

Wojciech BIAŁCZYK\*

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy

## BADANIE WIELKOŚCI DRGAŃ PODCZAS INSTALACJI ŚCIANKI SZCZELNEJ

**Streszczenie.** W referacie zawarto analizę wielkości drgań przeprowadzoną w oparciu o prace związane z instalacją ścianek szczelnych w nowo wznoszonej hali przemysłowej. Przedstawiono propozycję interpretacji wyników badań drgań w odniesieniu do normy niemieckiej *DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen*

## MEASUREMENT OF VIBRATION LEVEL DURING INSTALATION OF SHEET PILE WALL

**Summary.** The paper presents an analysis of vibration level on the basis of work connected with installation of sheet pile walls in newly constructed industrial building. An interpretation of vibration results has been suggested, with respect to German standard *DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen*

### 1. Wstęp

Prowadzenie prac związanych z zabezpieczeniem stateczności ścian głębokich wykopów w warunkach sąsiadującej zabudowy niesie za sobą zawsze duże ryzyko i zwiększoną odpowiedzialność projektantów i wykonawców. Wybór technologii odpowiedniej do wykonania ściśle sprecyzowanego zadania przy konkretnych warunkach gruntowo-wodnych, charakterze obiektu, wielkości obciążeń zwykle nie jest prostą decyzją. Istnieją szczególne sytuacje, w których tradycyjne metody zabezpieczenia stateczności ścian głębokiego wykopu nie mogą być zastosowane. Dotyczy to szczególnie przypadku wznoszenia obiektów szkieletowych z wielkowymiarowych elementów prefabrykowanych, gdzie wymagana jest wysoka precyzja wykonywanych prac montażowych, jednocześnie niedopuszczalne są technologie zabezpieczeń wykopów, wzbudzające drgania w podłożu gruntowym. Zjawiska takie mogą niekorzystnie wpłynąć na prace montażowe, a w skrajnych przypadkach zagrozić bezpieczeństwu ludzi i obiektu. Niezwykle istotnym problemem staje

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Maciej K. Kumor, prof. ATR w Bydgoszczy

się identyfikacja potencjalnych zagrożeń, a w tym szczególnie ocena wpływu drgań propagowanych podczas instalacji ścianek szczelnych na bezpośrednie otoczenie.

### 1.1. Charakterystyka drgań

W ujęciu fizycznym falami są, rozprzestrzeniające się w ośrodku materialnym lub polu, zaburzenia pewnej wielkości fizycznej charakteryzującej stan tego ośrodka (lub pola) [2]. Fale sprężyste - to mechaniczne zaburzenia (przemieszczenia lub ich pochodne) rozprzestrzeniające się w ośrodku sprężystym. Obszary początkowych zaburzeń powodowanych różnymi przyczynami nazywa się źródłami fal. Fale powstają w wyniku wychylenia jakiegoś fragmentu ośrodka sprężystego z normalnego położenia, będącego położeniem równowagi, co w następstwie powoduje drgania, np. fundamentu wokół tego położenia. Dzięki sprężystym właściwościom ośrodka drgania te są przekazywane kolejno do coraz dalszych jego części. Sam ośrodek jako całość nie przesuwa się wraz z falą, różne jego części wykonują jedynie drgania w ograniczonych obszarach przestrzeni. Cechą charakterystyczną fal mechanicznych jest to, że przenoszą one energię poprzez materię dzięki przesuwaniu się zaburzeń w tej materii.

Najważniejszą cechą odróżniającą fale sprężyste od dowolnego innego uporządkowanego ruchu cząstek ośrodka jest to, że w przypadku małych zaburzeń ( w przypadku liniowym) rozchodzenie się fal nie jest związane z przenoszeniem substancji. Podczas silnych zaburzeń występuje przenoszenie się substancji i drgania cząstek ośrodka mają wówczas nieliniowy charakter.

W podłożu sprężystym spotyka się następujące rodzaje fal: fale materialne podłużne i poprzeczne oraz fale powierzchniowe Rayleigha i Lovea .

Jak dowodzi praktyka wykonawcza, podczas instalowania stalowych ścianek szczelnych w podłożu gruntowym decydujące znaczenie na wielkość pomierzonych prędkości drgań mają fale powierzchniowe Rayleigha.

