



®
**INSTYTUT
TECHNIKI BUDOWLANEJ**

Seria: instrukcje, wytyczne, poradniki

nr 376/2002

Walery Kotlicki, Lech Wysokiński

**Ochrona zabudowy
w sąsiedztwie
głębokich wykopów**

Warszawa 2002

SPIS TREŚCI

Przedmowa	5
1. Wstęp	7
1.1. Przedmiot i zakres opracowania	7
1.2. Stosowane określenia	7
1.3. Stosowane oznaczenia	7
2. Wymagania ogólne, zalecany tryb postępowania	9
2.1. Wymagania ogólne	9
2.2. Zalecany tryb postępowania przy wykopach w terenie zabudowanym	10
3. Strefy oddziaływania wykopu	11
3.1. Sposób oceny	11
3.2. Dokumentowanie wyników analiz stref oddziaływania wykopu	13
4. Prognozowanie przemieszczeń pionowych podłoża	13
4.1. Zalecenia ogólne	13
4.2. Metody oceny przemieszczeń podłoża	15
4.3. Uproszczony rozkład przemieszczeń terenu	15
4.4. Maksymalne przemieszczenia w bezpośrednim sąsiedztwie obudowy	15
4.5. Przemieszczenia v_{01} (na granicy stref S_I i S_{II})	18
4.6. Wpływ odwodnienia	18
4.7. Przemieszczenia pionowe podłoża w poziomie posadowienia budynku	19
5. Zalecenia projektowe związane z bezpieczeństwem budynków	19
5.1. Zalecenia ogólne	19
5.2. Konstrukcja obudowy	20
5.3. Ocena przemieszczeń obudowy	21
6. Ocena oddziaływań wykopu na stan techniczny budynku	21
6.1. Przedmiot i zakres oceny	21
6.2. Rozpoznanie konstrukcji budynku i jej stanu technicznego	22
6.3. Sposób oceny wpływu przemieszczeń na stan techniczny budynku	23
6.4. Graniczne wartości przemieszczeń konstrukcji – $[s_k]$	23
6.5. Dokumentowanie wyników oceny	24
6.6. Inwentaryzacja uszkodzeń występujących w budynku	25

7. Stosowane metody zabezpieczeń budynków przed nadmiernymi uszkodzeniami	25
7.1. Zastosowanie zabezpieczeń i typy stosowanych metod	25
7.2. Wzmocnienie odporności konstrukcji	27
7.3. Zabezpieczenia ograniczające przemieszczenia konstrukcji	27
8. Monitorowanie budynków w czasie budowy	29
8.1. Zalecenia ogólne	29
8.2. Program monitorowania	30
8.3. Zakres pomiarów kontrolnych	30
8.4. Baza pomiarowa	30
8.5. Częstotliwość pomiarów	32
8.6. Graniczne wartości przemieszczeń	32
Bibliografia	32

PRZEDMOWA

W okresie ostatnich pięciu lat w dużych aglomeracjach miejskich zaczęto wznosić budynki z wielokondygnacyjną częścią podziemną. Posadowienie takich budynków wiąże się z wykonaniem wykopów charakteryzujących się znacznymi wymiarami w rzucie i znaczną głębokością, dochodzącą do 20 m.

Opracowanie zawiera zalecenia związane z zabezpieczeniem istniejących budynków przed nadmiernymi uszkodzeniami na skutek nierównomiernych przemieszczeń podłoża, występujących w sąsiedztwie głębokiego wykopu.

Zakres zawarty w opracowaniu dotyczy najczęściej wykonywanych w terenie zabudowanym wykopów o ścianach pionowych, zabezpieczonych przed utratą stateczności obudową.

Podjęcie próby ujednolicenia trybu postępowania w rozpatrywanym zakresie wynika z dwóch względów. Po pierwsze, ze stosunkowo licznych przypadków istotnych uszkodzeń budynków usytuowanych w sąsiedztwie budowy budynków głęboko podpiwniczonych. Po drugie z faktu, że głęboko podpiwniczone budynki w dużych aglomeracjach miejskich w przyszłości niewątpliwie będzie się budować coraz częściej.

Zawarte w opracowaniu zalecenia oparto na doświadczeniach z licznych realizacji głębokich wykopów na terenie Warszawy, danych dostępnych w literaturze oraz prowadzonych przez Zakład Geotechniki i Fundamentowania ITB wieloletnich obserwacji budynków usytuowanych w sąsiedztwie głębokich wykopów, głównie wykopów przy budowie stacji pierwszego odcinka metra.

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania są zalecenia związane z zabezpieczeniem istniejących budynków przed uszkodzeniami na skutek wykonania w ich sąsiedztwie głębokiego wykopu (p. 1.2).

Zawarte w opracowaniu zalecenia należy stosować przy projektowaniu i wykonywaniu obiektów wymagających wykonania głębokiego wykopu.

1.2. Stosowane określenia

głęboki wykop – wykop o ścianach pionowych zabezpieczonych obudową, zwykle o głębokości większej od 3 m

obudowa – konstrukcja zabezpieczająca ściany wykopu przed utratą stateczności

strefa oddziaływania wykopu – obszar podłoża wokół wykopu, w którym wykonanie wykopu powoduje wystąpienie pionowych i poziomych przemieszczeń gruntu

zasięg strefy oddziaływań wykopu – odległość od obudowy wykopu do linii, gdzie zanikają przemieszczenia podłoża spowodowane wykonaniem wykopu

wykop w terenie zabudowanym – wykop, w którego strefie oddziaływań jest zlokalizowany co najmniej jeden budynek

strefa bezpośrednich oddziaływań wykopu – obszar w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu, w którym w szczególnych przypadkach (np. wskutek niedostatecznej nośności obudowy, nadmiernego ugięcia obudowy) mogą wystąpić przemieszczenia podłoża zagrażające nośności konstrukcji budynku (tzw. strefa S_I)

strefa wpływów wtórnych – fragment strefy oddziaływań wykopu, w którym występujące przemieszczenia podłoża mogą powodować uszkodzenia w budynku, nie zagrażające jednak nośności konstrukcji (tzw. strefa S_{II})

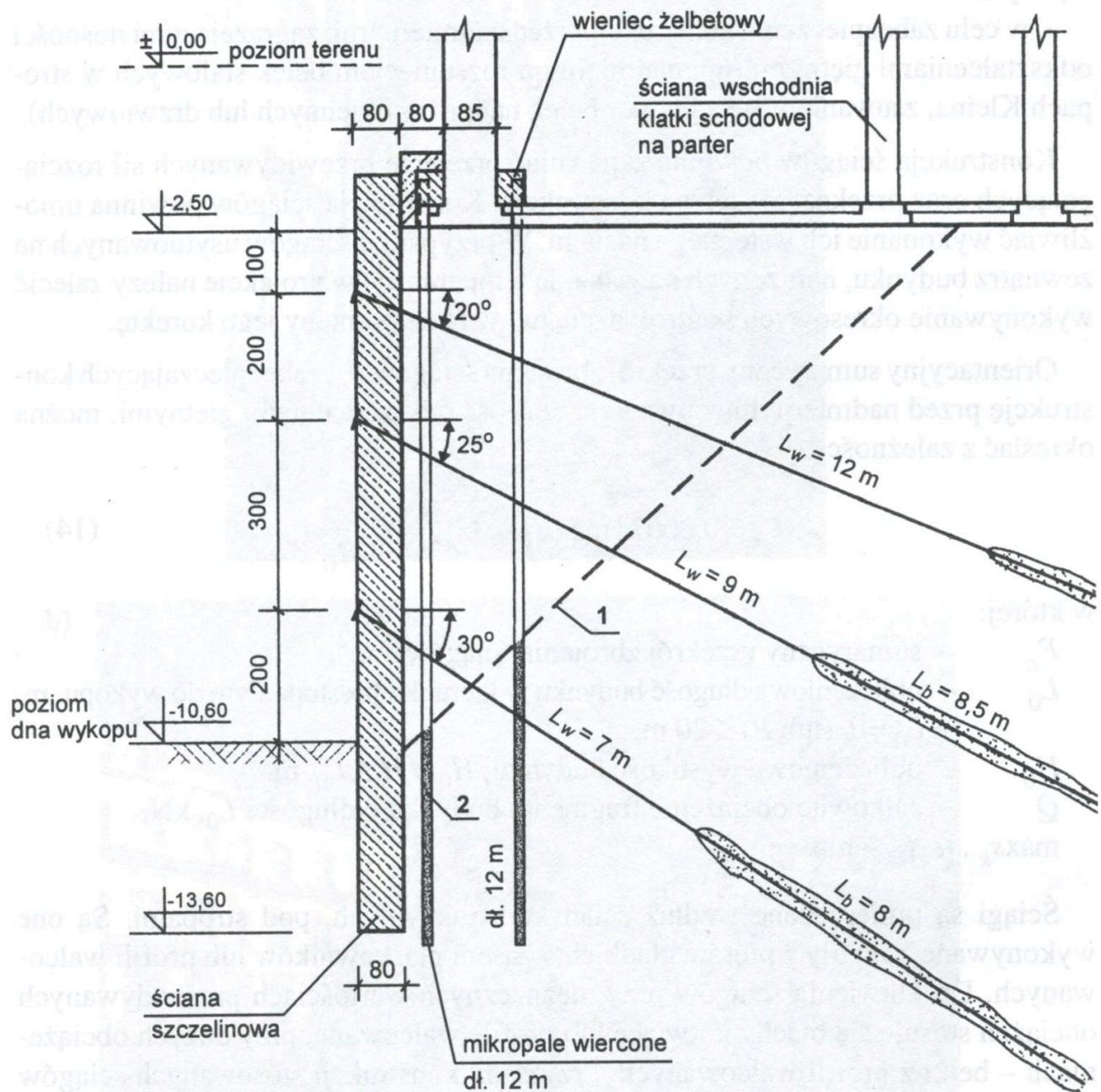
1.3. Stosowane oznaczenia

Parametry wykopu i stref oddziaływań (rys. 1)

- | | |
|------------|--|
| B_w, H_w | – szerokość i głębokość wykopu |
| d | – odległość budynku od obudowy wykopu |
| h_f | – głębokość posadowienia budynku istniejącego |
| S | – zasięg strefy oddziaływań wykopu |
| S_I | – zasięg strefy bezpośrednich oddziaływań wykopu |
| S_{II} | – zasięg strefy wpływów wtórnych |

Aktualnie w praktyce krajowej są stosowane dwie metody podparcia fundamentów:

- za pomocą mikropali wierconych lub wciskanych (rys. 10),
- za pomocą kolumn z cementogruntu formowanych metodą iniekcji wysokociśnieniowej (jet-grouting) – rys. 11.



