

**INSTRUKCJE
WYTYCZNE
PORADNIKI**

**Tomasz Godlewski
Witold Bogusz
Anna Siemińska-Lewandowska**

Bezpieczeństwo obiektów budowlanych w sąsiedztwie tuneli

Wytyczne

**Safety of Structures in the Vicinity of Tunnels
Guidelines**



Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa 2024

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor naczelny dr hab. inż. JADWIGA FANGRAT, prof. instytutu
Zastępcy redaktora naczelnego dr inż. JAN BOBROWICZ
dr hab. inż. TOMASZ GODLEWSKI, prof. instytutu

Członkowie dr hab. inż. BARBARA FRANCKE
dr inż. OŁĘKSIJ KOPYŁÓW
mgr inż. JAN SIECZKOWSKI
dr inż. JAROSŁAW SZULC

Recenzenci:
mgr inż. Marcin Derlacz
prof. dr hab. inż. Cezary Madryas

Redaktor prowadzący serii
mgr inż. JAN SIECZKOWSKI

Opracowanie redakcyjne
dr MICHAŁ GAJOWNIK

Projekt okładki
EWA KOSSAKOWSKA

Opracowanie komputerowe
AnnGraf ANNA SZELĄG

Publikacja z serii „Instrukcje, Wytyczne, Poradniki” nr 505/2024

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej
Warszawa 2024

ISBN 978-83-249-8674-3; 978-83-249-8675-0 (PDF)

Wydawca i Autorzy dołożyli wszelkich starań, aby publikowane informacje pochodziły z rzetelnych źródeł. Wydawca nie ponosi odpowiedzialności ani też nie zaciąga zobowiązań w wyniku wykorzystania przez użytkowników treści niniejszej publikacji. W szczególności nie ponosi odpowiedzialności w stosunku do czytelników i/lub strony trzeciej za jakiegokolwiek poniesione straty, wydatki i szkody bezpośrednie i pośrednie, łącznie z utratą zysku i innych korzyści majątkowych, które mogły powstać lub być związane bezpośrednio lub pośrednio z treściami opublikowanymi, w tym ewentualnymi błędami lub pominięciami zawartymi w publikowanych materiałach.



Instytut Techniki Budowlanej

Dział Wydawnictw Naukowych

00-611 Warszawa, ul. Filtrowa 1, tel.: 22 843 35 19

tel.: 22 56 64 208, e-mail: wydawnictwa@itb.pl, www.itb.pl

Spis treści

<i>Streszczenie</i>	5
<i>Summary</i>	5
1. Wstęp	7
1.1. Wprowadzenie	7
1.2. Przedmiot i zakres opracowania	8
1.3. Terminy i definicje	9
1.4. Stosowane oznaczenia i symbole	10
2. Zasady ogólne	12
2.1. Wymagania ogólne dotyczące oceny oddziaływania	12
2.2. Zalecany tryb postępowania przy projektowaniu tunelu w terenie zabudowanym	13
2.3. Weryfikacja stanów granicznych w ocenie oddziaływania	18
3. Strefa oddziaływania tunelu	22
3.1. Model geotechniczny podłoża	22
3.2. Niecka osiadania i strata objętości gruntu	23
3.3. Wpływ innych robót budowlanych	27
3.4. Analiza wyników na potrzeby kolejnych realizacji	28
4. Ocena przemieszczeń podłoża	29
4.1. Zalecenia ogólne i metody oceny przemieszczeń podłoża	29
4.2. Metody uproszczone	30
4.3. Metody półempiryczne	33
4.4. Metody numeryczne	40
5. Ocena oddziaływań tunelu na stan techniczny obiektów	45
5.1. Przedmiot i zakres oceny	45
5.2. Diagnostyka obiektu budowlanego	46
5.3. Dopuszczalne i graniczne wartości przemieszczeń konstrukcji	48
5.4. Dopuszczalne i graniczne wartości przemieszczeń instalacji podziemnych	50
6. Identyfikacja i zarządzanie ryzykiem w ocenie oddziaływania tunelu	52
6.1. Identyfikacja i ocena ryzyka	52
6.2. Zarządzanie ryzykiem	54
7. Metody zabezpieczania przed nadmiernymi uszkodzeniami	56

