

dr hab. inż. Monika Mitew-Czajewska, prof. uczelni¹⁾*)

ORCID: 0000-0002-2651-2026

mgr inż. Wiktor Walicki²⁾

Communication tunnels in urban areas, single or twin-bore?

Tunele komunikacyjne w zabudowie miejskiej, jedno- czy dwunawowe?

DOI: 10.15199/33.2025.12.23

Abstract: In the article the analysis of the choice between single- and twin-bore tunnels in densely built-up urban environments is presented together with the discussion of decisive design factors such as infrastructure, geotechnics, safety, logistics and environmental impact. Based on the own database of 158 projects, the relationships between tunnel type and diameter, purpose, and location were examined. Ground settlement numerical analysis for different tunnel geometries is also presented.

Keywords: communication tunnels, single-bore tunnels, twin-bore tunnels, design criteria

Streszczenie. W artykule przeanalizowano kryteria wyboru jedno- lub dwunawowej konstrukcji tunelu w gęstej zabudowie miejskiej. Omówiono decydujące czynniki projektowe, takie jak infrastruktura, geotechnika, bezpieczeństwo, logistyka i środowisko oraz wpływ na otoczenie. Na podstawie zbudowanej bazy 158 projektów tuneli drążonych w miastach zbadano zależności między typem konstrukcyjnym tunelu a jego średnicą, przeznaczeniem i lokalizacją. Przedstawiono analizę numeryczną osiadania gruntu w przypadku różnej geometrii tuneli.

Słowa kluczowe: tunele komunikacyjne; tunele jednonawowe; tunele dwunawowe; kryteria projektowania.

In the modern world, in the era of very rapid urbanization and mass migration to large cities, urban transportation must be highly efficient and carefully planned. Tunnels are an excellent alternative to high-performance urban transport at ground level or on viaducts [1]. The main advantages of tunnels in this context are resistance to weather conditions, minimization of the impact on the environment during operation, and complete collision-free route [2]. In metropolises like as Hongkong or Singapore, the challenge lies in constructing new underground transit lines, integrate them with the existing infrastructure, and incorporate them into the underground urban environment. Already at the investment planning stage, the question arises whether the planned metro (or railway) line should be built in two separate tunnels for each direction of traffic or in one tunnel of a much larger diameter, with two-way traffic (Figure 1). When making a decision, it is necessary to analyze many criteria, e.g. the possibility of integrating the new facility into the existing infrastructure, the underground space occupancy and the impact on the surrounding environment (buildings settlement, noise, vibrations, waste management and others), construction time and logistics, but also safety of use, operation and maintenance and the broader concept of sustainable development [3]. This paper presents compelling statistics based on a comprehensive database of tunnel projects carried out using tunnel boring machines (TBMs) in cities around the world. A discussion of the decisive factors influencing the choice between a single- and twin-bore tunnel is presented.

W współczesnym świecie, w dobie bardzo szybkiej urbanizacji, w obliczu migracji ludzi do wielkich miast, komunikacja miejska powinna być bardzo sprawna i projektowana w przemyślny sposób. Tunele stanowią doskonałą alternatywę do prowadzenia wysokowydajnego transportu miejskiego w poziomie terenu lub na estakadach [1]. Głównymi zaletami tuneli są odporność na wpływ czynników atmosferycznych, minimalizacja wpływu na otoczenie podczas eksploatacji oraz bezkolizyjność trasy [2]. W metropoliach, takich jak Hongkong czy Singapur, wyzwaniem staje się konieczność budowy nowych linii komunikacyjnych pod ziemią, ich integracja z istniejącą infrastrukturą, a także wkomponowanie w zabudowę podziemną. Już na etapie planowania inwestycji pojawia się pytanie, czy projektowana linia metra (lub kolejowa) powinna być wykonana w dwóch oddzielnych tunelach dla każdego kierunku ruchu czy w jednym tunelu o znacznie większej średnicy, z ruchem dwukierunkowym (rysunek 1). Przy podejmowaniu decyzji konieczne jest przeanalizowanie wielu kryteriów, m.in. możliwości włączenia nowego obiektu w istniejącą infrastrukturę, zajęcia przestrzeni podziemnej i wpływu na otoczenie (osiadanie obiektów, hałas, drgania, gospodarka odpadami i inne), czasu budowy i logistyki, warunków geotechnicznych, ale także bezpieczeństwa użytkowania i utrzymania oraz ogólnie pojmowanego zrównoważonego rozwoju [3].

