	-6,3	-6,1	-6,2	-6,4	-6,0	-6,5	-6,4	-6,9	-7,2	
37	0,0	-0,5	-0,2	-0,4	-1,9	-2,5	-5,5	-4,7	-4,3	-4,5	-4,3	-3,8	-4,2	-4,0	-3,3	-3,2	-3,3	-3,4	-3,6	-3,3	-3,0	-3,9	-3,6	
38	0,0	-0,3	-0,7	-0,4	-1,1	-1,7	-4,9	-4,2	-3,7	-4,2	-4,0	-3,6	-4,0	-3,6	-3,0	-2,9	-3,1	-3,3	-3,3	-3,0	-2,8	-3,6	-3,6	
39	0,0	0,1	-0,8	-0,1	-0,4	-1,2	-3,4	-2,9	-2,6	-2,7	-2,6	-2,3	-2,8	-2,6	-1,8	-1,6	-2,0	-2,0	-2,3	-1,8	-1,5	-2,0	-2,3	
40	0,0	-0,1	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-2,3	-1,8	-1,4	-1,6	-1,4	-1,2	-1,6	-1,4	-0,9	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3	-0,6	-0,4	-0,9	-1,0	
41	0,0	-0,1	0,1	0,1	-0,6	-0,8	-4,5	-3,4	-3,2	-3,4	-3,0	-3,0	-3,4	-3,3	-2,4	-2,5	-2,7	-3,0	-3,2	-2,5	-2,3	-2,6	-2,7	

Tablica 2

Wektory deformacji wysokościowych v_z [mm] w okresie od pomiaru pierwszego do pomiaru ...																				
Reper nr	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7/8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14	1-15	1-16	1-17	1-18	1-19	1-20	1-21	1-22
18	0,0	0,0	-0,4	0,3	0,6	-0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4
19	-0,5	-0,5	-0,6	-1,0	-0,8	-1,9	-1,6	-1,4	-1,5	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4
20	-0,5	-0,5	0,2	-0,4	-0,3	-0,8	-0,7	-0,5	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,6	-0,7
21	-0,2	-0,5	-0,3	-1,1	-1,3	-1,5	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4	-1,2	-1,4
22	0,1	0,0	0,9	-0,6	-0,6	0,9	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,1	-0,5	0,3	-0,1	-0,1	0,2	0,1	-0,1
23	0,7	1,0	1,6	2,1	2,0	3,6	3,2	2,7	2,6	2,6	2,5	2,8	2,4	2,3	2,7	2,5	2,7	2,8	2,8	2,5
24	2,0	2,2	1,6	2,6	2,5	3,7	3,4	2,9	3,1	3,1	2,9	2,9	3,1	3,9	2,7	3,2	3,1	2,9	2,7	2,6
27	0,8	1,3	-0,3	0,4	0,5	1,2	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	0,5	0,5	0,8	0,7	0,4	0,4	0,6
28	-0,6	-0,8	-1,1	-0,9	-0,9	-1,1	-1,5	-0,6	-0,5	-0,6	-0,5	-0,3	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,2
29	-0,8	-1,1	-1,5	-1,4	-1,5	-2,6	-2,2	-1,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	-1,1
30	-0,9	-1,4	-1,3	-1,2	-1,4	-2,9	-2,6	-2,2	-2,1	-2,1	-2,0	-2,1	-2,1	-2,0	-2,1	-1,8	-2,1	-2,2	-2,0	-2,0
31	-1,4	-0,9	-1,1	-0,7	-0,5	-1,4	-1,7	-1,3	-1,4	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,6	-1,4	-1,5	-1,2	-1,2
32	-0,9	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-1,5	-1,3	-1,1	-1,2	-1,3	-1,2	-1,4	-1,2	-1,4	-1,6	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,4
33	-0,6	-0,8	-0,8	0,2	-0,4	-1,3	0,0	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,1	-0,9	-0,9	-1,1	-0,9	-1,1	-1,2	-0,9	-0,6
35	1,0	0,8	1,3	0,8	1,2	0,8	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3	1,1	1,2	1,0	1,2	1,3	1,1	1,2	1,3	1,5
36	0,7	0,7	1,3	1,2	1,4	0,8	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,4	1,5	1,3	1,5	1,7	1,5	1,2
37	0,0	-0,6	-0,2	-0,9	-0,9	0,4	-0,3	-0,2	-0,4	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,7
38	0,1	0,2	0,0	-0,8	-0,8	0,6	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	-0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	-0,1
39	-0,1	0,6	0,0	-0,6	-0,3	0,0	-0,2	-0,2	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5
40	0,4	0,9	1,1	0,9	0,5	0,1	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3
41	0,8	0,5	0,5	2,1	1,9	3,4	3,0	2,7	2,8	2,6	2,7	2,7	2,7	2,5	2,5	2,6	2,7	2,6	2,6	2,7
M_0 [mm]	0,85	0,99	1,04	1,27	1,26	1,99	1,78	1,53	1,56	1,53	1,51	1,55	1,53	1,58	1,51	1,53	1,56	1,58	1,51	1,47
dz [mm]	-0,68	-1,13	-1,30	-3,21	-3,83	-3,23	-3,48	-3,80	-3,86	-3,84	-3,72	-3,55	-3,73	-2,93	-2,57	-2,84	-2,86	-2,94	-2,85	-3,09
ϵ_x [mm/m]	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	-0,07	-0,04	0,00	-0,01	0,00	0,01	-0,02	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,01	0,01
ϵ_y [mm/m]	-0,07	-0,09	-0,08	-0,26	-0,27	-0,25	-0,28	-0,25	-0,26	-0,26	-0,25	-0,23	-0,24	-0,23	-0,21	-0,22	-0,21	-0,21	-0,23	-0,25