8.	Monitorowanie obiektów w czasie budowy	58
8.1.	Zalecenia ogólne	58
8.2.	Plan kontroli i monitorowania	59
8.3.	Monitoring tuneli	61
8.4.	Monitoring uzbrojenia terenu	63
8.5.	Częstotliwość pomiarów	63
8.6.	Graniczne wartości przemieszczeń	67
8.7.	Dokumentowanie wyników monitoringu	68
8.8.	Wykorzystanie metody obserwacyjnej w procesie drążenia tuneli	69
9.	Dokumentowanie wyników oceny oddziaływania	71
	Bibliografia	73

BEZPIECZEŃSTWO OBIEKTÓW BUDOWLANYCH W SĄSIEDZTWIE TUNELI

Streszczenie

Dynamiczny rozwój budownictwa na terenach zurbanizowanych znacznie zwiększył zapotrzebowanie na wykorzystywanie przestrzeni podziemnej, w tym na budowę nowych tuneli. Obiekty te mają charakter liniowy i często w zasięgu ich oddziaływania zlokalizowanych jest wiele obiektów budowlanych oraz infrastruktura techniczna. Konieczność oceny oddziaływań związanych z budową tuneli w aspekcie ochrony sąsiadującej zabudowy stanowi więc jeden z głównych elementów projektowania geotechnicznego dla tego rodzaju inwestycji. Przewidywanie wartości i rozkładu deformacji wzdłuż trasy projektowanego tunelu jest istotne, aby ocenić potrzebę implementacji środków zabezpieczających istniejące obiekty budowlane, w zależności od ich wrażliwości oraz potencjalnych konsekwencji zniszczenia.

Wytyczne zawierają zalecenia dotyczące oceny wpływu budowy tuneli na przemieszczenia podłoża w otoczeniu oraz na istniejące obiekty sąsiednie w zakresie wpływów statycznych, a także rekomendują sposoby postępowania w przypadku wystąpienia nadmiernych uszkodzeń wywołanych budową. Na powierzchni terenu ten wpływ można zaobserwować w postaci formującej się niecki, której towarzyszą osiadania oraz przemieszczenia poziome. Wytyczne obejmują następujące zagadnienia: wpływ na przemieszczenia podłoża nad samym tunelem oraz w jego bezpośrednim otoczeniu w funkcji parametrów niecki osiadań, rekomendacje w tym zakresie, ustalone na bazie doświadczeń z drążenia tarczą TBM, zasięg oddziaływania i przewidywane wartości przemieszczeń, a także minimalne wymagania związane z poziomem analizy z uwagi na stan techniczny istniejących obiektów, zakres monitoringu oraz identyfikację i zarządzanie ryzykiem.

SAFETY OF STRUCTURES IN THE VICINITY OF TUNNELS

Summary

The dynamic development of construction in urban areas has significantly increased the demand for the use of underground space, including the construction of new tunnels. These facilities are linear and often many buildings and utilities are located within their zone of influence. The need to assess the impact of tunnel construction in terms of the protection of neighboring buildings is therefore one of the main elements of geotechnical design for this type of investment. Predicting the value and distribution of deformations along the route of the designed tunnel is important to assess the need to implement measures to protect existing structures, depending on their sensitivity and the potential consequences of failure.

The guidelines contain recommendations for assessing the impact of tunnel construction on ground displacements in the vicinity and on existing adjacent facilities in terms of static influences, and recommend how to proceed in the event of excessive damage caused by construction. At the ground surface, this influence can be observed in the form of a trough forming, accompanied by subsidence and horizontal displacement. The guidelines include the following elements: impact on ground displacements above the tunnel itself and in its immediate vicinity as a function of the parameters of the settlement trough, provide recommendations in this regard determined on the basis of experience with TBM tunnelling, the extent of the zone of influence and expected values of displacements, as well as minimum requirements related to the level of analysis due to the technical condition of existing facilities, the scope of monitoring, as well as risk identification and management.