W artykule omówiono statystyki opracowane na podstawie obszernej bazy danych tuneli na całym świecie wykonywanych tarczą. Przedstawiono dyskusję dotyczącą wpływu wybranych czynników na wybór tunelu jedno- lub dwunawowego.

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

²⁾ Aldesa Polska

*) Adress for correspondence: monika.mitew@pw.edu.pl

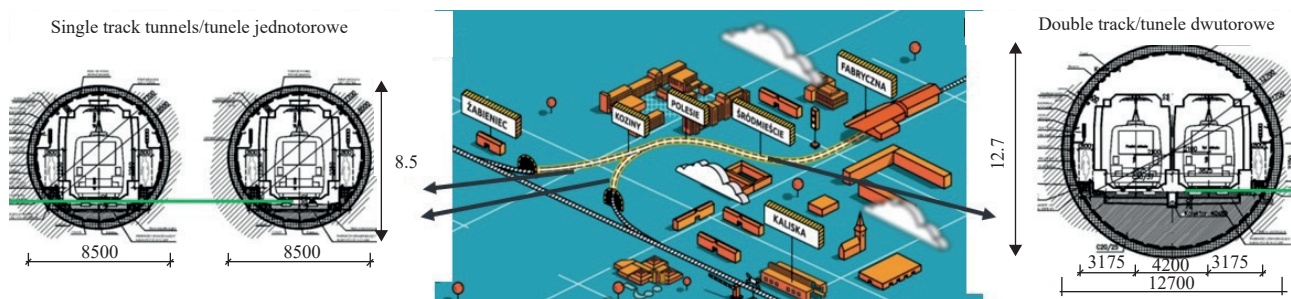


Fig. 1. Examples of twin- and single-bore (single and double-track, respectively) tunnel geometry based on the example of the cross-city rail tunnel in Łódź

Rys. 1. Przykłady geometrii tuneli dwu- i jednotorowych (odpowiednio jedno- i dwutorowych) na przykładzie tunelu średnicowego w Łodzi

Database of tunnels constructed using Tunnel Boring Machines (TBMs)

Based on the conducted literature study and analysis of Internet resources, an extensive database of 158 tunnel projects (including 29 railway tunnels, 65 metro tunnels, 29 road tunnels and 35 infrastructure tunnels) completed or currently being constructed using the TBM method in urban areas was developed [2]. Of the above 158 tunnels, 150 were of one structural type – including 79 single-bore tunnels, 71 twin-bore tunnels. Four mixed-type projects accounted for the remaining eight tunnels (Fig. 2). Analyses of multiple relationships were carried out, including the type of construction on the geographic location, purpose, geology, year of completion, as well as, lining thickness and the diameter of the shield on various factors. This article does not include analysis of technical infrastructure tunnels. Key findings include [2]:

- The dominant type of railway tunnels in the world is the single-track (twin-bore) type, excluding southern Europe and China.

Baza danych tuneli wykonywanych tarczą

Na podstawie przeprowadzonego studium literaturowego oraz analizy zasobów internetowych opracowano bazę danych 158 projektów tunelowych na obszarach miejskich (29 kolejowych, 65 metra, 29 drogowych oraz 35 infrastrukturalnych) zrealizowanych lub budowanych metodą tarczową [2]. Wśród analizowanych tuneli było 79 jednotorowych, 71 dwunawowych i 8 o układzie mieszanym (rysunek 2).