Rys. 10. Przykład podparcia mikropalami ścian budynku
1 – krawędź klinu odłamu, 2 – pracująca długość pala

7.2. Wzmocnienie odporności konstrukcji

Najczęściej stosowanym sposobem wzmocnienia konstrukcji jest uchwycenie ścian konstrukcyjnych systemem łańcuchów. Łańcuch stosuje się z reguły w dwóch przypadkach:

- w celu zabezpieczenia stateczności określonej ściany (np. słabo powiązanej z konstrukcją budynku ściany szczytowej, usytuowanej w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu),
- w celu zabezpieczenia konstrukcji przed nadmiernymi, zagrażającymi nośności odkształceniami giętnymi (np. nadmiernym rozsunięciem belek stalowych w stropach Kleina, zsuwaniem się z podpór belek nadprozy okiennych lub drzwiowych).

Konstrukcja łańcuchów powinna zapewniać przejęcie przewidywanych sił rozciągających oraz przekazanie ich na konstrukcję. Konstrukcja łańcuchów powinna umożliwiać wykonanie ich wstępnego naciągu. W przypadku łańcuchów usytuowanych na zewnątrz budynku, narażonych na wahania temperatury, w projekcie należy zalecić wykonywanie okresowych kontroli naciągu i w razie potrzeby jego korektę.

Orientacyjny sumaryczny przekrój zbrojenia łańcuchów F_a , zabezpieczających konstrukcję przed nadmiernymi z uwagi na nośność odkształceniami giętnymi, można określić z zależności

$$F_a = 0,0007 \left(\max s_k - [s_k]_u \right) Q \frac{L_0}{H_0} \quad (14)$$

w której:

- F_a – sumaryczny przekrój zbrojenia łańcuchów, cm^2 ,
 L_0 – obliczeniowa długość budynku w kierunku prostopadłym do wykopu, m;
 $L_0 = L$ (lub B) ≤ 20 m,
 H_0 – obliczeniowa wysokość budynku; $H_0 = H \leq L_0$, m,
 Q – całkowite obciążenie fragmentu budynku o długości L_0 , kN,
 $\max s_k, [s_k]_u$ – mm.

Łańcuch są umieszczone wzdłuż ścian konstrukcyjnych, pod stropami. Są one wykonywane z reguły z prętów gładkich, czasem płaskowników lub profili walcowanych. Do kotwienia łańcuchów przy nieznacznych wartościach przewidywanych obciążzeń stosuje się blachy kotwiące lub profile walcowane, przy dużych obciążeniach – belki z profili walcowanych. Przykłady konstrukcji stosowanych łańcuchów ilustrują fotografie zamieszczone na rysunku 9.

7.3. Zabezpieczenia ograniczające przemieszczenia konstrukcji

Ograniczenie przemieszczeń konstrukcji uzyskuje się przez odpowiednie podparcie fundamentów najbardziej osiadającego fragmentu budynku.

a)



b)



Rys. 9 a, b. Przykłady ściągów wzmacniających konstrukcję

Jeżeli budynki są usytuowane w strefie S_{II} , wyniki oceny mogą być dokumentowane w formie krótkiej opinii określającej rodzaj konstrukcji budynku i jej stan oraz wartości przewidywanych i granicznych przemieszczeń konstrukcji.

6.6. Inwentaryzacja uszkodzeń występujących w budynku

Inwentaryzację uszkodzeń występujących w budynku należy wykonać przed rozpoczęciem budowy.

Inwentaryzacja może stanowić integralną część orzeczenia dotyczącego wpływu budowy na stan techniczny budynku lub odrębne opracowanie.

Inwentaryzacja powinna zawierać ogólną charakterystykę występujących uszkodzeń (rodzaj, miejsce i intensywność występowania) oraz dokumentację rysunkową, fotograficzną lub filmową charakteryzującą szczegółowo miejsce występowania uszkodzenia, jego charakter i intensywność.

Zakres zawartych w dokumentacji informacji powinien umożliwiać stwierdzenie, jakie uszkodzenia powstały w okresie budowy.

7. STOSOWANE METODY ZABEZPIECZEŃ BUDYNKÓW PRZED NADMIERNYMI USZKODZENIAMI

7.1. Zastosowanie zabezpieczeń i typy stosowanych metod

Zabezpieczenia budynków przed nadmiernymi uszkodzeniami stosuje się w przypadkach, gdy pomimo właściwie zaprojektowanej obudowy wykopu stwierdza się realne zagrożenie wystąpienia w budynku uszkodzeń zagrażających bezpieczeństwu jego konstrukcji lub obniżających w sposób trwały zakładane warunki jego użytkowności.

Zastosowanie zabezpieczeń może być konieczne również w szczególnych przypadkach, gdy powstanie jakichkolwiek widocznych uszkodzeń w budynku jest niedopuszczalne, np. w obiektach zabytkowych objętych ochroną konserwatora zabytków.

Zastosowanie zabezpieczeń może być uzasadnione również wówczas, jeżeli wystąpienie widocznych uszkodzeń w budynku może wywołać protesty użytkowników powodujące zakłócenie procesu budowlanego.

Stosowane są dwie metody zabezpieczania budynków przed nadmiernymi uszkodzeniami, polegające na:

- a) wzmacnieniu odporności konstrukcji na odkształcenia związane z przemieszczeniami podłoża,
- b) ograniczeniu nierównomiernych przemieszczeń konstrukcji budynku.

- wpływ dodatkowych odkształceń konstrukcji (od przemieszczeń podłoża) na nośność konstrukcji i warunki jej użytkownościi,
- wyniki obserwacji zachowania się podobnych budynków.

W przypadku budynków o rzucie zbliżonym do prostokąta przy ustalaniu wartości granicznych można uwzględnić również usytuowanie budynku względem wykopu. Obserwacje wskazują, że budynki usytuowane osią podłużną prostopadle do wykopu są podatniejsze na uszkodzenia niż budynki usytuowane równolegle do wykopu.

W przypadku budynków w dobrym lub średnim stanie technicznym (są uszkodzeni, ale nie zagrażają nośności) wartości graniczne maksymalnych przemieszczeń konstrukcji można ustalać na podstawie danych zamieszczonych w tablicy 2.

Tablica 2. Orientacyjne wartości granicznych przemieszczeń konstrukcji budynków wg [3], [5]

Rodzaj konstrukcji	$[s_k]_u$, mm	$[s_k]_n$, mm
Budynki murowane bez wieńców, ze stropami drewnianymi lub ceramicznymi typu Kleina	5 ÷ 7	15 ÷ 18
Budynki murowane ze stropami gęstożebrowymi lub żelbetowymi, albo budynki prefabrykowane	7 ÷ 9	20 ÷ 25
Budynki o konstrukcji monolitycznej	9 ÷ 11	25 ÷ 35

6.5. Dokumentowanie wyników oceny

W przypadku budynków usytuowanych w strefie S_I wyniki oceny oddziaływań budowy na stan techniczny budynku powinny być udokumentowane w formie orzeczenia technicznego.

Orzeczenie dotyczące wpływu budowy na stan techniczny budynku powinno zawierać:

- ogólną charakterystykę budynku (lokalizacja, kształt i wymiary rzutu, wysokość budynku, podpiwniczenie, funkcja pomieszczeń, czas wybudowania, właściciel, zarządca, informacje dotyczące dokumentacji technicznej budynku i miejsca jej przechowywania),
- charakterystykę konstrukcji budynku i sposobu jej posadowienia,
- charakterystykę występujących w budynku uszkodzeń,
- ocenę wpływu budowy na stan techniczny budynku,
- wartości przewidywanych i granicznych przemieszczeń konstrukcji,
- w przypadku stwierdzenia zagrożeń nośności lub warunków użytkownościi zalecenia dotyczące sposobu ich usunięcia.

6.3. Sposób oceny wpływu przemieszczeń na stan techniczny budynku

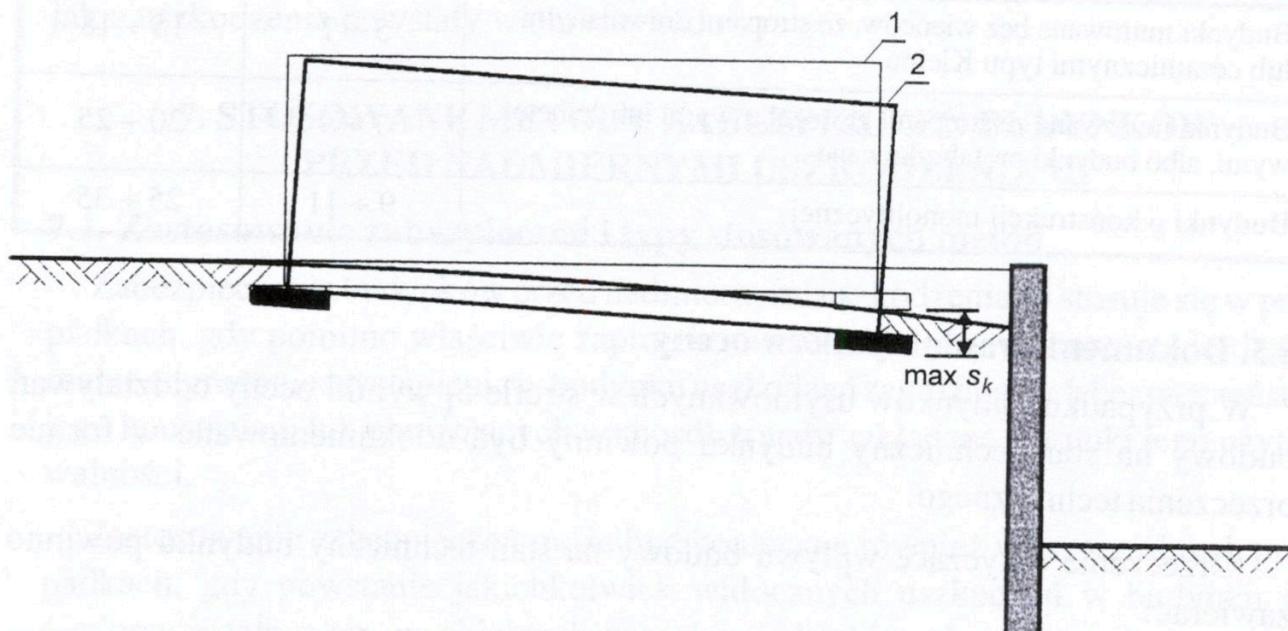
Ocenę oddziaływań przemieszczeń podłoża na stan techniczny budynku można przeprowadzać w sposób uproszczony przez sprawdzenie, czy maksymalna wartość przewidywanych przemieszczeń konstrukcji – $\max s_k$ (rys. 8) spełnia zależność:

$$\max s_k \leq [s_k]_u \quad (12)$$

$$\gamma_f (\max s_k) \leq [s_k]_u \quad (13)$$

w której: γ_f – częściowy współczynnik bezpieczeństwa; należy przyjmować $\gamma_f \geq 2$.