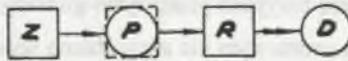
### 1.2. Diagnoza dynamiczna

W diagnostyce i ocenie wpływów wibracji na nowo wznoszony obiekt, np. halę, występują cztery główne elementy procesu:

-źródło drgań -Z (urządzenie do instalowania ścianki szczelnej wraz z jednostką zasilającą i pompą wysokociśnieniową),

- droga przekazywania się drgań -P (podłóżo gruntowe),
- odbiór drgań –R (konstrukcja wznoszonej hali),
- ocena diagnostyczna wpływów drgań - D.

W źródle „Z” (rys.1) drgania powstają lub „są wzbudzane”, „generują się”, następnie rozchodzą się („propagacja”) w ośrodku w formie falowej „P” i dochodzą do obiektu, który je „odbiera” i reaguje na nie tzw. „odpowiedzią” „R”. Ocenę skutków tej odpowiedzi zawiera diagnoza określona blokiem „D” [1].



Rys.1. Elementy procesu wpływające na diagnostykę dynamiczną

Fig. 1. Process elements affecting the dynamic diagnosis

W praktyce inżynierskiej najistotniejsze znaczenie ma trzeci i czwarty element, to jest odpowiedź obiektu odbierającego drgania „R”, i ocena diagnostyczna „D”. Odpowiedź „R” jest połączona z powstawaniem przemieszczeń, naprężeń i odkształceń, które mogą być przyczyną utrudnienia użytkownika, przeciążeń lub uszkodzeń, a nawet awarii obiektów w rejonie zasięgu oddziaływania drgań.

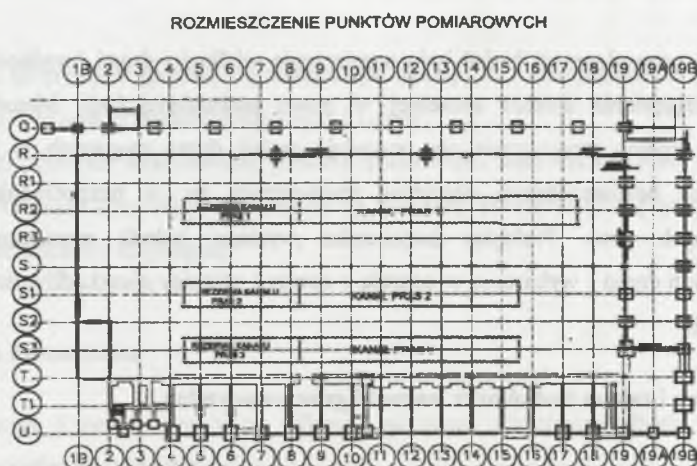
## 2. Przedmiot badań i wyniki

Celem prowadzonych badań było pomierzenie wielkości drgań (prędkości) powstałych podczas zagłębienia ścianki szczelnej w nowo powstającej hali. Metoda statycznego wciskania grodziec teoretycznie nie powoduje emisji drgań mogących w istotny sposób wpłynąć na bezpieczeństwo obiektów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzonych prac. Praktyka inżynierska wymaga jednak pomierzenia wielkości miarodajnych drgań i wykazania w oparciu o normy i przepisy nieszkodliwości zastosowanej technologii.

### 2.1. Miejsce i zakres badań oraz warunki gruntowo-wodne

Badania przeprowadzono w nowo powstającej prefabrykowanej hali przemysłowej zakładów SITECH w Polkowicach. Wewnątrz wznoszonego obiektu wykonywano kanały technologiczne pras o głębokości 7,00 metrów i długości przekraczającej 80 metrów. Ścianka

szczelna wykonywana była z profili Hoesch 1700 i 2500 K. Zakres badań na obiekcie rzeczywistym w Polkowicach obejmował pomiary prędkości propagacji drgań powstałych na skutek pracy maszyn i urządzeń służących do zagłębiania ścianki szczelnej. W toku postępujących prac przy zagłębianiu ścianek wybrano najbardziej reprezentatywne punkty pomiarowe, znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie przeprowadzanych robót. W przedstawionych warunkach na obiekcie rzeczywistym źródłem drgań „Z” była maszyna do statycznego wciskania grodzic typu Giken Z-Piler 100 wraz z jednostką zasilającą i pompą wysokociśnieniową (SJ-125E) wspomagającą zagłębianie stalowych brusów. Propagacja „P” odbywała się w zalegających pod halą nasypach piaszczysto-gliniastych, piaskach gliniastych i glinach. W analizowanym podłożu gruntowym nie stwierdzono występowania zasadniczego poziomu wód gruntowych, a jedynie wody zawieszane w podpowierzchniowych piaskach i nasypach gliniastych oraz jako wody sączeniowe z obrębu przewarstwień piaszczystych o miąższości kilkudziesięciu cm do głębokości 4,0- 5,0m p.p.t. Obiektem „R”, który odbierał drgania i reagował na nie, była nowo wznoszona hala. Warunki techniczne i sprzętowe pozwoliły, jak dotąd, skoncentrować się na skutkach pracy całego zestawu służącego do statycznego wciskania grodzic. Wynikiem badań są rzeczywiste wielkości prędkości drgań pomierzone bezpośrednio w terenie na obiekcie. Z punktu widzenia inżyniera budowy informacje takie porównane z odpowiednimi normami są niezwykle cenne. Pozwalają stwierdzić jednoznacznie, czy wykonywane prace mają negatywny skutek na stan zabudowy znajdującej się w bezpośrednim sąsiedztwie realizowanej inwestycji.