Tablica 3

Wektory deformacji wysokościowych v_z [mm] w okresie od pomiaru ... do pomiaru ...																				
Reper nr	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7/8	7/8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22
18	0,0	0,0	-0,4	0,7	0,4	-1,0	0,6	-0,1	-0,1	0,0	-0,0	-0,2	0,3	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0
19	-0,5	0,0	-0,1	-0,4	0,2	-1,1	0,3	0,2	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,2
20	-0,5	0,0	0,7	-0,5	0,0	-0,5	0,1	0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	-0,3	0,0
21	-0,2	-0,3	0,2	-0,8	-0,2	-0,2	0,3	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,1	-0,2	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,2	-0,2
22	0,1	-0,1	0,9	-1,5	0,0	1,4	-0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,3	0,7	-0,4	0,0	0,3	-0,1	-0,2
23	0,7	0,3	0,6	0,5	-0,1	1,7	-0,5	-0,5	0,0	0,0	-0,1	0,2	-0,4	0,1	0,3	-0,3	0,2	0,2	-0,1	-0,2
24	2,0	0,1	-0,5	1,0	-0,1	1,2	-0,3	-0,5	0,2	-0,1	-0,2	0,0	0,3	-0,1	-0,3	0,5	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1
27	0,8	0,5	-1,6	0,6	0,2	0,7	-0,6	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,2	0,2	-0,2	-0,1	0,2	-0,1	-0,2	0,0	0,2
28	-0,6	-0,2	-0,2	0,2	0,0	-0,1	-0,4	0,8	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2
29	-0,8	-0,2	-0,5	0,1	-0,1	-1,1	0,4	0,4	0,4	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,3
30	-0,9	-0,5	0,2	0,0	-0,1	-1,5	0,3	0,4	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	-0,2	0,3	-0,3	0,0	0,1	0,1
31	-1,4	0,5	-0,2	0,4	0,2	-0,8	-0,4	0,4	-0,1	0,0	0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,3	0,2	-0,1	0,3	0,0
32	-0,9	-0,1	0,1	0,0	0,1	-0,7	0,2	0,2	-0,1	0,0	0,0	-0,2	0,2	0,0	-0,3	0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,1
33	-0,6	-0,3	0,0	1,0	-0,6	-0,9	1,3	-0,9	-0,1	0,0	0,0	-0,2	0,2	0,0	-0,2	0,1	-0,1	-0,1	0,3	0,3
35	1,0	-0,2	0,5	-0,5	0,4	-0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,2	0,0	-0,2	0,1	0,1	0,2
36	0,7	0,1	0,6	-0,1	0,2	-0,6	0,5	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,2	-0,3	0,2	0,2	-0,2	-0,3
37	0,0	-0,6	0,4	-0,7	0,0	1,3	-0,7	0,0	-0,1	0,0	-0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	-0,2	0,0	0,1	-0,1	-0,3
38	0,1	0,1	-0,2	-0,9	0,0	1,4	-0,5	-0,2	0,2	0,0	-0,1	0,1	-0,2	0,1	0,1	-0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,2
39	-0,1	0,7	-0,6	-0,6	0,3	0,3	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,2
40	0,4	0,5	0,1	-0,2	-0,3	-0,5	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0
41	-0,8	-0,2	0,0	1,6	-0,2	1,5	-0,4	-0,3	0,1	-0,2	0,1	-0,1	0,1	-0,3	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2
M_0 [mm]	0,85	0,36	0,58	0,79	0,25	1,04	0,53	0,40	0,15	0,09	0,12	0,15	0,18	0,17	0,25	0,23	0,15	0,14	0,18	0,21
$\frac{dz}{dz}$ [mm]	-0,68	-0,45	-0,17	-1,91	-0,62	0,60	-0,25	-0,33	-0,06	0,02	0,11	0,18	-0,19	0,85	0,31	-0,27	-0,02	-0,07	0,09	-0,24
ε_x [mm/m]	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00	-0,16	0,03	0,04	-0,02	0,01	0,01	-0,03	0,02	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,02	0,03	0,02
ε_y [mm/m]	-0,07	-0,02	0,01	-0,18	-0,01	0,03	-0,03	0,03	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	-0,01	0,01	0,00	-0,02	-0,02