Przeprowadzono analizę wielu zależności, m.in. typu konstrukcyjnego od położenia geograficznego, przeznaczenia, geologii, roku ukończenia budowy oraz grubości obudowy i średnicy tarczy. W artykule nie analizowano tuneli infrastruktury technicznej. Stwierdzono, że [2]:

- dominującym typem tuneli kolejowych na świecie są jednotorowe (dwunawowe), z wyłączeniem południowej Europy i Chin;
- zauważono tendencję do stosowania w Europie Zachodniej systemu dwutorowego (jednotorowego), a jednotorowego

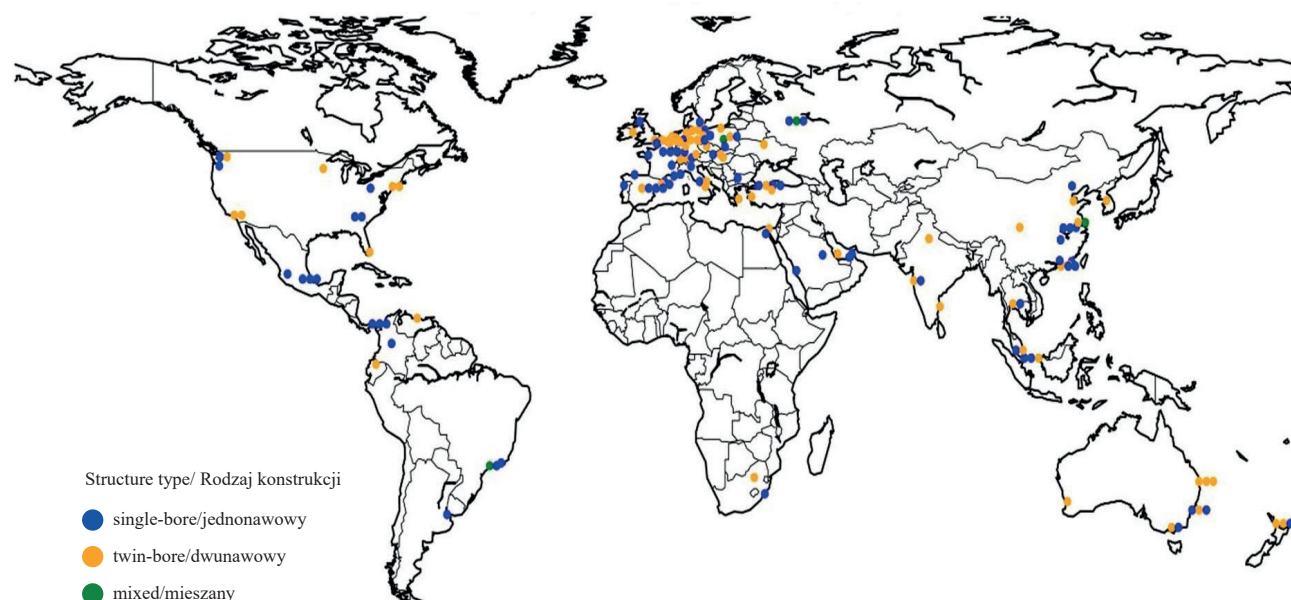


Fig. 2. Geographical distribution of projects included in the database

Rys. 2. Położenie geograficzne projektów z bazy danych

- There is a trend of using the double-track (single-bore) system in Western Europe, and the single-track (twin-bore) system in Central and Eastern Europe. The single-track system is also dominant in South Asia.

- Approximately 2/3 of road tunnels were built in the twin-bore system, and in the case of railway tunnels – in the single-bore (double-track) type. The number of metro projects in both systems is similar.

- The diameters of the TBM shields used in twin-bore road tunnels are 11÷13 m, and for single-bore are 13÷16 m.

- The diameters of the TBM shields used in the case of twin-bore (single-track) railway tunnels are 6–10 m, and single-bore (double-track) range from 11 to 15 m.

- The diameters of the shields used in the construction of twin-bore (single-track) metro tunnels are 6÷7 m, and for single-bore (double-track) tunnels 9÷10 m.