Wartość przewidywanych maksymalnych przemieszczeń konstrukcji można przyjmować jako równą wartości maksymalnych przemieszczeń podłoża w poziomie posadowienia budynku, określonej według zasad podanych w p. 4.7.



Rys. 8. Maksymalne przemieszczenia konstrukcji $\max s_k$
1 – stan przed rozpoczęciem budowy, 2 – stan w czasie budowy

6.4. Graniczne wartości przemieszczeń konstrukcji – $[s_k]$

Przy ustalaniu granicznych wartości przemieszczeń należy brać pod uwagę następujące czynniki:

- rodzaj konstrukcji budynku,
- występujące w budynku uszkodzenia,

W przypadku budynków usytuowanych w strefie wpływów wtórnych S_{II} dokonywanie oceny można uznać za zbędne, jeżeli wartość przewidywanych maksymalnych przemieszczeń konstrukcji $\max s_k$ spełnia zależność

$$\max s_k < 5 \text{ mm} \quad (11)$$

Ocenę wpływu przemieszczeń na stan techniczny budynku należy przeprowadzać na podstawie wyników rozpoznania konstrukcji budynku i jej stanu.

W przypadku budynków usytuowanych w strefie bezpośrednich oddziaływań wykopu oprócz oceny należy dokonać szczegółowej inwentaryzacji uszkodzeń występujących przed rozpoczęciem budowy.

Z uwagi na ewentualne roszczenia sąsiadów wykonanie inwentaryzacji uszkodzeń może być również wskazane w budynkach usytuowanych w strefie S_{II} , jeżeli konstrukcja tych budynków jest w złym stanie.

6.2. Rozpoznanie konstrukcji budynku i jej stanu technicznego

Dokładność rozpoznania konstrukcji budynku i występujących w niej uszkodzeń należy dostosować do występujących zagrożeń.

Ze względów bezpieczeństwa szczegółowe rozpoznanie konstrukcji i występujących w budynku uszkodzeń należy wykonywać w budynkach usytuowanych w całości lub częściowo w strefie wpływów bezpośrednich wykopu S_I .

Szczególne znaczenie należy przypisać rozpoznaniu konstrukcji i występujących uszkodzeń w budynkach starych, zwłaszcza wybudowanych przed 1930 r. Budynki te, zwykle pozbawione wieńców i sztywnych stropów, charakteryzują się szczególną wrażliwością na nierównomierne osiadania. W przypadku budynków, w których sąsiedztwie były dokonywane wyburzenia, szczególną uwagę należy zwrócić na właściwe powiązanie ścian konstrukcyjnych, zwłaszcza ścian szczytowych od strony wykopu.

W przypadku budynków usytuowanych w strefie wpływów wtórnych S_{II} można się ograniczyć do ogólnego rozpoznania rodzaju i stanu konstrukcji (ogłedzin stanu ścian zewnętrznych i ścian klatek schodowych). W szczególnych sytuacjach, jeżeli rozpoznanie ogólne wskazuje na obecność w ścianach zewnętrznych i ścianach klatek schodowych istotnych pęknięć i rys, należy przeprowadzić szczegółowe rozpoznanie stanu konstrukcji.

Zakres rozpoznania stanu budynku powinien obejmować nie tylko uszkodzenia (rysy, spękania, odkształcenia) występujące w elementach konstrukcji nośnej budynku i elementach wypełniających (ścianach działowych i osłonowych), ale również stan tynków i elementów dekoracyjnych.

W szczególnie niekorzystnych warunkach (słabe grunty, budynki w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu) może być dodatkowo wskazane ograniczenie długości sekcji roboczych (stosowanie przy budynku sekcji „na jeden chwyt” głębiarki).

W przypadku usytuowania budynków w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu ściana obudowy podpiera się z reguły wykonanymi od góry stropami (tzw. metoda stropowa). Ten sposób podparcia obudowy w przypadkach wymagających istotnego ograniczenia przemieszczeń podłoża uważa się za najskuteczniejszy. Dodatkową zaletą metody stropowej jest to, że przy tej metodzie zasłania się wykop, co zmniejsza uczucie zagrożenia u mieszkańców sąsiednich budynków.

W przypadkach nie wymagających istotnego ograniczenia przemieszczeń podłoża w sąsiedztwie wykopu, można stosować inne, z reguły tańsze sposoby podparcia ścian obudowy – za pomocą rozpór stalowych, zastrzałów lub kotew gruntowych.

W przypadku ścian kotwionych otwory w ścianach do przepuszczenia kotew powinny być zlokalizowane powyżej poziomu wody gruntowej.

5.3. Ocena przemieszczeń obudowy

Projekt obudowy powinien zawierać ocenę spodziewanych maksymalnych przemieszczeń poziomych ściany oporowej (rys. 7).

Przemieszczenia ścian obudowy wykopu należy obliczać i analizować w poszczególnych fazach realizacji wykopu. W obliczeniach należy rozważyć i w uzasadnionych przypadkach również uwzględnić przemieszczenia podpór wynikające np. ze skrócenia na skutek sił ściskających, odkształceń termicznych, skurcza betonu oraz niedokładności montażu.

Przy ocenie ugięć ścian żelbetowych sztywność ścian należy określić z uwzględnieniem ich zarysowania (z pominięciem odkształceń reologicznych).

6. OCENA ODDZIAŁYWAŃ WYKOPU NA STAN TECHNICZNY BUDYNKU

6.1. Przedmiot i zakres oceny

Oceny oddziaływań wykopu na stan techniczny budynku należy dokonywać dla wszystkich budynków usytuowanych w zasięgu strefy oddziaływania wykopu S.

Przeprowadzenie oceny powinno polegać na określeniu przewidywanych przemieszczeń konstrukcji (s_k) i stwierdzeniu, czy przemieszczenia te nie spowodują:

- zagrożenia nośności konstrukcji,
- powstania w budynku niedopuszczalnych uszkodzeń.



BL
II 220758

Przy wyborze technologii wykonywania wykopu i konstrukcji obudów oprócz czynników technicznych wskazane jest uwzględniać również czynniki psychologiczne, takie jak:

- uczucie zagrożenia, jakie budzi wśród mieszkańców sąsiednich budynków widok głębokiego wykopu,
- uciążliwość wykonania obudowy (hałas, wstrząsy).

Wymienione czynniki są często przyczyną protestów mieszkańców, które mogą spowodować zakłócenia procesu budowy.

Projekt budowlany oprócz wymaganych przepisami informacji powinien zawierać ocenę maksymalnych przewidywanych przemieszczeń podłoża w sąsiedztwie obudowy. Projekt wykonawczy oprócz konstrukcji obudowy powinien zawierać wszystkie niezbędne dane dotyczące warunków jej realizacji (np. terminy zakładania i demontażu rozpór, w przypadku ścian kotwionych warunki wykonywania kotew).

W szczególnych przypadkach, jeżeli odpowiednie ograniczenie przemieszczeń podłoża przez odpowiednie zaprojektowanie konstrukcji obudowy nie jest możliwe, należy stosować dodatkowe zabezpieczenia (patrz p. 7).

5.2. Konstrukcja obudowy

Obecnie w praktyce krajowej przy realizacji wykopów w terenie zabudowanym najczęściej stosowane są obudowy trwałe ze ścian szczelinowych. Obudowy te są szczelne i charakteryzują się znaczną sztywnością. Ściany szczelinowe najczęściej są wykorzystane jako ściany zewnętrzne części podziemnej obiektu. Stosowanie tych obudów jest zalecane szczególnie w przypadkach usytuowania budynków w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu. W praktyce zagranicznej jako równorzędne stosuje się również ściany palowe szczelne (z pali zachodzących na siebie).

W przypadkach nie wymagających istotnego ograniczenia przemieszczeń podłożą w sąsiedztwie wykopu są stosowane również obudowy tymczasowe, np. obudowa berlińska, ścianki szczelne. Stosowanie tych obudów wymaga odpowiedniego doświadczenia.

Obudów tymczasowych przewidzianych do usunięcia po wykonaniu konstrukcji podziemnej obiektu lub umożliwiających sufozję nawodnionych gruntów do wykopu nie zaleca się stosować w przypadku lokalizacji budynków w strefie I.

Przy zastosowaniu obudowy z wykorzystaniem ścian szczelinowych zmniejszenie przemieszczeń podłożu uzyskuje się przez odpowiedni dobór:

- grubości ściany,
- schematu podparcia ściany.

Wartość $v_{w,\max}$ można obliczać jako przyrost osiadań terenu na skutek zwiększenia ciężaru objętościowego odwodnionego gruntu. W najczęściej występujących gruntach morenowych obniżenie terenu z reguły nie przekracza 1 mm na 1 m obniżenia zwierciadła wody.

Wartość współczynnika θ można wyznaczać z zależności

$$\theta = \frac{L}{R} \quad (9)$$

w której:

L – długość lub szerokość budynku w kierunku prostopadłym do wykopu,

R – zasięg leja depresji.

4.7. Przemieszczenia pionowe podłoża w poziomie posadowienia budynku

W przypadku budynków posadowionych na głębokości $h_f \leq 2,5$ m poniżej terenu maksymalne przemieszczenia pionowe podłoża w poziomie posadowienia budynku można przyjmować jako równe przemieszczeniom terenu.

W przypadku budynków posadowionych na większej głębokości poniżej terenu maksymalne przemieszczenia podłoża w poziomie posadowienia można określić z zależności

$$v = v_0 \frac{(H_w - h_f)}{H_w} \quad (10)$$

w której v_0 – przemieszczenie terenu w odległości d_{\min} od obudowy (rys. 1).

5. ZALECENIA PROJEKTOWE ZWIĄZANE Z BEZPIECZEŃSTWEM BUDYNKÓW

5.1. Zalecenia ogólne

Konstrukcję obudów w terenie zabudowanym należy projektować tak, aby nie tylko mogła ona przenieść siły od parcia gruntu na obudowę, ale również zapewniała ograniczenie przemieszczeń podłoża w sąsiedztwie obudowy wykopu do rozmiarów nie stwarzających zagrożenia powstania istotnych uszkodzeń w budynkach sąsiednich.

Przy projektowaniu konstrukcji obudowy należy brać pod uwagę następujące czynniki:

- szczelność ścian na przenikanie do wykopu nawodnionych gruntów,
- odkształcalność ścian,
- skutki ewentualnych błędów wykonawczych przy przyjętej technologii wykonywania wykopu.

W przypadku innych obudów wartość v_i należy określić na podstawie danych z literatury i doświadczeń wykonawcy ścian.

Przemieszczenia v_u spowodowane odkształceniem ściany obudowy można określić według Clougha [1] z zależności

$$v_u = 0,75 \left(\max u_k \right) \quad (6)$$

w której $\max u_k$ – maksymalne przemieszczenie poziome ściany oporowej (rys. 7)

Przemieszczenia $\max u_k$ należy wyznaczać zgodnie z zaleceniami podanymi w p. 5.3.