Na podstawie danych zestawionych w tablicy 1 obliczono przy użyciu wzorów zaczerpniętych z [2]:

- 1) parametry dz_o (średnie osiadania reperów 18-41 w mm),
- 2) kąty nachylenia ϵ_x, ϵ_y powierzchni P określonej przez repery 18-41, wzdłuż osi X, Y układu współrzędnych, wyrażone w mm/m,
- 3) wektory deformacji wysokościowych v_z – w miejscach wszystkich reperów 18-41 względem przemieszczonej powierzchni P (odkształcenia pionowe tej powierzchni w miejscach reperów), wyrażone w mm,
- 4) błędy średnie

$$M_0 = \sqrt{\frac{[v_z v_z]}{21-3}}$$

Osiągnięcie wartości M_0 przekraczającej oczekiwany błąd wyznaczenia osiadania, równy przy zastosowanej metodzie pomiaru $m_0 = 0,2$ mm można w praktyce uznać za przejaw wystąpienia deformacji wysokościowej powierzchni fundamentów, przy czym stopień prawdopodobieństwa tego stwierdzenia wzrasta wraz z wartością M_0 .

Wartości te zestawiono w tablicach 2 i 3 - w tablicy 2 odniesione do wyników pomiaru wyjściowego, zaś w tablicy 3 jako wynikające z osiadań przy każdym następnym pomiarze w stosunku do pomiaru poprzedzającego.

Na rysunku 10 pokazano graficzny obraz przemieszczeń niezdeformowanej powierzchni P , tj. wykresy wartości $dz_o, \epsilon_x, \epsilon_y$ według tablicy 2.

Na rysunku 11a pokazano w aksonometrii przekroje płaszczyzną poziomą obrysu fundamentów kontrolowanych budynków (linie ciągłe) oraz kontury przemieszczonego pionowo, a zarazem zdeformowanego obrysu (linia przerywana). Rysunki te dotyczą zmian, jakie stwierdzono podczas wybranych pomiarów 2, 4, 5, 6, 7/8, 9 w stosunku do stanu przy pomiarze pierwszym – wyjściowym. Są one utworzone na podstawie osiadań dz zestawionych w tablicy 1.

Widoczne jest, że w miarę postępu prac zabezpieczających, ziemnych i budowlanych, do czasu pomiaru 7/8 następowało stopniowe narastanie osiadań (wektor dz_o i wektory dz osiadań poszczególnych reperów), zmian nachylenia, głównie wzdłuż osi OY , to jest w kierunku powstającego wykopu oraz zdeformowanie obrysu, w którym dominuje uwypuklenie konturów wzdłuż elewacji budynków.

Na rysunku 11b pokazano kontury zdeformowanego obrysu, utworzone przez odłożenie wektorów v_z z tablicy 2 od punktów konturu niezdeformowanego (linia ciągła) do konturu zdeformowanego (linia przerywana). Widoczne jest, że w miarę postępu prac, w okresie do pomiaru 7/8, następował wzrost wartości pionowych deformacji konturu, jednak ze względu na nakładanie się deformacji powstających w wcześniejszych fazach prac trudno jest na podstawie tych rysunków wydzielić deformacje, na które mają wpływ prace ziemne i

budowlane wykonywane w wybranej fazie. Z tego powodu w tablicy 3 zestawiono wartości dz_o , ε_x , ε_y , v_z , M_o obliczone na podstawie osiadań reperów między kolejnymi pomiarami, zaś na rysunku 12 pokazano kontury obrysu zdeformowanego w okresach między kolejnymi pomiarami.