A linear regression was conducted to determine the relationship between TBM diameter and segmental lining thickness (Fig. 3). The following function was obtained [2]:

$$g = 0.02 \cdot D + 20$$

where:

D is the diameter of the TBM shield/tunnel [cm],
g is the predicted thickness of the lining [cm].

Additional regression characteristics:

- Correlation coefficient 0.65

- p-value: 1.21e-13

- Standard error: 0.00025

Detailed analyses and other dependencies are presented in [2]. In particular, that study analyzes a wide range of dependencies related to tunnels constructed using TBM technology, including: the influence of geographic location, function, and year of construction on the choice of structural type and the thickness of the lining; correlations between geological conditions, shield diameter, and the type of TBM used; as well as interrelations between geometric and technological parameters and the design requirements and execution constraints.

Discussion of the criteria for selecting a single or twin-bore system

The decision regarding the choice of a single or twin-bore system is made at a very early stage of planning process. Many factors are considered, including:

- integration of new tunnels into existing infrastructure, junction chambers, intended use and traffic gauge, tunnel length and route, collisions with underground urban infrastructure, design of metro/railway stations,

(dwunawowego) – w Europie Centralnej i Wschodniej. System jednotorowy dominuje również w Azji Południowej;

- ok. 2/3 tuneli drogowych wybudowano jako dwunawowe, a w przypadku obiektów kolejowych jako jednonawowe (dwutorowe), liczba projektów metra w obu systemach jest podobna;

- średnica stosowanych tarcz w przypadku dwunawowych tuneli drogowych wynosi 11÷13 m, a jednonawowych 13÷16 m;

- średnica stosowanych tarcz w przypadku dwunawowych tuneli kolejowych (jednotorowych) to 6÷10 m, a jednonawowych (dwutorowych) 11÷15 m;

- średnica tarcz stosowanych do budowy dwunawowych (jednotorowych) tuneli metra wynosi 6÷7 m, a do jednonawowych (dwutorowych) 9÷10 m.

Zaobserwowano zależność grubości obudowy segmentowej od średnicy tarczy (średnicy tunelu) i przeprowadzono regresję liniową (rysunek 3). Otrzymano funkcję grubości obudowy żelbetowej od średnicy tarczy [2]:

$$g = 0,02 \cdot D + 20$$

gdzie:

D – średnica tarczy [cm];
g – przewidywana grubość obudowy [cm].

Dodatkowe parametry charakteryzujące jakość dopasowania tej funkcji:

- współczynnik korelacji 0,65;

- wartość p: 1,21e-13;

- błąd standardowy: 0,00025.

Szczegółowe analizy i inne zależności przedstawiono w pracy [2]. Przeanalizowano tam szeroki zakres zależności dotyczących tuneli realizowanych w technologii TBM, obejmujących

m.in.: wpływ lokalizacji geograficznej, przeznaczenia oraz roku budowy na wybór typu konstrukcyjnego oraz na grubość obudowy; zależności między warunkami geologicznymi a średnicą tarczy i rodzajem zastosowanej maszyny, a także relacje między parametrami geometrycznymi i technologicznymi a wymaganiami projektowymi i uwarunkowaniami realizacyjnymi.

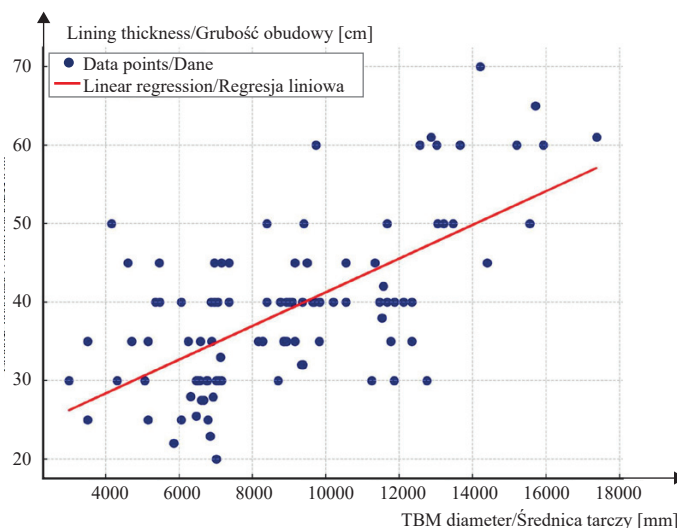


Fig. 3. Relationship between tunnel segmental lining thickness and TBM diameter [2]