Rys.2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych  
Fig. 2. Measuring points location

## 2.2. Opis pomiarów i użytego miernika wibracji

Pomiary prędkości rozchodzenia się drgań wykonano miernikiem wibracji UVS 503 o numerze seryjnym 292 (umożliwia on pomiar prędkości rozchodzenia się drgań w trzech wzajemnie ortogonalnych kierunkach  $x,y,z$ ). UVS 503 pracując w trybie ciągłym, wykrywa, uaktualnia i zapisuje do pamięci szczytowe (peak) wartości prędkości z kolejnych przedziałów dwuminutowych. Pomiary drgań są możliwe w zakresie częstotliwości drgań od 4 do 315 Hz.



Fot. 1. Miernik wibracji UVS 501  
Photo 1. Vibration monitor UVS 501



Fot.2. Miernik wibracji UVS 503  
Photo 2. Vibration monitor UVS 503

Dokładność urządzeń przy pomiarze prędkości:

- 0-24,0 mm/s - 0,1 mm/s,
- 24-255 mm/s - 1,0 mm/s.

Urządzenie użyte do pomiarów drgań było odpowiednio skalibrowane, co jest potwierdzone odpowiednimi badaniami i dokumentami.

Pomiary drgań były przeprowadzane w trybie ciągłym miernika w okresie od 10.06.2003 do 16.06.2003. Miernik wibracji UVS był przytwierdzany do starannie wybranych punktów pomiarowych. Następnie został uaktywniony i prowadził rejestrację potrzebnych do badań parametrów.

Punkty pomiarowe były dobierane w ten sposób, aby miernik znajdował się jak najbliżej prasy hydraulicznej wciskającej grodzice w grunt. Sposób mocowania UVS do słupów hali zapewniał pewne utwierdzenie (miernik wibracji był mocowany za pomocą kotew HILTI w środku szerokości słupa na wys. 25 cm nad poziomem terenu). Położenie punktów pomiarowych pokazano na rysunku 2.

### 2.3. Wyniki pomiarów drgań i diagnoza dynamiczna

Podczas badań prowadzony był dziennik rejestracji wibracji. Zamieszczono w nim maksymalne wartości prędkości rozchodzenia się drgań w danych przedziałach pomiarowych.

Tablica 1

Projekt- SITECH Polkowice						
okres- 10.06.2003 - 16.06.2003						
data	rodzaj miernika					UWAGI (prace w sąsiedztwie miernika, również nie związane z wciskaniem grodzic)
	UVS 503, nr ser. 292					
	Miejsce pomiaru	Poziom wibracji (prędkość [mm/s])				
Składowa pionowa (z)		Składowa pionowa (x)	Składowa pionowa (y)	Wypadkowa		
10.06.2003 godziny od 7.00 do 14.45	T9, T11	1.33	1.23	0*	1.33	praca zagęszczarki (cały dzień)
10.06.2003 godziny od 15.00 do 18.20	T11	4.3	2.02	1	5	przestawianie Z-Pilera, praca walca wibracyjnego na hali (między godziną 15.00 a 16.00)
11.06.2003 godziny od 11.15 do 14.00	T11, T13	0*	0*	0*	0*	praca koparki w odległości około 10 m od czujnika UVS (cały dzień)
11.06.2003 godziny od 15.00 do 19.00	T13	0*	0*	0*	1.02	praca koparki i spychacza (cały dzień)
12.06.2003 godziny od 16.00 do 19.00	T14	0*	0*	0*	0*	praca walca na zewnątrz hali (cały dzień)
13.06.2003 godziny od 8.45 do 11.00	T14, T9	0*	0*	0*	0*	praca walca na zewnątrz hali, wylewanie fundamentów na zewnątrz hali
13.06.2003 godziny od 16.00 do 19.00	S14	1.06	0*	0*	1.03	praca walca wibracyjnego na zewnątrz hali
14.06.2003 godziny od 7.30 do 14.00	S14	2	0*	1.07	2.35	praca koparki i walca wibracyjnego na hali (od 7.00 do 14.00)
16.06.2003 godziny od 7.00 do 13.30	S15	1.52	2.14	0*	2.33	praca walca wibracyjnego (od 7.00 do 14.00)