Na rysunku 12 widoczne jest, że w okresie między pomiarami 1-2, w którym wykonano prace wzmacniające istniejące budynki i zdjęto z powierzchni wykopu warstwę 2,5 m ziemi, to jest pogłębiono go nieznacznie, do poziomu wyższego niż zagłębienie fundamentów istniejących, kontrolowanych budynków, wystąpiły zdecydowane deformacje wz fundamentów, charakteryzujące się (tablica 3), wartością $M_o = 0,85\text{mm}$, tj. około 4-krotnie przekraczające błąd wyznaczenia. W tym okresie, pomimo tak nieznacznego pogłębienia wykopu, zaznaczyła się również wyraźna tendencja do nachylenia fundamentów w kierunku wykopu (rys. 10, 11 i tablica 2), o wartości $\varepsilon_y = 0,07 \pm 0,03 \text{ mm/m}$ i wystąpiło osiadanie $dz_o = -0,68 \pm 0,19 \text{ mm}$.

W okresie między pomiarami 2-3, w którym wykonywano wieniec wzdłuż szczytowych ścian kontrolowanych budynków, deformacje osiągnęły wartość średnią $M_o = 0,36 \text{ mm}$, tj. około 2-krotnie większą od wykrywalnej; w okresie tym nastąpiło wyraźne osiadanie $dz_o = -0,45 \pm 0,08 \text{ mm}$, lecz nie nastąpiły duże zmiany nachylenia fundamentów budynków.

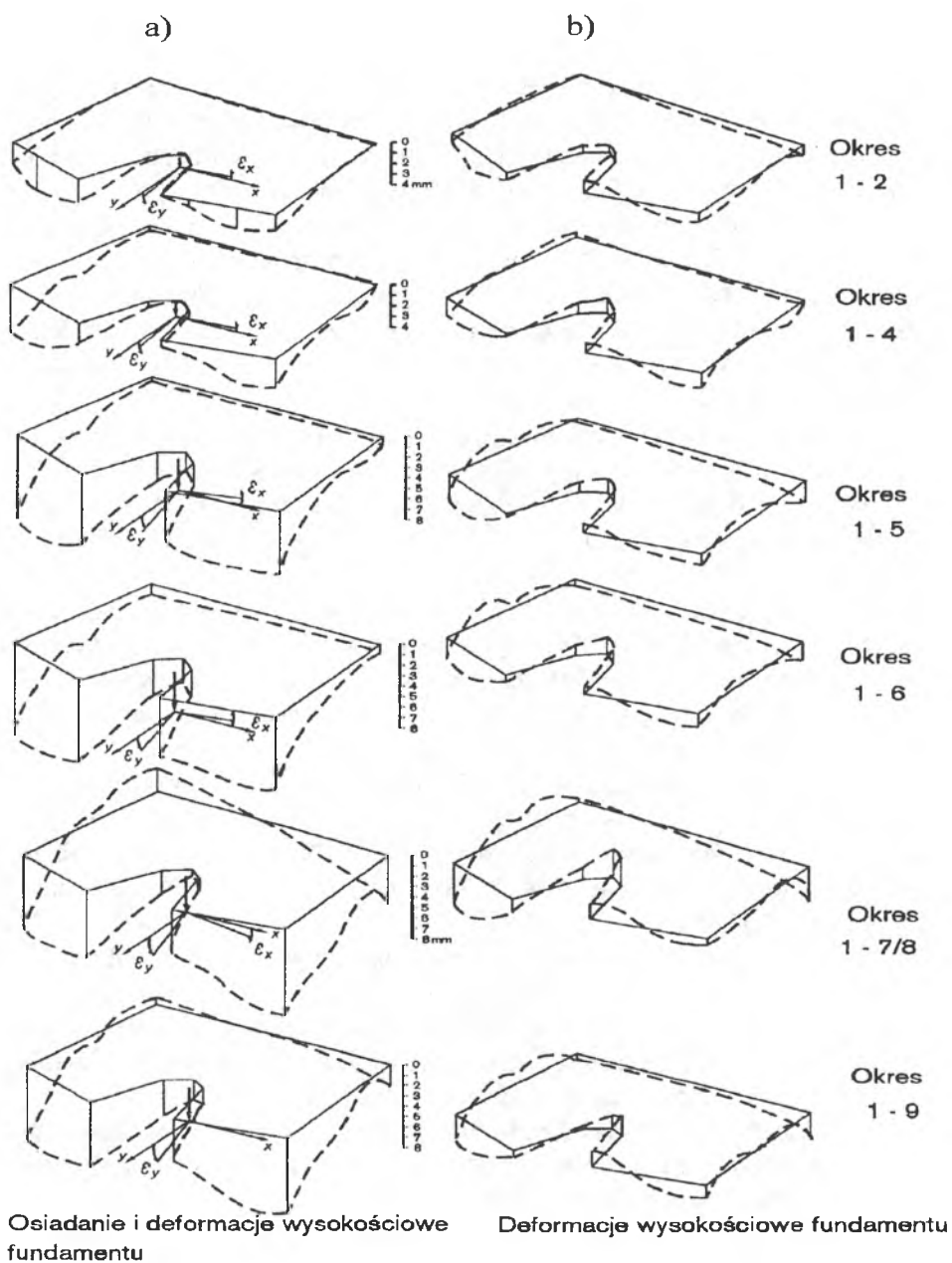
W okresie między pomiarami 3-4 również widoczne jest wystąpienie wyraźnych deformacji $M_o = 0,58 \text{ mm}$, co mogło być spowodowane, niezależnie od rodzaju prowadzonych wówczas prac, dużą zmiennością temperatury od -20°C do $+2^\circ\text{C}$ podczas pomiaru 4; w okresie tym nie nastąpiły zmiany nachylenia, a osiadanie osiągnęło niedużą wartość $dz_o = -0,17 \pm 0,13 \text{ mm}$.