Rys. 3. Zależność grubości obudowy segmentowej od średnicy tunelu wykonywanego tarcz [2]

Dyskusja kryteriów wyboru systemu jedno- lub dwunawowego

Decyzja dotycząca wyboru jedno- czy dwunawowego typu konstrukcji podejmowana jest na bardzo wczesnym etapie planowania inwestycji. Uwzględnianych jest wiele czynników, m.in.:

- włączenie nowych tuneli w istniejącą infrastrukturę, komory rozjazdowe, przeznaczenie i skrajnia ruchu, długość

- geological, geotechnical and hydrogeological conditions,
- depth below ground level, occupancy of underground space and impact on existing facilities (subsidence trough),
- schedule, logistics and construction management, launching and reception shafts, land availability, surface disruptions,
- fire safety, cross passages, ventilation and evacuation systems,
- operation and maintenance,
- resiliency, environmental impact,
- risk analysis and cost,
- local experience in the past.

Each of the above factors may be of decisive importance when shaping the tunnel cross-section. In cities, however, the tunnel depth below the ground surface and the resulting difference in the range and depth of the subsidence trough above the constructed tunnels [4] and the difference in the design of stations (railway or metro) are of particular importance. Based on global safety guidelines for tunnel construction using TBM methods, it is assumed that the soil overburden above the shield tunnel should be at least one to one and a half times the shield diameter [5]. Those geometric relationships are shown in Figure 4, and consequently, the appropriate station geometry is designed (Figure 5).

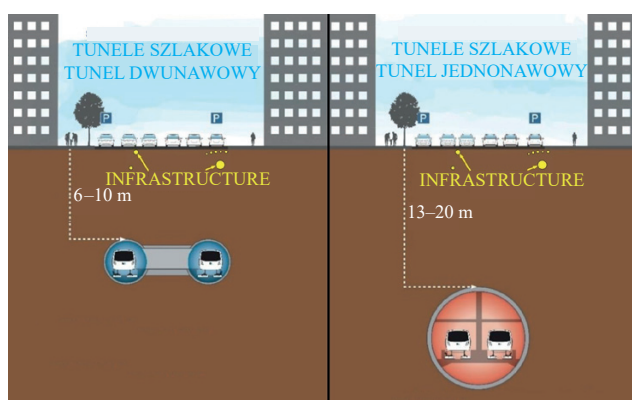


Fig. 4. Typical, safe tunnel depth below ground surface for single- and double-track tunnels (twin- or single-bore) [8]

Rys. 4. Typowe, bezpieczne zagłębienie pod poziomem terenu tuneli jedno- i dwutorowych (dwu- i jednonawowych) [8]

The tunnel depth has a significant impact on the values of subsidence and the range of the trough on the surface [6, 7]. On the other hand, the shape of the station implies the construction method: a shallow station constructed in an open pit results in major surface disruption, while a deeper one, constructed using classical methods, with smaller surface impact during construction but longer passenger access time. The numerical analysis of the example will be presented in the next section of the article.

Analysis of settlements over single- and twin-bore tunnels

In order to illustrate the influence of the tunnel diameter and its depth on the settlement values, the FEM numerical analysis was performed in two geotechnical cases – tunnels embedded in cohe-

i trasa tunelu, kolizje z podziemną infrastrukturą miejską, projektowanie stacji metra/kolejowych;

- warunki geologiczne, geotechniczne i hydrogeologiczne;
- zagłębienie poniżej poziomu terenu, zajętość przestrzeni podziemnej i wpływ na istniejące obiekty (niecka osiadania);
- harmonogram, logistyka i zarządzanie budową, komory startowe i odbiorcze, dostępność terenu i utrudnienia na powierzchni podczas budowy;
- bezpieczeństwo pożarowe, łączniki tunelowe, system wentylacji i ewakuacji;
- eksploatacja i utrzymanie;
- odporność na sytuacje nadzwyczajne (ang. resiliency), wpływ na środowisko;
- analiza ryzyka i koszt;
- wcześniejsze doświadczenia lokalne.