1. WSTĘP

1.1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój budownictwa na terenach zurbanizowanych znacznie zwiększył zapotrzebowanie na wykorzystywanie przestrzeni podziemnej, w tym na budowę nowych tuneli. Obiekty te mają charakter liniowy i często w zasięgu ich oddziaływania zlokalizowanych jest wiele obiektów budowlanych oraz infrastruktura techniczna. Konieczność oceny oddziaływań związanych z budową tuneli w aspekcie ochrony sąsiadującej zabudowy, stanowi więc jeden z głównych elementów projektowania geotechnicznego tego rodzaju inwestycji.

Budowa tuneli ma przede wszystkim wpływ na przemieszczenia podłoża nad samym tunelem oraz w jego bezpośrednim otoczeniu. Na powierzchni terenu ten wpływ można zaobserwować w postaci formującej się niecki, której towarzyszą osiadania oraz przemieszczenia poziome. Przewidywanie wartości i rozkładu tych deformacji wzdłuż trasy projektowanego tunelu jest konieczne, aby ocenić potrzebę implementacji środków zabezpieczających istniejące obiekty budowlane, w zależności od ich wrażliwości oraz potencjalnych konsekwencji ich uszkodzenia. Jest to szczególnie istotne ze względu na fakt, że destrukcje obiektów, spowodowane realizacją tuneli w warunkach zabudowy miejskiej, generują roszczenia stron trzecich i narażają inwestora i wykonawcę na dodatkowe koszty i opóźnienia.

Niniejsze opracowanie zawiera zalecenia dotyczące oceny wpływu budowy tuneli na przemieszczenia podłoża oraz istniejące obiekty sąsiednie w zakresie wpływów statycznych, a także rekomenduje sposoby postępowania w przypadku wystąpienia nadmiernych uszkodzeń wywołanych budową. Potrzeba ujednoczenia trybu postępowania wynika z następujących powodów:

- tunele budowane w zwartych aglomeracjach miejskich mogą negatywnie wpływać na sąsiednią zabudowę,
- konieczne jest sformalizowanie oceny wpływu budowy tuneli, w tym ustalenie zasięgu ich oddziaływania, określenie wartości prawdopodobnych i dopuszczalnych przemieszczeń, oraz:

- określenie minimalnych wymagań związanych z oceną stanu technicznego zabudowy w strefie wpływu budowy tunelu w celu ustalenia uwarunkowań pierwotnych (przed rozpoczęciem robót budowlanych), stanowiących punkt odniesienia do ewentualnych rozszczeń,
- sformalizowanie konieczności monitorowania wpływu prowadzonych robót na sąsiednią zabudowę.

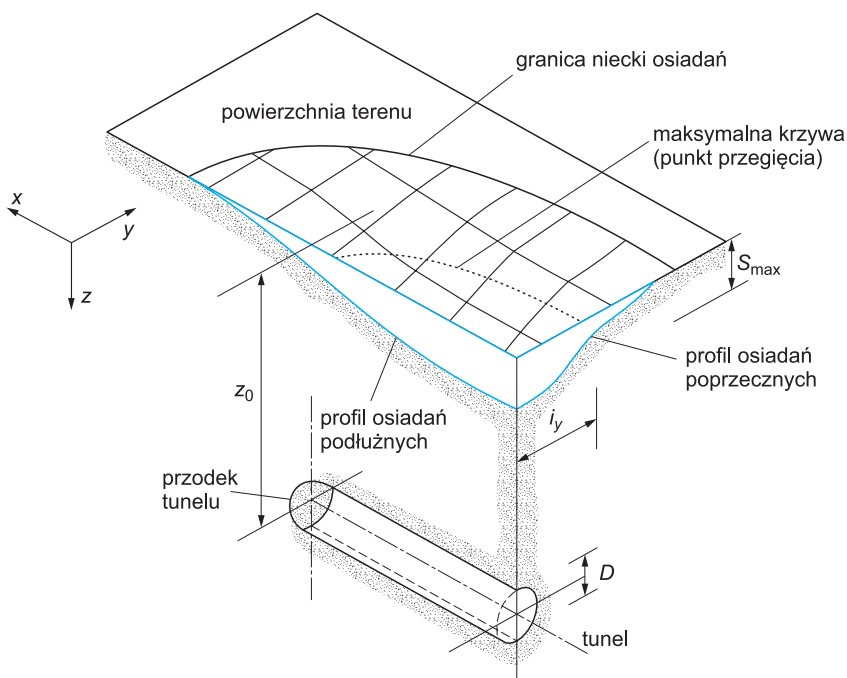
Zalecenia podane w niniejszych Wytycznych opracowano na podstawie dostępnej literatury technicznej, doświadczeń światowych oraz doświadczeń z budowy I i II linii metra na terenie Warszawy, udokumentowanych w publikacjach [1], [2], [3].