W okresie między pomiarami 4-5 wykonywano wąski wykop i ścianę szczelinową wzdłuż ścian szczytowych istniejących, kontrolowanych budynków. W okresie tym nastąpiły deformacje $M_o = 0,79 \text{ mm}$ oraz duża zmiana nachylenia w kierunku wykopu $\varepsilon_y = -0,18 \pm 0,02 \text{ mm/m}$ i duże osiadanie $dz_o = -1,91 \pm 0,17 \text{ mm}$.

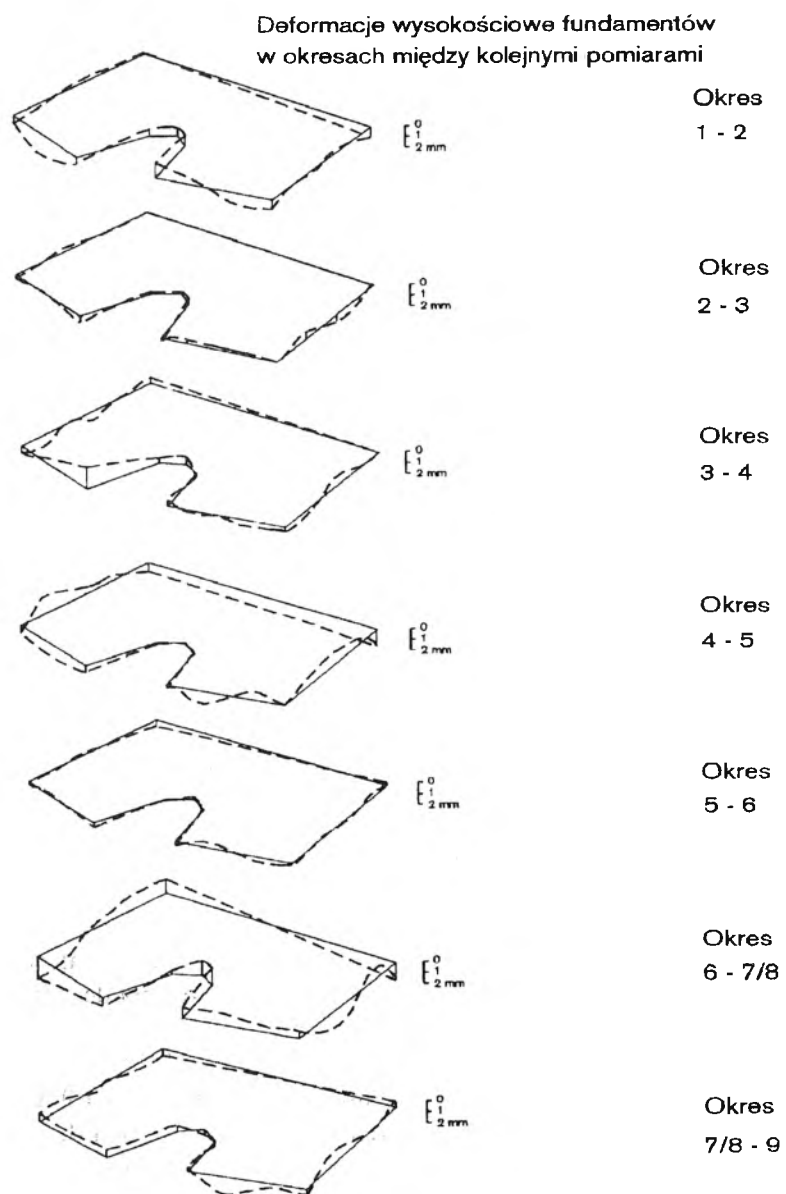
W okresie między pomiarami 5-6 pogłębiono wykop wzdłuż wykonanej ściany szczelinowej o 0,5 m i rozpoczęto przygotowanie do zakładania kotew na najwyższym poziomie. Prace te nie spowodowały deformacji fundamentów istniejących budynków, ani zmian ich nachylenia, jednak w ich wyniku nastąpiło dalsze osiadanie wyrażone wartością $dz_o = -0,62 \pm 0,06 \text{ mm}$.