Każdy z tych czynników może mieć decydujący wpływ na przekrój tunelu. W miastach szczególne znaczenie ma zagłębienie tunelu pod powierzchnią terenu i wynikająca z tego faktu różnica w zasięgu i głębokości niecki osiadań nad budowanymi tunelami [4] oraz różnica w kształtowaniu stacji (kolejowych lub metra). Bazując na światowych wytycznych bezpieczeństwa realizacji tuneli metodami tarczowymi, przyjmuje się, że nadkład gruntu nad tarczą powinien wynosić minimum jedną do półtorej średnicy tarczy [5]. Wynikają z tego zależności geometryczne pokazane na rysunku 4. Geometrię stacji pokazano na rysunku 5. Zagłębienie tuneli ma istotny

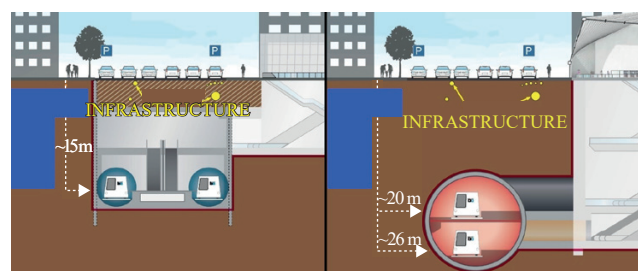


Fig. 5. Examples of station design solutions for single- and double-track tunnels [8]

Rys. 5. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne stacji jedno- i dwutorowych tuneli [8]

wpływ na wartość osiadania i zasięg niecki na powierzchni [6, 7]. Ukształtowanie stacji implikuje metodę budowy: płytka stacja wykonywana jest odkrywkowo, co generuje utrudnienia na powierzchni, natomiast głębsza metodami klasycznymi i wówczas mniejsze są utrudnienia podczas budowy, ale niedogodnością w fazie eksploatacji jest długi czas dojścia pasażerów do głęboko położonych peronów.

Analiza osiadań nad tunelami jedno- i dwunawowymi

W celu zobrazowania wpływu średnicy tunelu i jego zagłębienia na wartości osiadań wykonano analizę numeryczną MES tuneli zagłębionych w gruntach spoistych i niespoistych, przyjmując model gruntu Coulomba-Mohra oraz zakładając typową średnicę tunelu jednonawowego (dwutorowego) 13,7 m i dwóch tuneli jednotorowych w układzie dwunawowym –

sive and non-cohesive soils, assuming Mohr-Coulomb soil model and a typical diameter of a single-bore (double-track) tunnel of 13.7 m and two single-track (twin-bore) tunnels of 6.85 m. Minimum permissible depth of the tunnels was assumed (Figure 6).

As a result of the analyses carried out, it was found that the settlements above single-track tunnels of smaller diameters are 40–50% smaller than the settlements above double-track (single-bore) tunnels of larger diameters, assuming that the condition of minimum soil overburden above the tunnel is met (Figure 7).

Summary and conclusions

The decision on the choice of a single- or twin-bore tunnel design is very complex and results from an analysis of environmental and geometric factors, construction technology, safety conditions and many others. Very often, previous national or local experience plays a role when making decisions. However, it should be remembered that in the case of tunnel construction in dense urban development using mechanized tunneling methods, it is necessary to maintain the condition of minimum soil overburden above the tunnel. Unfortunately, often the integration of a planned tunnel into an existing transport system requires a shallower tunnel alignment (ground overburden less than

6,85 m. Na rysunku 6 przedstawiono minimalne dopuszczalne zagłębienie tuneli.