\* Wpisane wartości ( \*0) oznaczają, że wartości pomierzonych prędkości znajdowały się w przedziale między 0 do 1mm/s

\*\* miejsce pomiaru - T9, T11, T13, T14, T9, S14, S15 – oznaczają nazwy słupów w hali, do których przytwierdzony był miernik UVS 503

Biorąc pod uwagę wyniki otrzymane z miernika wibracji oraz kryteria szkodliwości zawarte w niemieckiej normie *DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen*, stwierdza się, że proces wciskania stalowej ścianki szczelnej w celu zabezpieczenia przyszłych kanałów pras nie miał negatywnych skutków na konstrukcję nowo wznoszonej hali czy sąsiednich budynków. Wartości pomierzonych podczas wciskania grodzic prędkości drgań w zasadzie nie przekraczały 2 mm/s UVS 503. Pojawiające się wartości prędkości przekraczające 2 mm/s były krótkotrwałe i wiązały się z obecnością na hali lub w jej pobliżu innych maszyn budowlanych (takich jak walec wibracyjny, zagęszczarka). Przyjmując najsurowsze założenia, a więc kwalifikując nowo wznoszoną halę do trzeciej grupy budynków (budowle o szczególnej wrażliwości na drgania, np. obiekty zabytkowe) oraz przyjmując, że częstość siły wymuszającej była mniejsza od 10 Hz stwierdza się, że przeprowadzone prace przy instalacji

w grunt stalowych grodziec nie miały negatywnego wpływu na powstający obiekt jak też na sąsiednią zabudowę. Miernik drgań nie zarejestrował w dłuższym przedziale czasowym wartości większych niż 3 mm/s (wartość prędkości, powyżej której wg normy DIN 4150 dla budynków szczególnie wrażliwych na drgania i przy częstotliwości siły wymuszającej mniejszej od 10 Hz mogą wystąpić uszkodzenia konstrukcji).

Na podstawie przeprowadzonej diagnozy dynamicznej opartej na wynikach bezpośrednich pomiarów wibracji i normie DIN 4150 stwierdza się, że proces instalowania ścianki szczelnej w grunt metodą statyczną nie wywarł negatywnych skutków na nowo wznoszoną halę ani na sąsiednie obiekty.

### 3. Podsumowanie i wnioski końcowe

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że przy zastosowaniu technologii zabezpieczenia stateczności ścian głębokiego wykopu metodą statycznego wciskania grodziec przy danych warunkach gruntowo-wodnych i w odniesieniu do normy DIN 4150 nie wystąpiły negatywne zjawiska towarzyszące wibracyjnym technologiom zagłębiania brusew w nowo powstającej hali oraz w obiektach znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie.

### LITERATURA

1. Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.: Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach (Diagnoza Dynamiczna). Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1993.
2. Ciesielski R., Maciąg E., Drgania drogowe i ich wpływ na budynki. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990.
3. Jarominiak A., Lekkie konstrukcje oporowe. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999.
4. Wiłun Z., Zarys Geotechniki. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
5. Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków. Instrukcja 348/98, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1998.
6. AARSLEFF - materiały firmy wykonawczej.

7. Głębokie wykopy na terenach wielkomiejских, projektowanie, technologia, bezpieczeństwo przyległej zabudowy, materiały z seminarium, Warszawa, 19 listopada 2002 r.
8. Propagacja drgań w warstwach przypowierzchniowych podłoża gruntowego, Badania doświadczalne in situ. Monografia 263, Kraków 1999.
9. Wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne na budowle VI, materiały pokonferencyjne, Instytut Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej, Kraków 1992.
10. Przepisy i normy budowlane
  - PN-83/B-03010 Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
  - PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
  - PN-EN 12063 luty 2001 Ścianki szczelne, Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych.

Recenzent: Dr hab. inż. Anna Siemińska-Lewandowska

### **Podziękowania**

Szczególne podziękowania składam firmie Aarsleff Sp. z o.o. za możliwość przeprowadzenia badań na obiekcie rzeczywistym w Polkowicach, za okazaną pomoc w rozwiązywaniu problemów inżynierskich oraz cenne wskazówki podczas pisania tego artykułu.