W dniu 07.03.1997 na ostatniej kondygnacji budynku istniejącego, stykającego się bezpośrednio z placem budowy nastąpiło pęknięcie o rozwartości 6mm jego przeciwległej ściany nośnej.

Pomiar 7 był wykonany w trybie nagłym, wobec stwierdzonego ww. pęknięcia ściany nośnej. Ponieważ jego wyniki okazały się nieoczekiwane, następnego dnia wykonano pomiar 8, całkowicie potwierdzający rezultaty pomiaru 7. W tej sytuacji obliczono osiadania średnie dz z pomiaru 7 i 8, figurujące w tablicy 1 z numerem 7/8.



Rys. 11

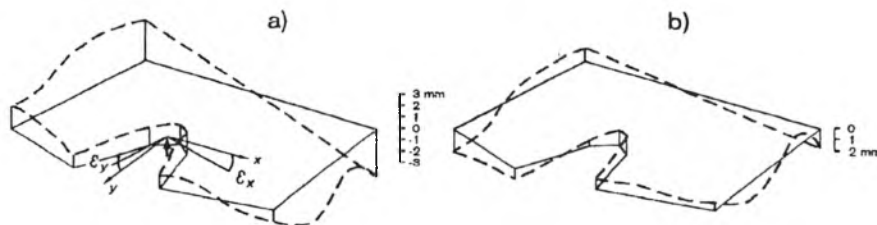


Rys. 12

Wspomniane wyżej pęknięcie ściany nośnej spowodowało podjęcie decyzji o czasowym wyprowadzeniu lokatorów z zagrożonych budynków i zbadanie przyczyn tego zdarzenia.

W okresie między pomiarami 6-7 stężano kotwy na najwyższym poziomie ściany szczelinowej, graniczącej ze ścianami szczytowymi istniejących, kontrolowanych budynków. Oznacza to, że w tym okresie tłoczono w otwory sięgające pod te budynki na odległość do 17 m, mleczko cementowe pod ciśnieniem 10-15 atmosfer. W fazie tej wystąpiły zwiększone deformacje fundamentów $M_0 = 1,04$ mm oraz wystąpiła zdecydowana zmiana kierunku nachylenia fundamentów $\varepsilon_x = -0,16 \pm 0,02$ mm/m i średnie uniesienie fundamentów $dz_0 = +0,60 \pm 0,24$ mm.

Zmiany położenia fundamentu, jakie stwierdzono przy pomiarze 7/8 w stosunku do stanu przy pomiarze 6 pokazuje rysunek 13a, zaś deformacje rysunek 13b. Widoczne jest, że prawdopodobnie pod wpływem tłoczenia mleczka cementowego do otworów na kotwy nastąpiło nierównomierne osiadanie podłoża kontrolowanych budynków, polegające na uniesieniu lewego skraju i obniżeniu prawego skraju.



Rys. 13

Sytuacja powstała po pęknięciu ściany nośnej była przedmiotem analizy dokonanej przez eksperta z ITB, prof. L. Wysokińskiego, który analizował wszystkie wyniki badań przeprowadzonych w związku z tym zdarzeniem, w tym również wyniki okresowych pomiarów przemieszczeń i odkształceń.

W wyniku analizy rezultatów pomiarów podjęta została decyzja o ponownym wprowadzeniu lokatorów do obu kontrolowanych budynków, jednak przy jednoczesnym, czasowym wstrzymaniu prac ziemnych i budowlanych i znacznym zwiększeniu częstotliwości kolejnych pomiarów. Pomiar 9 wykonano cztery dni po pomiarze 8. Jego wyniki wykazały, że nastąpiła deformacja $M_0 = 0,53$ mm oraz nieznaczne średnie osiadanie $dz_0 = -0,25 \pm 0,12$ mm i praktyczny brak zmian nachylenia w stosunku do pomiaru 7/8.