W przypadku obudowy berlińskiej do wartości $\max u_k$ należy dodać przemieszczenie poziome gruntu spowodowane niedokładnym przyleganiem opinki do gruntu.

Ekstremalne wartości przemieszczeń dodatnich można określić na podstawie zależności:

$$\max v_0^{(+)} = \eta v_{\max} \quad (7)$$

w której:

- v_{\max} – przewidywana maksymalna wartość wypiętrzenia dna wykopu,
- η – współczynnik redukcyjny, przyjmujący wartości:
 - ~ 0,3 – w przypadku obudów zagłębionych w gruncie poniżej dna wykopu na głębokość min. 3 m,
 - ~ 0,6 – w przypadku pozostałych obudów.

4.5. Przemieszczenia v_{0I} (na granicy stref S_I i S_{II})

Przemieszczenia v_{0I} (na granicy stref S_I i S_{II}) można przyjmować jako równe połowie przemieszczeń maksymalnych.

4.6. Wpływ odwodnienia

Przy odwodnieniach wykopów w gruntach o małej odkształcalności ($E_0 \geq 40 \text{ MPa}$) uwzględnianie przemieszczeń spowodowanych obniżeniem poziomu wody gruntowej można uznać za zbędne. W pozostałych przypadkach maksymalne przemieszczenie pionowe spowodowane obniżeniem poziomu wody gruntowej na zewnątrz obudowy można określić z zależności

$$v_w = \theta v_{(w,\max)} \quad (8)$$

w której:

- $v_{w,\max}$ – maksymalne przemieszczenie terenu spowodowane obniżeniem poziomu wody,
- θ – współczynnik uwzględniający korzystniejszy z reguły dla budynków, bardziej „łagodny” rozkład przemieszczeń v_w w porównaniu z rozkładem przemieszczeń v_i i v_u .

z przewarstwieniami średniozagęszczonych piasków interglacialnych można przyjmować

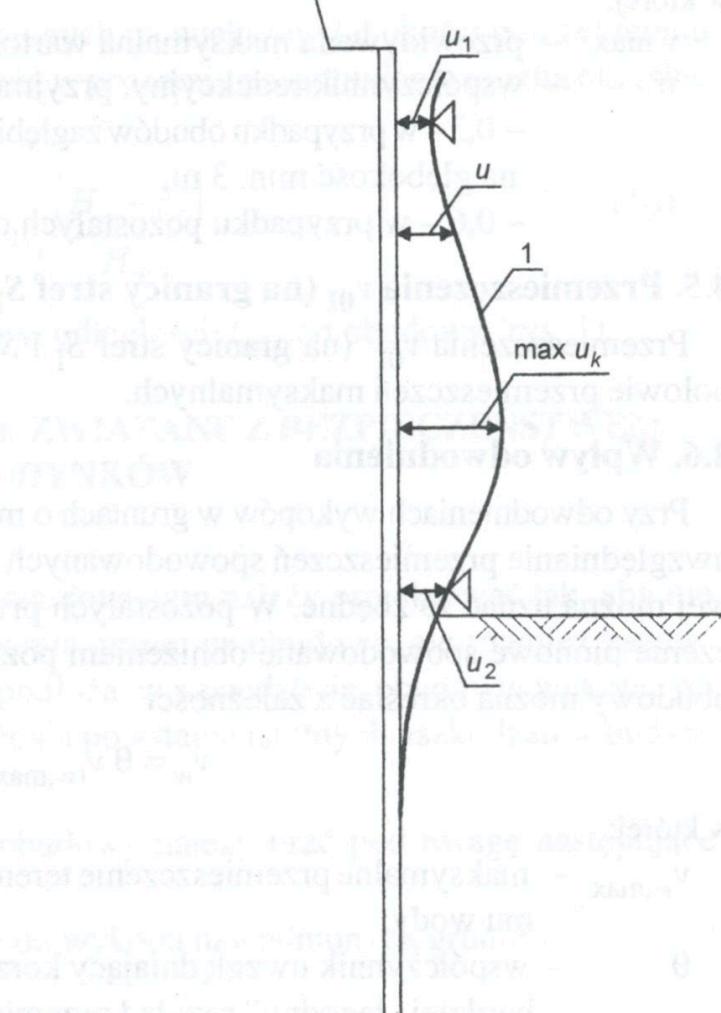
$$\alpha \approx 1,0 \div 1,3 \quad (4)$$

Z danych w literaturze [4] wynika, że w niekorzystnych warunkach gruntowych, stwarzających zagrożenie występowania obwałów w szczelinie, należy przyjmować

$$\alpha \approx 1,3 \div 5,0 \quad (5)$$

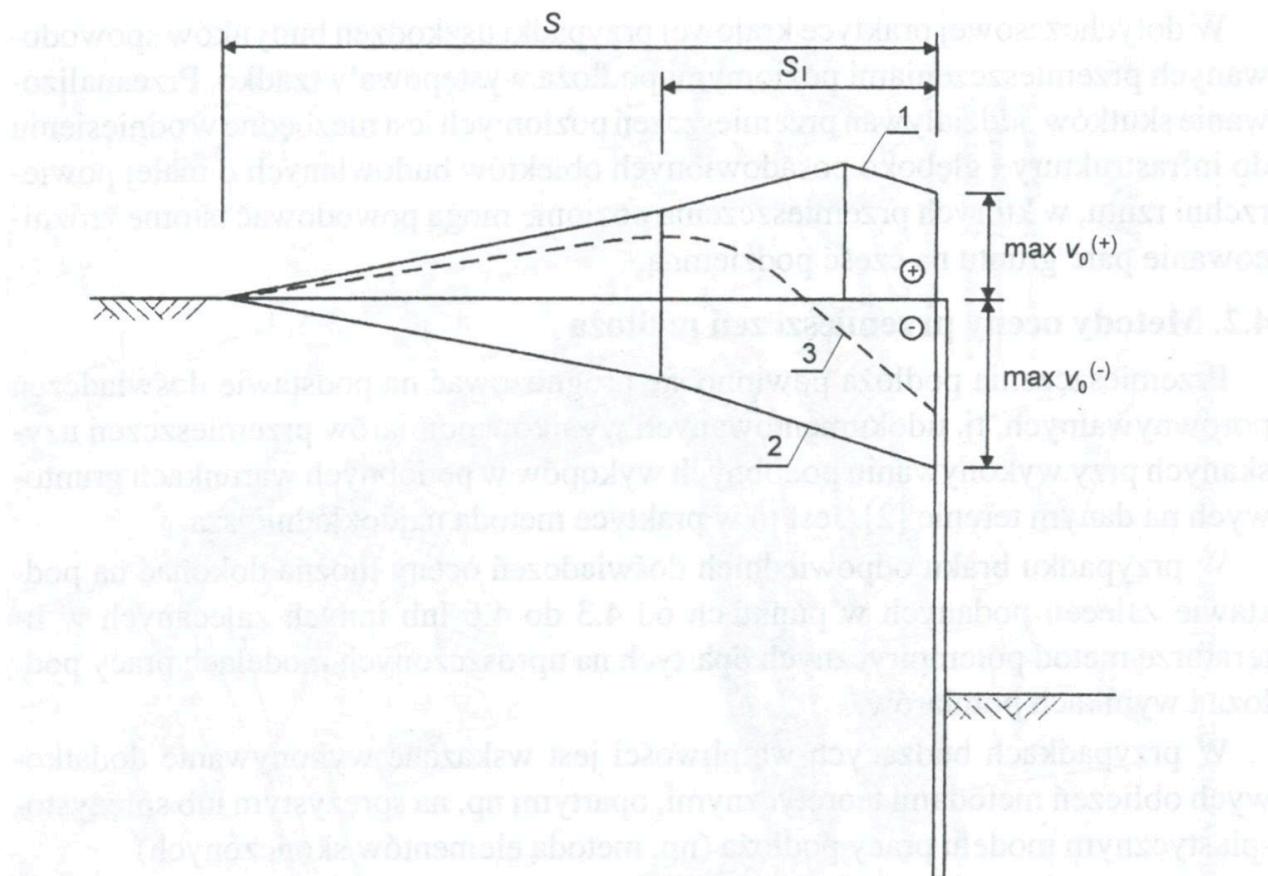
Do niekorzystnych warunków gruntowych należy zaliczać przypadki występowania w podłożu:

- gruntów silnie ściśliwych o module odkształcalności $E_0 \leq 15 \text{ MPa}$,
- gruntów silnie przepuszczalnych, pustek lub kawern, mogących spowodować nagłą ucieczkę cieczy stabilizującej ściany szczeliny.



Rys. 7. Przemieszczenia poziome ściany oporowej:

- 1 – linia ugięcia ściany,
 u_1, u_2 – przemieszczenia wynikające z etapowego zakładania rozpró, $\max u_k$ – maksymalne przemieszczenie ściany



Rys. 6. Uproszczone rozkłady przemieszczeń terenu w sąsiedztwie głębokiego wykopu:
1 – ekstremalny rozkład przemieszczeń dodatnich, 2 – ekstremalny rozkład przemieszczeń ujemnych, 3 – przeciętny rozkład przemieszczeń, $\max v_0^{(+)}$ – ekstremalna wartość przemieszczeń dodatnich, $\max v_0^{(-)}$ – ekstremalna wartość przemieszczeń ujemnych

W szczególnych przypadkach (p. 4.1) należy uwzględniać również przemieszczenia terenu spowodowane obniżeniem zwierciadła wody gruntowej.

Przy obudowie w postaci ścian szczelinowych przemieszczenie v_i można określić z zależności

$$v_i = \alpha (H_w)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

w której:

H_w – głębokość wykopu, m,

α – współczynnik empiryczny,

v_i – przemieszczenie terenu, mm.

Z obserwacji prowadzonych przez ITB wynika, że w przypadku najczęściej występujących wykopów w gruntach morenowych w postaci glin piaszczystych, piasków gliniastych, glin zwięzłych w stanie półzwartym lub twardoplastycznym

W dotychczasowej praktyce krajowej przypadki uszkodzeń budynków spowodowanych przemieszczeniami poziomymi podłoża występuły rzadko. Przeanalizowanie skutków oddziaływań przemieszczeń poziomych jest niezbędne w odniesieniu do infrastruktury i głęboko posadowionych obiektów budowlanych o małej powierzchni rzutu, w których przemieszczenia poziome mogą powodować istotne zróżnicowanie parć gruntu na część podziemną.

4.2. Metody oceny przemieszczeń podłoża

Przemieszczenia podłoża powinno się prognozować na podstawie doświadczeń porównywalnych, tj. udokumentowanych wyników pomiarów przemieszczeń uzyskanych przy wykonywaniu podobnych wykopów w podobnych warunkach gruntowych na danym terenie [2]. Jest to w praktyce metoda najdokładniejsza.

W przypadku braku odpowiednich doświadczeń oceny można dokonać na podstawie zaleceń podanych w punktach od 4.3 do 4.6 lub innych zalecanych w literaturze metod półempirycznych opartych na uproszczonych modelach pracy podłoża i wynikach pomiarów.