1.2. Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania są zalecenia dotyczące zabezpieczania istniejących obiektów budowlanych (budynków, budowli i infrastruktury) przed uszkodzeniami wywołanymi budową tuneli w ich sąsiedztwie. Wytyczne nie obejmują tuneli wykonywanych w otwartych wykopach szerokoprzestrzennych oraz realizacji wyrobisk na potrzeby eksploatacji górniczej. Zawarte w opracowaniu zalecenia można stosować przy projektowaniu i wykonywaniu tuneli drążonych za pomocą tarcz zmechanizowanych TBM (*Tunnel Boring Machine*), a także częściowo dla płytkich tuneli realizowanych metodami górniczymi, z wyłączeniem eksploatacji górniczej.

Każdy proces budowy tunelu, choć w stopniu zależnym od przyjętej technologii, prowadzi do zmiany stanu naprężeń w ośrodku gruntowym i związanych z tym deformacji podłoża. Na powierzchni terenu deformacje te obserwowane są w formie niecki osiadań z maksymalną wartością występującą bezpośrednio nad osią tunelu. Niecka ta może być rozpatrywana z uwagi na powstające deformacje w kierunku poprzecznym i podłużnym względem tunelu (rys. 1).

Trasa tunelu powinna być zaprojektowana w sposób ograniczający wpływ jego drążenia na istniejącą zabudowę. Można tego dokonać, odsuwając od istniejącej zabudowy przebieg tunelu w planie lub redukując wpływ jego budowy przez zwiększenie zagłębienia tunelu. Jednakże w warunkach zabudowy miejskiej zazwyczaj całkowite wyeliminowanie oddziaływania związanego z budową tuneli nie jest możliwe. Wówczas konieczne jest zastosowanie podejścia, którego podstawą jest zarządzanie ryzykiem. Lokalizację i dobór technologii realizacji tunelu należy dobierać w sposób redukujący oddziaływanie, przy zachowaniu walorów funkcyjno-użytkowych docelowego obiektu i racjonalizacji kosztów budowy. Skutkuje to jednak nieuniknionym oddziaływaniem budowy na istniejące obiekty.



Rys. 1. Niecka osiadania nad realizowanym tunelem wg [26], za [4]

1.3. Terminy i definicje

Doświadczenie porównywalne – udokumentowane lub w inny sposób jednoznacznie ustalone informacje związane z podłożem gruntowym w rozpatrywanym projekcie, dotyczące tych samych rodzajów gruntów i skał, dla których spodziewane są zbliżone warunki pracy i dotyczące podobnych konstrukcji; informacje miejscowe lub ustalenia lokalne uznawane są za szczególnie cenne.

Kategoria geotechniczna (GC) – jakościowa ocena stopnia skomplikowania budowy podłoża oraz obiektu, rzutuująca na określenie zakresu badań podłoża, poziomu nadzoru nad budową i projektowaniem oraz wymagany zakres monitoringu; w celu sprecyzowania wymagań wobec projektów geotechnicznych wyróżnia się 3 kategorie geotechniczne: GC1, GC2 i GC3 wg [5], [6].

Klasa konsekwencji (CC) – jakościowa ocena potencjalnych konsekwencji zniszczenia lub utraty użyteczności obiektu, uwzględniająca zarówno konsekwencje bezpośrednie (m.in. straty materialne, życie ludzkie, koszty napraw), jak i pośrednie, związane z utratą funkcjonalności (np. zamknięcie drogi, linii kolejowej lub linii

metra, utrata zdolności produkcyjnej zakładu, odcięcie mieszkańców od wody lub prądu) i oddziaływaniem społecznym (np. szkody psychologiczne, utrata reputacji wykonawcy lub inwestora); wyróżnia się 5 klas konsekwencji od poziomu najniższego CC0 do najwyższego CC4 [7], [8].