Kolejne pomiary, aż do pomiaru 15, wykonanego 1,5 miesiąca po pęknięciu ściany, wykazały minimalne przemieszczenia i deformacje, zawierające się w okresach między kolejnymi pomiarami w granicach dokładności wyzna-

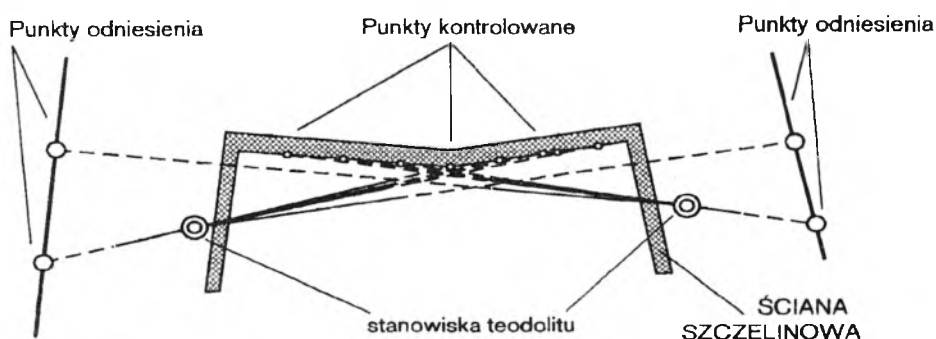
czenia, jednak z wyraźną tendencją do stopniowego zbliżenia osiadań do stanu z pomiaru 6 poprzedzającego pomiar 7/8, przeprowadzony bezpośrednio po wstrzymaniu prac ziemnych i budowlanych.

Ponowne podjęcie prac wywołało w okresie między pomiarami 15-16 uniesienie reperów o średnią wartość $dz_o = +0,85 \pm 0,04$ mm przy braku zmian nachylenia i deformacji powierzchni P . Kojarzy się to wyraźnie z przeprowadzonym w tym okresie sprężaniem kotew na drugim, niższym poziomie, poprzedzonym wstrzykiwaniem mleczka cementowego do otworów na kotwy, co mogło spowodować zaobserwowane wypiętrzenie fundamentów.

Kolejne pomiary 16-25 nie wykazały już występowania wysokościowych deformacji fundamentów istniejących budynków, pomimo że w międzyczasie prowadzono dalsze głębenie wykopu, kotwienie ściany szczelinowej na trzecim, najniższym poziomie, układanie płyty dennej oraz wykonywano konstrukcje trzech kondygnacji podziemnych i dwóch kondygnacji nadziemnych wznoszonego budynku.

3.2. Przesunięcia poziome

Po oczyszczeniu górnej powierzchni wykonanej ściany szczelinowej wzdłuż ścian szczytowych sąsiadujących, kontrolowanych budynków rozpoczęto wyznaczanie ugięć poziomych tej ściany. W tym celu na jej górnej powierzchni zastabilizowano osiem znaków kontrolnych rozmieszczonych jak na rysunku 14. Przesunięcia poziome tych znaków wyznaczano metodą kątową, teodolitem ustawionym na dwóch stanowiskach mimośrodowych i orientowanym na celowniki odniesienia, oznaczone na elewacjach budynków stojących po przeciwnych stronach ulic graniczących z placem budowy.



Rys. 14

W miarę głębienia wykopu i odsłaniania wewnętrznej powierzchni ściany szczelinowej stabilizowano na niej znaki na dwóch niższych poziomach i również stopniowo podejmowano wyznaczenie ich przemieszczeń poziomych ze wspomnianych dwóch stanowisk teodolitu.

Wyniki tych pomiarów wykazały, że ściana szczelinowa w okresie między pomiarami nie podlegała przemieszczeniom poziomym przekraczającym 2 mm. Tym samym można stwierdzić, że ściana ta dobrze spełniała swoją rolę, chroniąc istniejące, sąsiadujące budynki przed przemieszczaniem się w kierunku placu budowy, a także zabezpieczając plac budowy. Nie oznacza to jednak, że we wcześniejszej fazie, tj. przed wykonaniem tej ściany, nie nastąpiły przemieszczenia poziome budynków. O możliwości takiej świadczą wyniki pomiarów wysokościowych odkształceń i przemieszczeń przeprowadzonych w okresie poprzedzającym powstanie ściany szczelinowej. Nasuwa się więc wniosek, że w okresie tym, kiedy nie ma jeszcze ściany szczelinowej, bądź kiedy jeszcze nie jest możliwe obserwowanie jej przemieszczeń poziomych, wskazane jest wyznaczanie przemieszczeń poziomych znaków stabilizowanych bezpośrednio na ścianach szczytowych sąsiadujących budynków.