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że osiadanie gruntu nad tunelami jednotorowymi o niewielkiej średnicy jest o 40–50% mniejsze niż osiadanie gruntu nad tunelami dwutorowymi (jednonawowymi) o większej średnicy, przy założeniu spełnienia warunku minimalnego nadkładu gruntu nad tunelem (rysunek 7).

Podsumowanie i wnioski

Decyzja o wyborze jedno- czy dwunawowego schematu konstrukcyjnego tunelu jest bardzo złożona i wynika z analizy czynników środowiskowych, geometrycznych, technologii realizacji, warunków zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania oraz wielu innych. Bardzo często przy podejmowaniu decyzji brane są pod uwagę wcześniejsze doświadczenia krajowe czy lokalne. Należy pamiętać, że w przypadku wykonywania tuneli w gęstej zabudowie miejskiej z zastosowaniem tarcz zmechanizowanych, konieczne jest zachowanie warunku minimalnego nadkładu gruntu nad tunelem. Często włączenie projektowanego tunelu do istniejącego układu komunikacyjnego wymusza płytszy niż zalecany przebieg tunelu (nadkład gruntu poniżej jednej średnicy tunelu). W takich

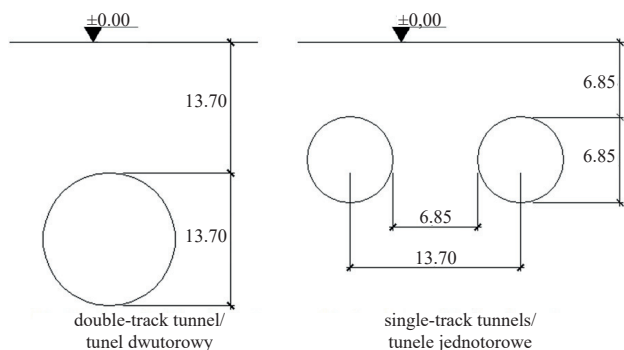


Fig. 6. Schematic geometry for settlement analysis
Rys. 6. Schemat geometrii do analizy osiadań