W przypadkach budzących wątpliwości jest wskazane wykonywanie dodatkowych obliczeń metodami teoretycznymi, opartymi np. na sprężystym lub sprężysto-plastycznym modelu pracy podłoża (np. metodą elementów skończonych).

4.3. Uproszczony rozkład przemieszczeń terenu

Dokonując oceny maksymalnych przemieszczeń podłoża w poziomie posadowienia budynku, można przyjmować uproszczone rozkłady ekstremalnych przemieszczeń terenu przedstawione na rysunku 6. Rozkłady te są scharakteryzowane trzema wartościami przemieszczeń terenu:

- a) maksymalnymi przemieszczeniami v_0 w bezpośrednim sąsiedztwie obudowy,
- b) przemieszczeniami v_{0I} na granicy strefy I i II,
- c) zerowymi przemieszczeniami na granicy strefy oddziaływania wykopu S .

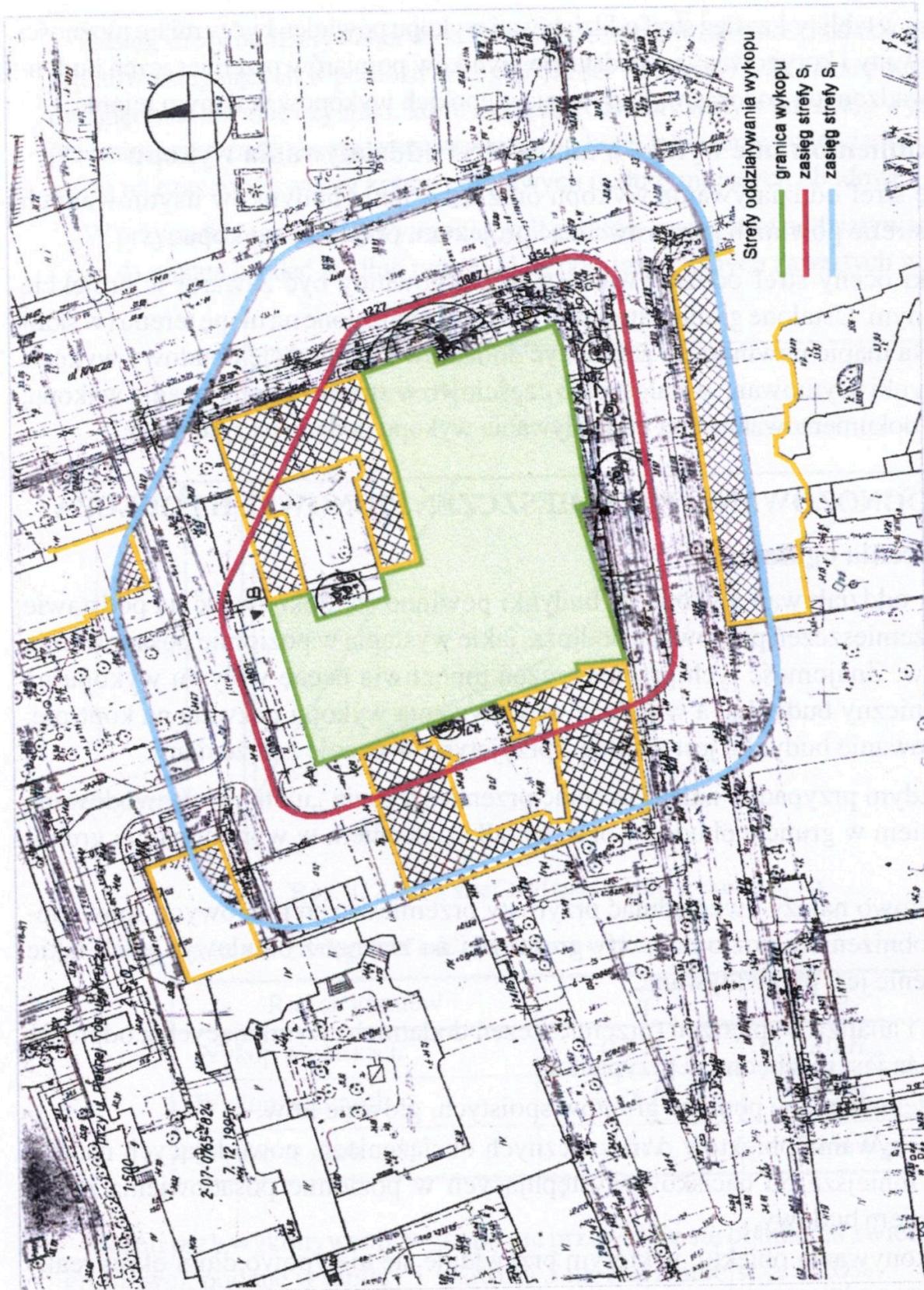
Pośrednie wartości przemieszczeń terenu ustala się na podstawie interpolacji liniowej pomiędzy wartościami przemieszczeń w przekrojach charakterystycznych.

4.4. Maksymalne przemieszczenia w bezpośrednim sąsiedztwie obudowy

Wartości maksymalnych przemieszczeń ujemnych $\max v_0^{(-)}$ należy ustalać jako sumę maksymalnych przemieszczeń spowodowanych [3]:

- wykonaniem obudowy v_i ,
- przemieszczeniem poziomym ściany v_u

$$\max v_0^{(-)} = v_i + v_u \quad (2)$$



Rys. 5. Przykład dokumentowania stref oddziaływania wykopu

Podany w tablicy 1 zasięg stref oddziaływań wykopu powinien być w miarę możliwości weryfikowany i korygowany na podstawie wyników pomiarów przemieszczeń budynków prowadzonych podczas wykonywania głębokich wykopów w danym rejonie.

3.2. Dokumentowanie wyników analiz stref oddziaływania wykopu

Ocenę stref oddziaływania wykopu oraz określenie budynków usytuowanych w danej strefie powinien przeprowadzać projektant obudowy wykopu.

Wyniki oceny stref oddziaływania wykopu powinny być zawarte w projekcie budowlanym. Ustalone granice stref powinny być naniesione na mapę terenu (w skali 1:500). Na mapie powinno się zaznaczyć dodatkowo lokalizację obudowy wykopu oraz budynki usytuowane w całości lub częściowo w strefie oddziaływania wykopu. Przykład dokumentowania stref oddziaływania wykopu podano na rysunku 5.

4. PROGNOZOWANIE PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH PODŁOŻA

4.1. Zalecenia ogólne

Oceny oddziaływań wykopu na budynki powinno się dokonywać na podstawie oceny przemieszczeń pionowych podłoża, jakie wystąpią w poziomie posadowienia budynków. Znajomość tych przemieszczeń umożliwia ocenę wpływu wykopu na stan techniczny budynku, a w trakcie wykonywania wykopu pozwala na kontrolę, czy zachowanie budynku jest zgodne z przyjętymi w ocenie założeniami.

W każdym przypadku należy oceniać przemieszczenia „ujemne” spowodowane wykonaniem w gruncie obudowy oraz jej odkształceniem w wyniku parcia gruntu na ścianę.

Dodatkowo należy uwzględnić przyrosty przemieszczeń pionowych spowodowanych obniżeniem poziomu wody gruntowej na zewnątrz obudowy, jeżeli takie odwodnienie jest przewidywane.

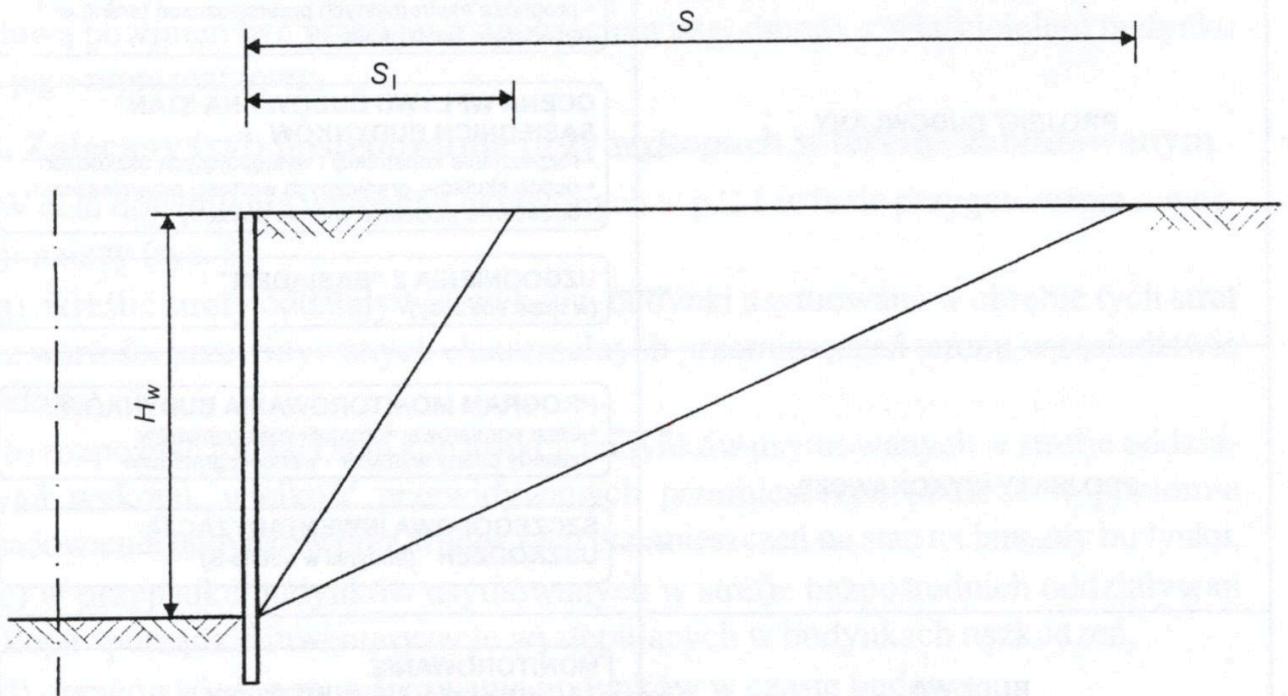
Ocena i analiza wypiętrzeń (przemieszczeń dodatnich) wynikających z odprężenia podłoża jest niezbędna w przypadku:

- występowania w podłożu gruntów spoistych, głównie ilów,
- wykonywania obiektów o nieznacznych obciążeniach, powodujących naciski na grunt mniejsze od nacisków występujących w poziomie posadowienia przed rozpoczęciem budowy,
- wykonywania obiektu, w którym przewiduje się nietypowo długi okres realizacji części podziemnej.

W pozostałych przypadkach ocenę przemieszczeń dodatnich, mających z reguły korzystny wpływ na warunki pracy konstrukcji budynku (redukując przemieszczenia ujemne), można uznać za zbędną.