LITERATURA

- [1] Ajdukiewicz A.: *Kotwy sprężone jako tymczasowe wzmocnienia budynków i podłogi w przejściowych stanach obciążenia*. Inżynieria i Budownictwo 1996 nr 4
- [2] Janusz W.: *Geometryczna interpretacja wyników przemieszczeń i osiadań budynków*. Materiały szkoleniowe – Geoprojekt '74
- [3] Janusz W.: *Obsługa geodezyjna zabezpieczenia ścian głębokich wykopów*. Przegląd Geodezyjny 1981 nr 9-10
- [4] Janusz J., Janusz W.: *Problemy geodezyjnego wyznaczania ugięć ścian szczelinowych*. III Konferencja N-T "Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej". Warszawa 20-21.03.1997
- [5] Lazzarini T. oraz zespół: *Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia*. Warszawa: PPWK 1977
- [6] Sobolewskij J. A. i zespół: *Obudowa wykopu stacji metra w Mińsku*. Inżynieria i Budownictwo 1995 nr 11
- [7] Wierzbicki S., Kłosiński B., Juszcak J.: *Zastosowanie ścian szczelinowych do obudowy wykonanej w sąsiedztwie obiektu istniejącego*. Inżynieria i Budownictwo 1992 nr 6
- [8] Wolski B.: *Geodezyjna identyfikacja procesu deformacji podłoża grunтового*. Politechnika Krakowska 1996

- [9] Wolski B.: *Inklinometryczna metoda pomiaru przemieszczeń poziomych podłoża gruntowego w świetle badań polowych i doświadczalnych*. Przegląd Geodezyjny 1996 nr 5
- [10] Michalak H., Pęski S., Pyrak S., Szulborski K.: *O wpływie wykonywania wykopów głębokich na zabudowę sąsiednią*. Inżynieria i Budownictwo 1998 nr 1

Przyjęto do opublikowania w grudniu 1997

JERZY JANUSZ
WOJCIECH JANUSZ

PROBLEMS OF GEODETIC CHECK OF SAFETY OF BUILDINGS
LOCATED AT THE IMPACT ZONE CAUSED
BY DEEP EARTHWORKS

S u m m a r y

Technology of building slotted walls, used for protection during deep earthworks, is outlined in the article.

The authors presented technology of geodetic control measurements, used for determining:

- 1) vertical displacements of benchmarks placed on the carrying walls of the existing buildings, which are located close to the construction area of the underground garages or buildings with several underground storeys;
- 2) horizontal displacements of points placed on the slotted walls due to alleviation, caused by deepening of excavation surrounded by these walls.

The problems related to the range of control measurements, location of observation stands, reference and checked points, were discussed in the article.

The authors presented the example illustrating relations between the determined displacements of benchmarks, vertical displacements and changes of inclinations of foundations of the existing buildings and particular phases of earthworks and construction works in the deep excavation located close to these buildings. It was emphasized, that deformations of foundations of the existing buildings can appear not only due to deepening of excavation, but also earlier as a result of construction and bolting of slotted wall in close neighbourhood of these buildings.

Translation: Zbigniew Bochenek

*ЕЖИ ЯНУШ
ВОЙЦЕХ ЯНУШ*

ПРОБЛЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ПОСТРОЕК, НАХОДЯЩИХСЯ В СФЕРЕ
ВЛИЯНИЯ ГЛУБОКИХ ВЫЕМОК

Р е з ю м е

Представлена в общих чертах технология выполнения щелевых стен, под прикрытием которых производится углубление выемок.

Представлена технология геодезических контрольных измерений, служащих для определения:

- 1) вертикальных смещений реперов, локализованных на капитальных стенах существующих построек, находящихся вблизи строительной площадки подземных гаражей или зданий с несколькими подземными этажами.
- 2) горизонтальных смещений пунктов на щелевых стенах под влиянием нагрузки, вызванной углублением заслоняемой ими выемки.

Рассмотрены проблемы, связанные с установлением объёма контрольных измерений, локализацией измерительных постов, пунктов относимости и контролируемых пунктов.

Иллюстрированы на примере связи между определяемыми смещениями реперов, вертикальными смещениями и изменениями наклона фундаментов, а также вертикальными деформациями фундаментов существующих зданий, а отдельными фазами земляных и строительных работ в прилегающей к этим зданиям глубокой выемке.

Обращено внимание, что деформации фундаментов существующих зданий могут выступать не только под влиянием углубления выемки, а также раньше под влиянием установки и анкеровки щелевой стены в непосредственном соседстве этих зданий.

Перевод: Róża Tolstikowa