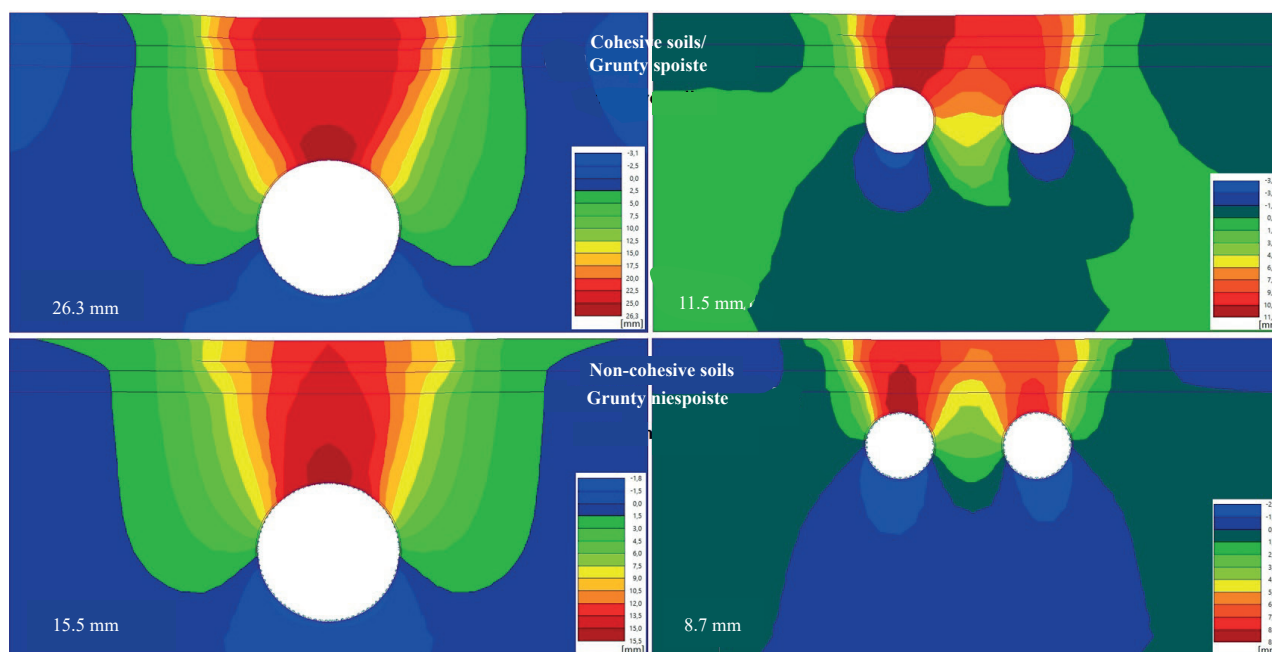


Fig. 7. Results of numerical analysis – graphs of the settlement trough and its values – single- and twin-bore tunnels
Rys. 7. Wyniki analizy numerycznej – wykresy niecki osiadania i jej wartości – tunele jedno- i dwunawowe

recommended one tunnel diameter). In such situations, there is still a lack of detailed design and construction guidelines to ensure the safety of structures located in the construction impact zone. At the same time, as it results from the numerical analyses presented in the article, the subsidence trough above single-track (twin-bore) tunnels is 40–50% shallower than above double-track (single-bore) tunnels.

sytuacjach brakuje szczegółowych wytycznych projektowania i wykonawstwa prowadzących do zapewnienia bezpieczeństwa obiektów znajdujących się w strefie oddziaływania budowy. Z analizy numerycznej przedstawionej w artykule wynika, że niecka osiadania nad tunelami jednorowowymi (dwunawowymi) jest o 40–50% płytsza niż nad tunelami dwutorowymi (jednonawowymi).

The publication was financed by a subsidy from the dean of the Faculty of Civil Engineering of the Warsaw University of Technology

Publikacja została sfinansowana z subwencji dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej

*Received: 15.07.2025
Revised: 28.08.2025
Published: 23.12.2025*

*Artykuł wpłynął do redakcji: 15.07.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 28.08.2025 r.
Opublikowano: 23.12.2025 r.*

Literature

- [1] ITA Report no32 – Urban Underground Space for Resilient Cities. ISBN: 978–2-9701670–1-3; 2023
- [2] Walicki W. Analiza kryteriów wyboru jedno- i dwunawowych tuneli komunikacyjnych. Politechnika Warszawska; 2024
- [3] Panza L, Gaspari G. A holistic approach to carbon footprint evaluation in the Single versus Double Bore Tunnel „dispute”. Tunnelling Association of Canada. 2022
- [4] Godlewski T, Bogusz W, Siemińska-Lewandowska A. Bezpieczeństwo obiektów budowlanych w sąsiedztwie tuneli. Wytyczne. Instytut Techniki Budowlanej. Warszawa 2024
- [5] ITA/AITES Report 2006 on Settlements induced by tunnelling in Soft Ground. Tunnelling and Underground Space Technology 22 (2007) 119–149
- [6] Bogusz W, Godlewski T, Siemińska-Lewandowska A. Parameters used for prediction of settlement trough due to TBM tunnelling. ACE 2021; DOI: 10.24425/ace.2021.138504

- [7] Siemińska-Lewandowska A, Kuszyk R. Settlements induced by EPB TBMs tunneling, a case study of theoretical and monitoring values. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proceedings of the ISSMGE TC204-Symposium (IS-Cambridge 2020), June 29-July 1, 2020, Cambridge, UK/Elshafie Mohammed Z.E.B., Giulia Viggiani, Mair Robert (red.), 2021, London, CRC Press/Balkema, s.1–8, ISBN 9780429321559
- [8] Davey K, Moergeli A. et all. Bart Silicon Valley Phase II – integrated cost & schedule life-cycle comparative risk analysis of single-bore versus twin-bore tunnelling. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). 2019 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978–1-138–38865–9