Zasięg strefy oddziaływania wykopu należy ustalać w zależności od odkształcalności gruntów zalegających w podłożu oraz głębokości wykopu H_w . W razie potrzeby należy uwzględnić też inne czynniki, które mogą mieć istotny wpływ na zasięg występowania przemieszczeń podłoża, np. rozmiary rzutu wykopu, obniżanie zwierciadła wody gruntowej na czas robót, zasięg kotew gruntowych podtrzymujących obudowę.

W przypadku najczęściej występujących gruntów zasięg stref oddziaływania wykopu (rys. 4) można ustalać według pracy [1] na podstawie danych zawartych w tablicy 1.



Rys. 4. Zasięg stref oddziaływania wykopu S_I i S

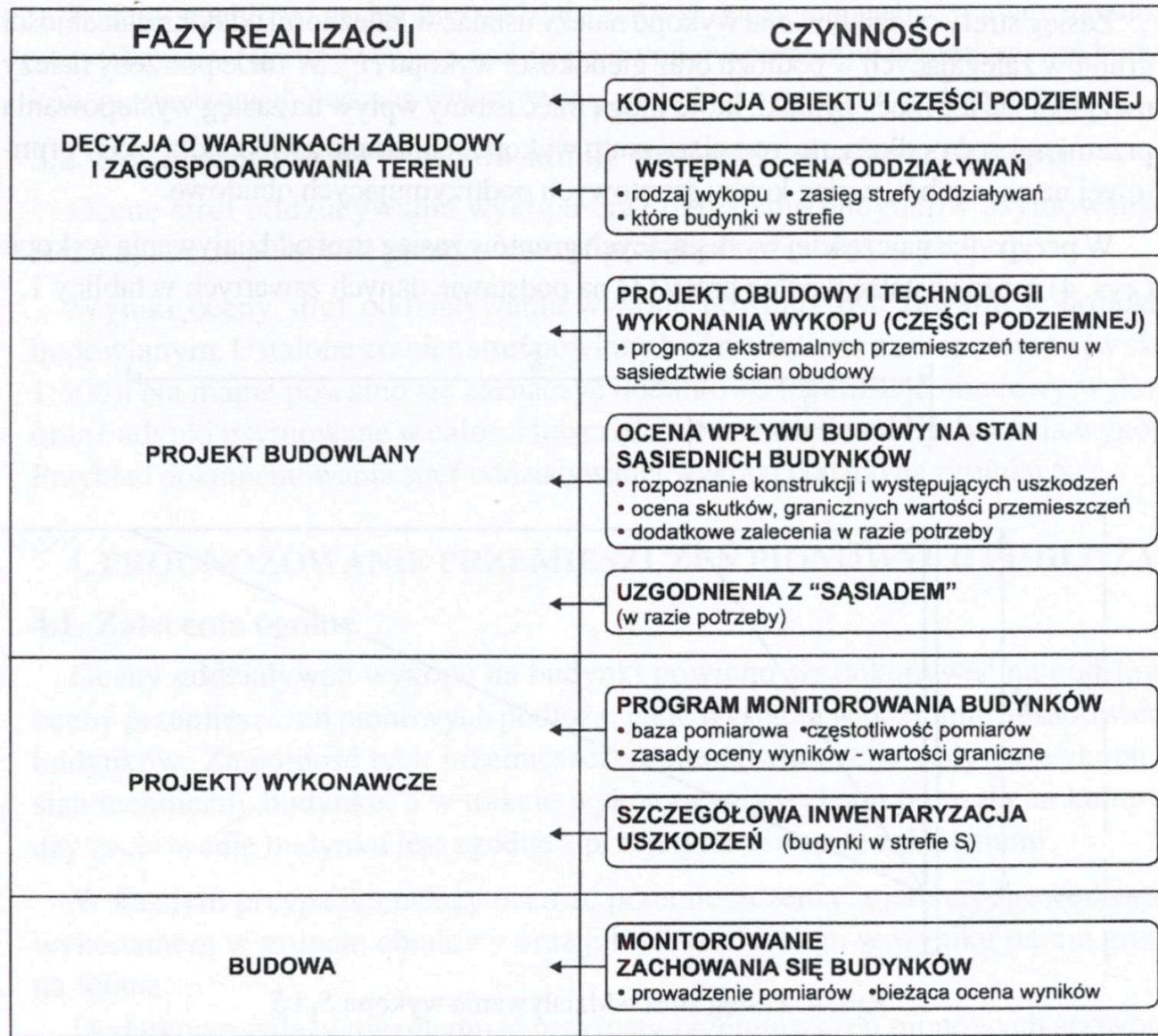
Tablica 1. Zasięg stref oddziaływania wykopu

Rodzaj gruntów	S_I	S
Wykop w piaskach	$0,5 H_w$	$2,0 H_w$
Wykop w glinach	$0,75 H_w$	$2,5 H_w$
Wykop w iłach	$1,0 H_w$	$3 \div 4 H_w$

Jeżeli przy wykonywaniu wykopu nie przewiduje się obniżenia zwierciadła wody gruntowej, podane w tablicy 1 wartości S można zmniejszyć o 20%.

W przypadku szczególnie dużych wykopów, których oba wymiary rzutu przekraczają 60 m, podane w tablicy wartości S należy nieco zwiększyć.

Jeżeli średni moduł odkształcalności gruntów w podłożu E_0 jest mniejszy od 15 MPa, należy przyjmować wartości S większe niż zalecane dla glin.



Rys. 3. Schemat zalecanego trybu postępowania przy projektowaniu i wykonywaniu głębokich wykopów w sąsiedztwie budynków

3. STREFY ODDZIAŁYWANIA WYKOPU

3.1. Sposób oceny

W celu oceny oddziaływań wykopu na budynki należy określić:

- zasięg strefy oddziaływań wykopu – S ,
- zasięg strefy bezpośrednich oddziaływań wykopu – S_I .

Zasięg strefy oddziaływań wykopu S powinien obejmować teren, w obrębie którego wykonanie wykopu może spowodować wystąpienie przemieszczeń podłoża (rys. 2).

Zasięg strefy bezpośrednich oddziaływań wykopu należy przyjmować jako równy maksymalnej odległości od obudowy do najbardziej prawdopodobnej linii poślizgu w gruncie (maksymalnej szerokości klinu odłamu).

W szczególnych przypadkach można dopuścić do powstania w budynku sąsiednim uszkodzeń i odkształceń obniżających okresowo (w czasie budowy obiektu) warunki jego użytkowania, jeżeli uszkodzenia te będzie można usunąć po zakończeniu budowy.

Do przypadków szczególnych można zaliczyć sytuacje, kiedy pełne zabezpieczenie budynku przed pogorszeniem jego stanu technicznego nie jest możliwe lub gdy koszt takiego zabezpieczenia przekracza znacznie koszt usunięcia ewentualnych uszkodzeń.

W przypadkach szczególnych sposób i tryb usunięcia uszkodzeń spowodowanych budową powinien być przed jej rozpoczęciem uzgodniony z właścicielem budynku lub jego reprezentantem.

2.2. Zalecany tryb postępowania przy wykopach w terenie zabudowanym

W celu dopełnienia wymagań określonych w p.2.1 w fazie przygotowania inwestycji należy (rys. 3):

- a) określić strefy oddziaływań wykopu, budynki usytuowane w obrębie tych stref oraz wartości przewidywanych ekstremalnych przemieszczeń terenu w sąsiedztwie obudowy,
- b) rozpoznać rodzaj i stan konstrukcji budynków usytuowanych w strefie oddziaływań wykopu, wielkość przewidywanych przemieszczeń podłoża w poziomie posadowienia budynków oraz wpływ tych przemieszczeń na stan techniczny budynku,
- c) w przypadku budynków usytuowanych w strefie bezpośrednich oddziaływań wykopu sporządzić inwentaryzację występujących w budynkach uszkodzeń,
- d) opracować plan monitorowania budynków w czasie budowy.

Wyniki prac określonych powyżej powinny być odpowiednio udokumentowane. Prace objęte punktem a) powinny być wykonane przez projektanta obudowy wykopu. Prace objęte punktem b) mogą być wykonywane przez inne osoby z odpowiednimi uprawnieniami i kwalifikacjami.

Opracowania zawierające ustalenia stref oddziaływanego wykopu z zaznaczonymi budynkami występującymi w tych strefach oraz wyniki oceny wpływu budowy projektowanego obiektu na stan techniczny budynków, a w przypadkach szczególnych uzgodnienia z właścicielem budynku, powinny stanowić element projektu budowlanego.

W fazie budowy w każdym przypadku (niezależnie od wyników oceny w fazie projektowania) należy prowadzić monitorowanie oddziaływań budowy na budynki i kontrolować, czy oddziaływanie te są zgodne z przewidywanymi.

Wyniki prowadzonych w ramach monitorowania pomiarów i obserwacji oraz wyniki ich analizy powinny być dokumentowane i powinny stanowić element dokumentacji budowy.

Przemieszczenia podłoża i obudowy

- v – przemieszczenie pionowe podłoża (dodatnie – jeżeli skierowane do góry)
- v_0 – przemieszczenie pionowe terenu (rys. 2)
- u_k – przemieszczenie poziome ściany obudowy wykopu

Przemieszczenia konstrukcji

- s_k – przemieszczenie pionowe konstrukcji spowodowane przemieszczeniami podłoża
- $[s_k]_u$ – graniczna wartość przemieszczenia konstrukcji budynku, której osiągnięcie sygnalizuje możliwość wystąpienia w budynku stanów granicznych użytkownalności (np. nadmiernych rys, pęknięcie, deformacji)
- $[s_k]_n$ – graniczna wartość przemieszczenia konstrukcji budynku, której osiągnięcie sygnalizuje możliwość wystąpienia stanów granicznych nośności (np. utraty przez elementy nośności lub stateczności)

2. WYMAGANIA OGÓLNE, ZALECANY TRYB POSTĘPOWANIA

2.1. Wymagania ogólne

Przy projektowaniu obiektu wymagającego wykonania głębokiego wykopu należy określić rodzaj wykopu. Może to być:

- wykop w terenie zabudowanym,
- wykop w terenie niezabudowanym.

Rodzaj wykopu należy określać przez wyznaczenie zasięgu strefy oddziaływania wykopu i stwierdzenie, czy w strefie tej jest zabudowa.