Monitoring geodezyjno-geotechniczny – pomiary geodezyjne (głównie przemieszczeń) w nawiązaniu do oddziaływań geotechnicznych związanych z zachowaniem i wzajemną interakcją istniejącej lub realizowanej konstrukcji z podłożem; zalecenia dotyczące nadzoru i monitorowania jakie powinny być podawane w projekcie geotechnicznym zawarto w normie PN-EN 1997-1 [5], [6].

Obiekt (budowlany) – budynek, budowla i infrastruktura podziemna, w tym inne tunele i sieci przesyłowe.

Obszar brownfield – w zakresie oddziaływań tunelowania jest to teren zabudowany na powierzchni w obrębie infrastruktury miejskiej, gdzie realizacja obiektów podziemnych wymaga uwzględnienia wrażliwości obiektów istniejących.

Obszar greenfield – w zakresie oddziaływań tunelowania jest to teren niezabudowany na powierzchni, w obrębie infrastruktury miejskiej.

Obiekt sąsiedni – obiekt znajdujący się w strefie oddziaływania tunelu.

Strefa oddziaływania – przestrzeń podłoża wokół tunelu, w której jego wykonanie powoduje wystąpienie przemieszczeń i odkształceń gruntu.

Tunel w terenie zabudowanym – tunel, w którego strefie oddziaływań zlokalizowany jest co najmniej jeden budynek lub inna budowla, w tym infrastruktura transportowa i podziemna.

Zasięg strefy oddziaływań – odległość od osi tunelu do granicy, gdzie zanikają przemieszczenia podłoża spowodowane jego realizacją.

1.4. Stosowane oznaczenia i symbole

Parametry tunelu i niecki osiadania

- D – średnica tunelu (średnica zewnętrzna obudowy) [m]
- D_{exc} – średnica drążonego tunelu (średnica wyrobiska, a w przypadku tunelu wykonanego metodą TBM jest to średnica tarczy drążącej) [m]
- i_y – odległość punktu przegięcia krzywej niecki osiadania od osi tunelu [m]
- K – parametr szerokości niecki osiadania [-]
- V_L – strata objętości gruntu [%]
- V_{Lt} – objętość gruntu nadmiernie wydobytego z drążonego tunelu w danym przekroju [m^3/m]
- V_{Ls} – objętość niecki osiadań na powierzchni [m^3/m]
- V_t – teoretyczna objętość gruntu wydobytego z drążonego tunelu w danym przekroju [m^3/m]

- y – odległość w planie od osi tunelu [m]
 y_{\min} – minimalna odległość w planie najbliższego elementu obiektu od osi tunelu [m]
 z_0 – głębokość od powierzchni terenu do osi tunelu [m]

Przemieszczenia i odkształcenia

- $S_{h,\max}$ – maksymalne przemieszczenie poziome [mm]
 $S_{h(y)}$ – rozkład przemieszczeń poziomych w funkcji odległości w planie od osi tunelu [mm]
 S_{\max} – maksymalne przemieszczenie pionowe [mm]
 $S_{(y)}$ – rozkład przemieszczeń pionowych w funkcji odległości w planie od osi tunelu [mm]
 $\varepsilon_{hc,\max}$ – maksymalne odkształcenie poziome ściskające [-]
 $\varepsilon_{ht,\max}$ – maksymalne odkształcenie poziome rozciągające [-]
 $\varepsilon_{h(y)}$ – odkształcenie poziome w funkcji odległości w planie od osi tunelu [-]

Skróty i inne oznaczenia

- CC – klasa konsekwencji (*Consequence Class*)
CD – kategoria uszkodzeń (*Category of Damage*)
EPB – wyrównywane ciśnienie gruntowe (*Earth Pressure Balance*)
GC – kategoria geotechniczna (*Geotechnical Category*)
GSI – geologiczny indeks wytrzymałości (*Geological Strength Index*)
GT – typ gruntu (*Ground Type*)
MES/MRS – metoda elementów skończonych / metoda różnic skończonych
SGN – stan graniczny nośności (ULS – *Ultimate Limit State*)
SGU – stan graniczny użyteczności (SLS – *Serviceability Limit State*)
TBM – maszyna drążąca tunel (*Tunnel Boring Machine*)
 R_c – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie [MPa]