

dr hab. inż. Adam Wysokowski, prof. UZ*
mgr inż. Jerzy Howis**

Nowoczesne technologie budowy tuneli dla pieszych i rowerzystów

Rozbudowa infrastruktury komunikacyjnej musi uwzględniać wymagania zrównoważonego rozwoju. Powinno się stosować rozwiązania bezkolizyjne, uwzględniające potrzeby także niezmotoryzowanych uczestników ruchu. Ma to szczególnie duże znaczenie w aglomeracjach miejskich, gdzie ruch kołowy, pieszy oraz rowerowy stale rośnie, a gęsta zabudowa uniemożliwia budowę kładek dla pieszych.

Naszym zdaniem, ze względu na znaczny zakres prowadzonych inwestycji infrastrukturalnych w Polsce, konieczna jest budowa większej liczby obiektów zapewniających bezkolizyjne przekraczanie szlaków komunikacyjnych, a w efekcie zapewniających bezpieczeństwo wszystkim użytkownikom ruchu.

Wymagania dotyczące ruchu pieszego i rowerowego

Podstawowymi dokumentami prawnymi określającymi wymagania dotyczące ciągów pieszych oraz ścieżek rowerowych są rozporządzenia ministra transportu i gospodarki morskiej [8, 9]. W rozdziale 8 i 9 w dziale II rozporządzenia [8] zawarto podstawowe wytyczne dotyczące projektowania, bezpieczeństwa, trwałości oraz wyposażenia chodników i ścieżek rowerowych m.in.:

- ... Rozdział 8 Chodniki.
- § 44. 1. Chodnik powinien mieć szerokość dostosowaną do natężenia ruchu pieszych, z zastrzeżeniem ust. 3.
2. Szerokość chodnika przy jezdni lub przy pasie postojowym nie powinna być mniejsza niż 2,0 m, a w wypadku przebudowy albo remontu drogi dopuszcza się miejscowe zmniejszenie szerokości chodnika do 1,25 m, jeżeli jest on przeznaczony wyłącznie do ruchu pieszych.
3. Szerokość chodnika powinna być odpowiednio zwiększona, jeżeli oprócz ruchu pieszych jest on przeznaczony do usytuowania urządzeń technicznych, w szczególności pod-

* Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
** Infrastruktura Komunikacyjna Sp. z o.o.

pór znaków drogowych, słupów, drzew, wejść lub zjazdów utrudniających ruch pieszych.

§ 46. 1. Usytuowanie ścieżki rowerowej względem jezdni powinno zapewnić bezpieczeństwo ruchu...

... Rozdział 9 Ścieżki Rowerowe.

§ 47. 1. Szerokość ścieżki rowerowej powinna wynosić nie mniej niż:

- 1) 1,5 m – gdy jest ona jednokierunkowa,
- 2) 2,0 m – gdy jest ona dwukierunkowa,
- 3) 2,5 m – gdy ze ścieżki jednokierunkowej mogą korzystać piesi.

2. Szerokość ścieżki rowerowej należy ustalać indywidualnie, jeżeli oprócz prowadzenia ruchu rowerowego pełni ona inne funkcje...

§ 54. 4. Wysokość skrajni nad chodnikiem lub ścieżką rowerową powinna być nie mniejsza niż 2,50 m, a w wypadku ich przebudowy albo remontu może być zmniejszona do 2,20 m...

Dodatkowo w załączniku nr 1 do wymienionego rozporządzenia zawarte są wymagania dotyczące skrajni poziomej i pionowej określone na podstawie odpowiednich schematów. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono schematy skrajni dla pieszych oraz ścieżek rowerowych opracowane na podstawie wymagań tego rozporządzenia.

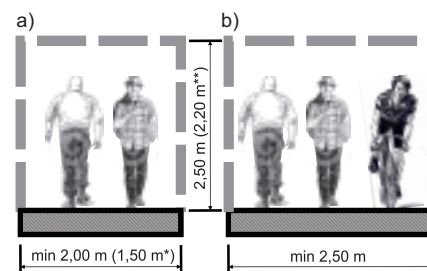
Natomiast w rozporządzeniu [9] wymagania dotyczące konstrukcji tuneli dla pieszych i rowerzystów opisane są następująco:

... § 62 Tunel dla pieszych pod drogą

1. Tunel przeznaczony do ruchu pieszych pod drogą powinien mieć w szczególności szerokość dostosowaną do natężenia ruchu pieszych i długości przeszkody oraz zapewnić niezbędną skrajnię, warunki widoczności i wygodę użytkowników. Minimalne szerokości tuneli jako przejść podziemnych wynikają z warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.

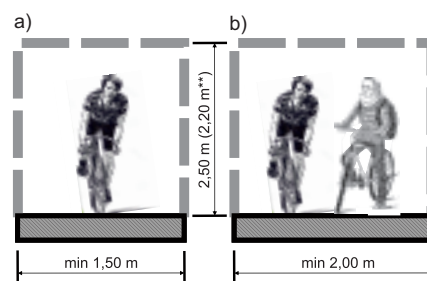
2. Wysokość skrajni tunelu, o którym mowa w ust. 1, powinna spełniać wymagania skrajni chodnika, o której mowa w § 55 ust. 2 pkt 1, a dla przypadków, kiedy przewidywany jest przejazd pojazdów uprzywilejowanych o masie całkowitej nie większej niż 2,5 t – powinna wynosić 3 m...