Wyznaczanie strefy oddziaływania wykopu można uznać za zbędne i wykop uznać za wykonywany w terenie niezabudowanym, jeżeli minimalna odległość budynków od obudowy wykopu spełnia warunek (rys. 1):

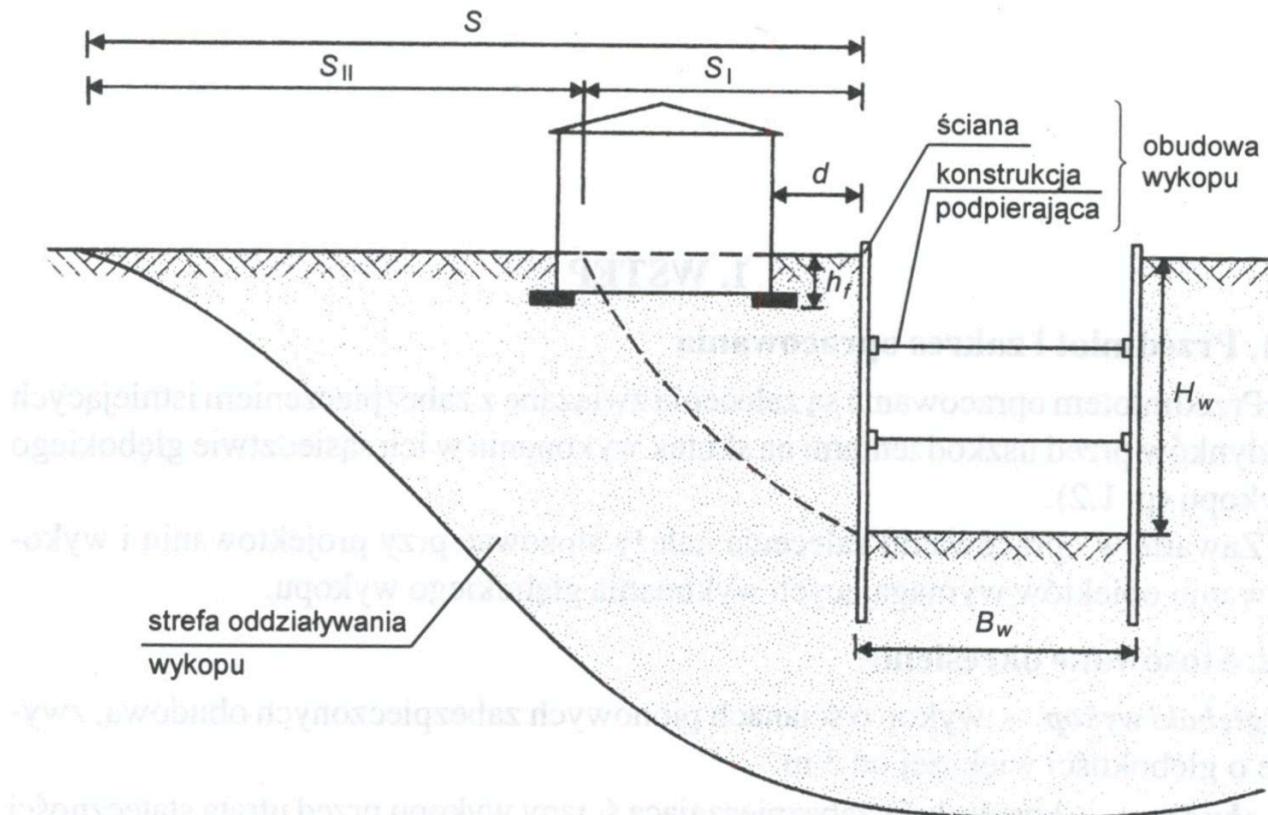
$$d_{\min} > \beta H_w \quad (1)$$

gdzie:

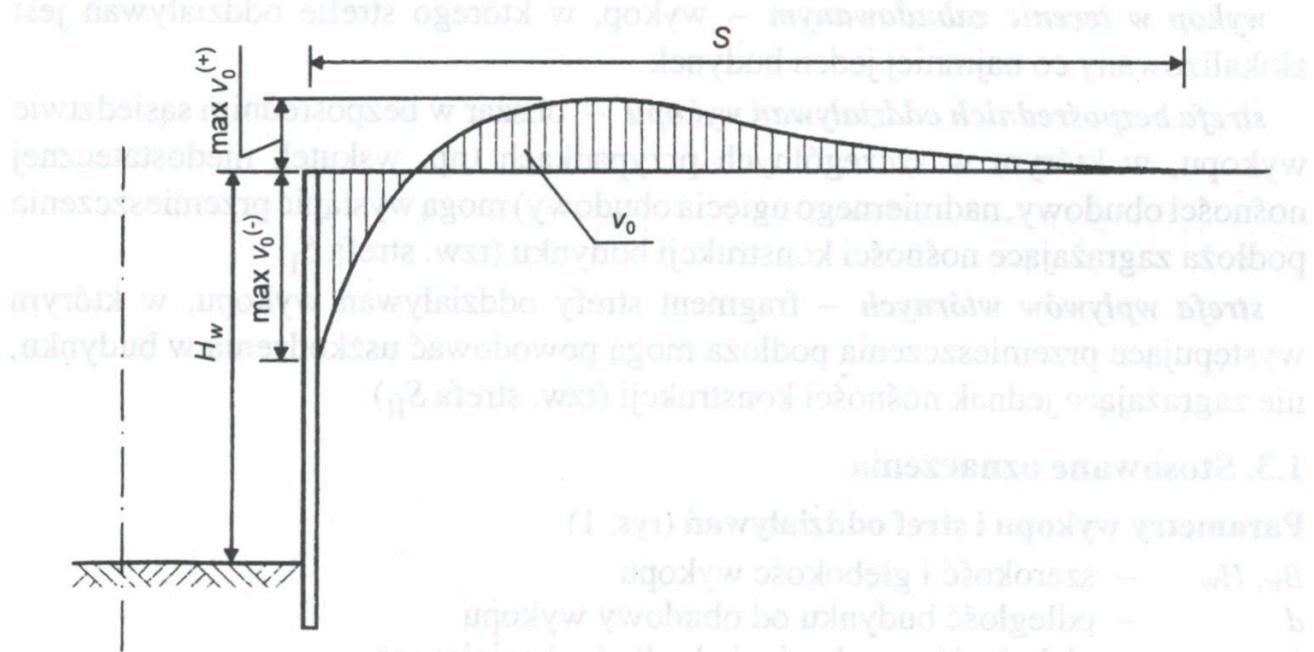
- $\beta = 4$ – w przypadkach gdy przy wykonywaniu wykopu nie przewiduje się obniżania poziomu wody gruntowej poza wykopem,
- $\beta = 5$ – w przypadkach gdy przewiduje się obniżenie poziomu wody gruntowej poza wykopem.

Obiekty wymagające wykonania głębokiego wykopu w terenie zabudowanym należy projektować i wykonywać tak, aby przemieszczenia podłoża w sąsiedztwie wykopu nie powodowały:

- powstania w budynkach sił i odkształceń zagrażających nośności konstrukcji,
- uszkodzeń (w tym odkształceń) pogarszających (w sposób widoczny) warunki użytkowania obiektu.



Rys. 1. Oznaczenia parametrów głębokiego wykopu i stref jego oddziaływania:
 H_w , B_w – wymiary wykopu, S – zasięg strefy oddziaływania wykopu, S_I – zasięg strefy bezpośredniego oddziaływania wykopu, S_{II} – zasięg wpływów wtórnego, d – odległość budynku od obudowy, h_f – głębokość posadowienia budynku



Rys. 2. Rozkład pionowych przemieszczeń powierzchni terenu w sąsiedztwie wykopu
 v_0 – zasięg strefy oddziaływań wykopu, $\max v_0^{(-)}$ – maksymalna wartość przemieszczeń ujemnych, $\max v_0^{(+)}$ – maksymalna wartość przemieszczeń dodatnich (wypiętrzeń), S – zasięg strefy oddziaływania wykopu

Liczba punktów do pomiaru przemieszczeń pionowych konstrukcji budynku nie powinna być mniejsza niż:

- 6 – dla budynków usytuowanych w strefie S_I ,
- 4 – dla budynków usytuowanych w strefie S_{II} .

8.5. Częstotliwość pomiarów

Pomiaru początkowego (tzw. pomiaru zerowego) należy dokonać przed rozpoczęciem prac budowlanych.

Częstotliwość pomiarów należy uzależniać od występujących zagrożeń.

W czasie wykonywania wykopu i konstrukcji części podziemnej należy przewidywać dokonywanie pomiarów co najmniej po każdym zakończonym etapie robót, czyli po wykonaniu wykopu wstępного, ścian obudowy, wykopu do pierwszego poziomu rozpór, założeniu rozpór itd.

W fazie wznoszenia konstrukcji nadziemnej można przewidywać mniejszą częstotliwość pomiarów (np. co 2–3 kondygnacje).

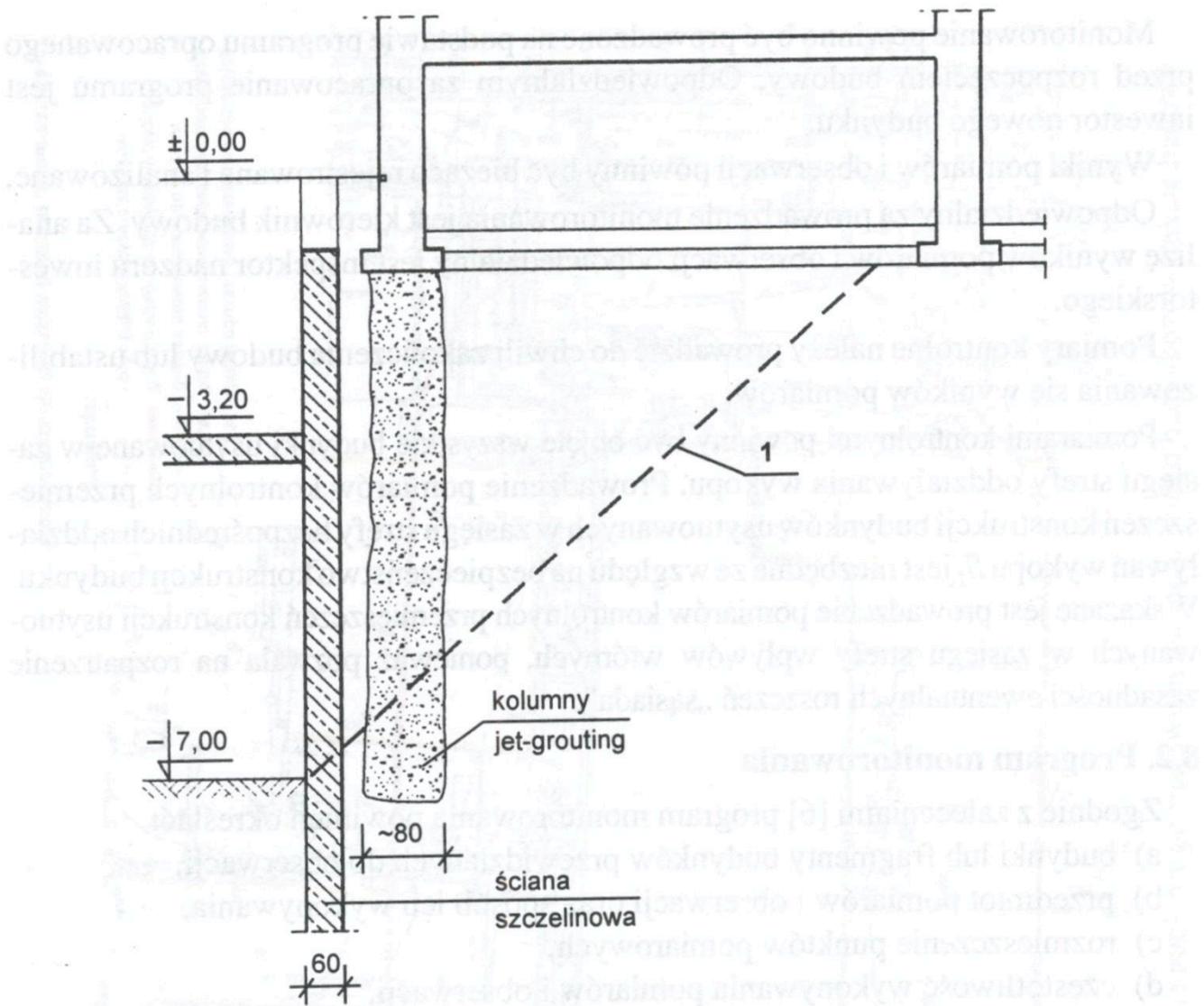
8.6. Graniczne wartości przemieszczeń

Wartości graniczne należy ustalać na podstawie oceny odporności budynku na przewidywane przemieszczenia od wykopu według zaleceń zawartych w p. 6.

W przypadku gdy nie przeprowadza się szczegółowych analiz oddziaływań wykopu na stan techniczny budynku (budynki usytuowane w strefie S_{II}), jako wartości graniczne pionowych przemieszczeń konstrukcji można przyjmować $[s_k]_u = 5 \text{ mm}$.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wysokiński L., Kotlicki W.: Zagrożenie awarią budynków usytuowanych w sąsiedztwie głębokich wykopów. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie budowlane”. Miedzyzdroje 2001
- [2] Wysokiński L., Kotlicki W.: Prognozowanie przemieszczeń terenu w nawiązaniu do geotechnicznych zagrożeń obiektów. Politechnika Warszawska – Instytut Geodezji Gospodarczej. Warszawa 1999
- [3] Wpływ robót ziemnych na warunki pracy obiektów sąsiednich. Etap I: Wpływ głębokich wykopów na warunki pracy konstrukcji obiektów zlokalizowanych w sąsiedztwie. Praca naukowo-badawcza ITB NG-26/97, maszyn., biblioteka ITB
- [4] Keiichi Fujita: Soft ground tunnelling and buried structures. Thirteenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. New Delhi 1994



Rys. 11. Przykład podparcia ściany szczytowej kolumnami wykonanymi w technologii jet-grouting; 1 – krawędź klinu odłamu

Przy podparciu mikropalami długość pali powinna umożliwiać co najmniej przeniesienie obciążzeń ze ściany na warstwy gruntu zalegające poniżej umownego klinu odłamu, zaznaczonego na rysunku 10. Zasięg klinu odłamu można w przybliżeniu przyjmować jako równy zasięgowi strefy S_I i ustalać go zgodnie z zasadami podanymi w p. 3.

Liczبę mikropali ustala się z reguły przy bezpiecznym założeniu, że przejmują one całość obciążzeń działających na podpierany fundament.

8. MONITOROWANIE BUDYNKÓW W CZASIE BUDOWY

8.1. Zalecenia ogólne

Monitorowanie zachowania budynku w trakcie wykonywania części podziemnej powinno obejmować prowadzenie odpowiednich pomiarów kontrolnych, a w razie potrzeby prowadzenie również bezpośrednich obserwacji stanu budynku.

Monitorowanie powinno być prowadzone na podstawie programu opracowanego przed rozpoczęciem budowy. Odpowiedzialnym za opracowanie programu jest inwestor nowego budynku.

Wyniki pomiarów i obserwacji powinny być bieżąco rejestrowane i analizowane.

Odpowiedzialny za prowadzenie monitorowania jest kierownik budowy. Za analizę wyników pomiarów i obserwacji odpowiedzialny jest inspektor nadzoru inwestorskiego.

Pomiary kontrolne należy prowadzić do chwili zakończenia budowy lub ustabilizowania się wyników pomiarów.

Pomiarami kontrolnymi powinny być objęte wszystkie budynki usytuowane w zasięgu strefy oddziaływanego wykopu. Prowadzenie pomiarów kontrolnych przemieszczeń konstrukcji budynków usytuowanych w zasięgu strefy bezpośrednich oddziaływań wykopu S_I jest niezbędne ze względu na bezpieczeństwo konstrukcji budynku. Wskazane jest prowadzenie pomiarów kontrolnych przemieszczeń konstrukcji usytuowanych w zasięgu strefy wpływów wtórnego, ponieważ pozwala na rozpatrzenie zasadności ewentualnych roszczeń „sąsiada”.

8.2. Program monitorowania

Zgodnie z zaleceniami [6] program monitorowania powinien określać:

- a) budynki lub fragmenty budynków przewidzianych do obserwacji,
- b) przedmiot pomiarów i obserwacji oraz sposób ich wykonywania,
- c) rozmieszczenie punktów pomiarowych,
- d) częstotliwość wykonywania pomiarów i obserwacji,
- e) zasady analizy wyników pomiarów, wartości graniczne mierzonych wielkości,
- f) tryb postępowania w przypadkach, gdy wyniki pomiarów zbliżają się do wartości granicznych lub je osiągają.

8.3. Zakres pomiarów kontrolnych

Zakres pomiarów kontrolnych należy ustalać indywidualnie w zależności od występujących zagrożeń. Zakres ten powinien przewidywać co najmniej prowadzenie pomiarów przemieszczeń pionowych konstrukcji budynku.

W uzasadnionych przypadkach zakres ten może być rozszerzony o pomiary przemieszczeń poziomych, np. obudowy wykopu lub ścian szczytowych budynku, odkształceń konstrukcji, lub np. drgań spowodowanych pracą ciężkiego sprzętu.

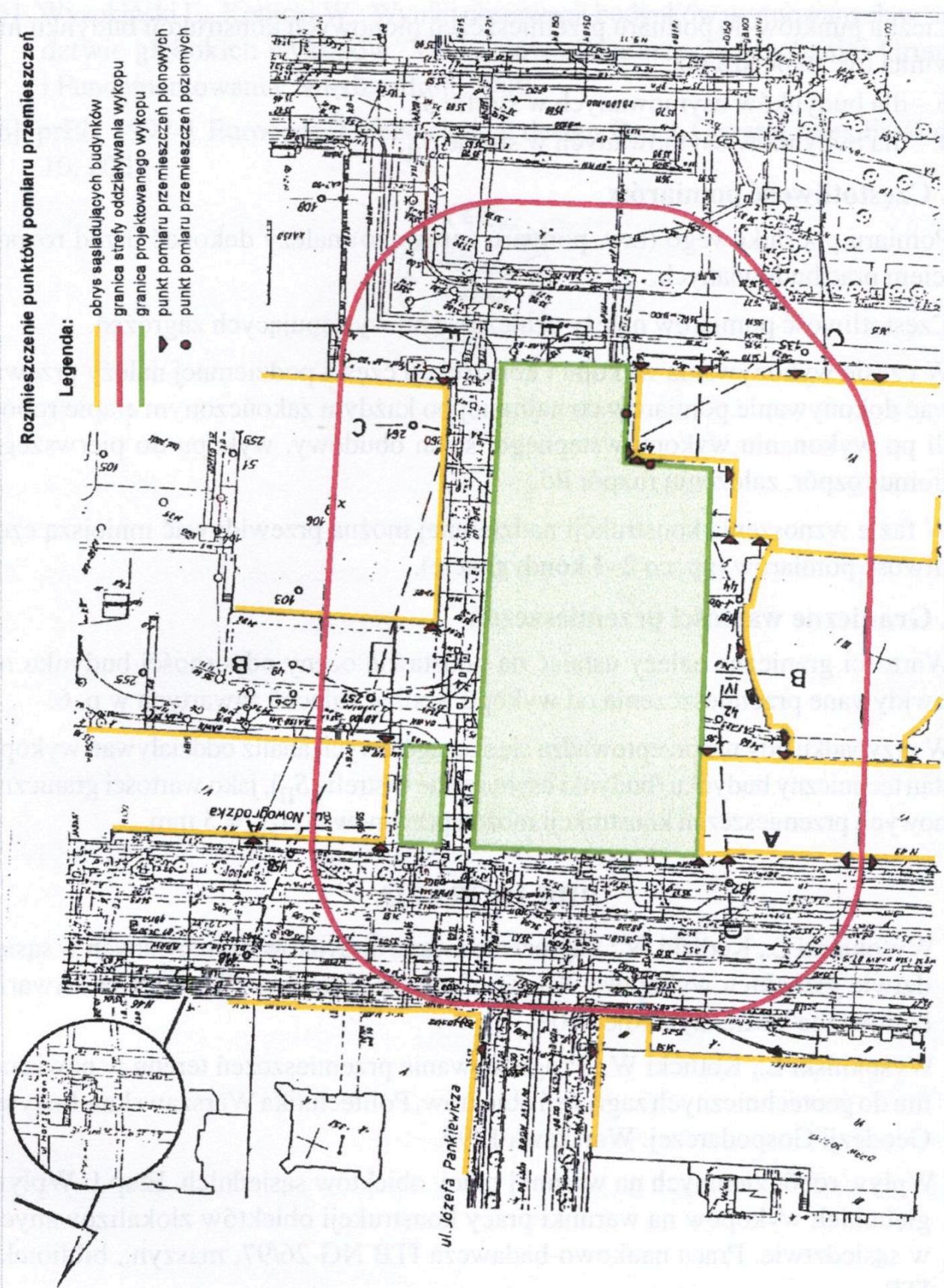
8.4. Baza pomiarowa

Liczbe punktów do pomiaru przemieszczeń pionowych konstrukcji należy ustalać w zależności od wymiarów budynku, jego konstrukcji, rozmieszczenia dylatacji i występujących zagrożeń. Przykład planu rozmieszczenia punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 12.

Rozmieszczenie punktów pomiaru przemieszczzeń

Legenda:

- obrys sąsiedzących budynków
- graniczna strefa oddziaływanego wykopu
- granica projektowanego wykopu
- punkt pomiaru przemieszczzeń płonowych
- punkt pomiaru przemieszczzeń poziomych



Rys. 12. Przykład planu rozmieszczenia punktów pomiarowych dla monitoringu budynków w trakcie budowy

- [5] Wysokiński L., Kotlicki W.: Wyniki obserwacji budynków usytuowanych w sąsiedztwie głębokich wykopów. XII Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Międzyzdroje 2000
- [6] prEN 1997-1 Eurocode 7 Geotechnical design Part 1 General rules Final draft 10. 2001