Konstrukcja tuneli dla pieszych lub rowerzystów powinna być zaprojektowana zgodnie z prognozowanym nasileniem ruchu pieszego lub rowerowego



* w przypadku chodnika oddzielnego pasem zieleni od jezdni
** w przypadku przebudowy lub remontu

Rys. 1. Schemat skrajni dla ruchu: a) pieszego; b) pieszo-rowerowego



** w przypadku przebudowy lub remontu

Rys. 2. Schemat skrajni dla ruchu rowerowego: a) jednokierunkowego; b) dwukierunkowego

z uwzględnieniem okresu szczytu. Zagadnienia te opisane są szczegółowo w specjalistycznej literaturze. Jako ciekawostkę przytaczamy sposób wyznaczenia przepustowości tunelu dla pieszych wg [1]:

... Przepustowość tunelu zależy od ilości pasm ruchu, których szerokość przyjmuje się równą 75,0 cm. Szerokość tunelu w świetle wynosi więc $b = 0,75 \text{ m} + 2 \cdot 0,25 \text{ m}$, przy czym wzdłuż ścian przyjmuje się dwa pasy bezpieczeństwa o szerokości 25,0 cm...

W tabeli 1 podano przepustowość tuneli dla pieszych wg danych Akademii Budownictwa NRD na podstawie [1].

Prognozowane nasilenie ruchu ma kluczowe znaczenie w prawidłowym procesie projektowania tego typu konstrukcji i naszym zdaniem wymaga analiz opartych na szczegółowych pomiarach ruchu w obrębie projektowanej inwestycji z uwzględnieniem przyszłościowego rozwoju.

Tabela 1. Przykładowa przepustowość tuneli wg danych Akademii Budownictwa NRD [1]

Liczba pasm n	Szerokość w świetle b [m]	Przepustowość tunelu [osób/godzinę]
4	3,50	3600
6	5,00	5200
8	6,50	6800
10	8,00	8400
12	9,50	10000
14	11,00	11600

Materiały

Dobór materiałów do budowy tuneli dla pieszych i rowerzystów powinien być związany z technologią budowy konstrukcji. W przypadku tradycyjnej technologii w wykopie otwartym, oprócz betonu i żelbetu stosowane są materiały, które wykorzystują m.in. współpracę z gruntem w przenoszeniu obciążeń, np.: blachy faliste ze stali bądź aluminium, tworzywa sztuczne, w tym m.in. polimery zbrojone włóknem szklanym (GRP i CC-GRP), bądź też nowoczesne elementy cienkościennie z betonu modyfikowanego zaawansowanymi dodatkami.





W przypadku technologii bezwykopowych wykorzystuje się głównie materiały o dużej wytrzymałości podłużnej, odporne na oddziaływanie znacznych sił wywołanych przez siłowniki hydrauliczne. W związku z tym stosuje się elementy z betonu, żelbetu, polimerobetonu oraz polimerów zbrojonych włóknem szklanym (GRP i CC-GRP). W tabeli 2 przedstawiono przegląd obecnie stosowanych materiałów do budowy konstrukcji tuneli dla pieszych i rowerzystów. Fotografia 1 prezentuje przykład tunelu dla pieszych i rowerzystów z nowoczesnych materiałów kompozytowych w centrum Singapuru, a fotografia 2 przejście w technologii żelbetowej w Chicago w USA w ciągu Alei „Solidarności”.

Ważnym zagadnieniem w przypadku tuneli dla pieszych i rowerzystów, oprócz walorów użytkowych, jest trwałość budowli. Należy ją rozpatrywać w aspekcie odporności na czynniki atmosferyczne i obciążeń eksploatacyjnych.

Technologie budowy

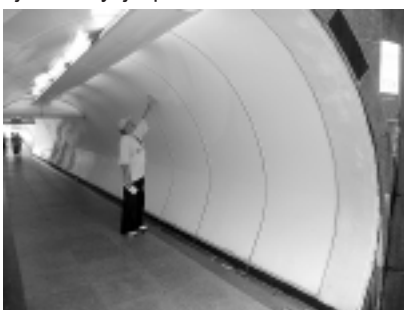
Intensywny rozwój technologii tunelowych pozwala na ich wykorzystanie z powodzeniem przy budowie nowoczesnych przejść dla pieszych i rowerzystów pod ciągami komunikacyjnymi bez

Tabela 2. Najczęściej stosowane materiały do budowy konstrukcji tuneli dla pieszych i rowerzystów [10], [11]

Materiały stosowane do budowy konstrukcji tuneli dla pieszych i rowerzystów	
Beton, beton sprężony, żelbet	
Polimerobeton	
Polimery zbrojone włóknem szklanym (GRP i CC-GRP)	
Blachy faliste	

konieczności wstrzymywania ruchu kolejowego lub drogowego.

Wyróżnia się dwie podstawowe metody budowy: **tradycyjną** – w wykopie otwartym oraz **bezwykopową**. Wybór metody zależy m.in. od uwarunkowań terenowych, rodzaju inwestycji (budowa nowej linii bądź rozbudowa), warunków gruntowo-wodnych, czasu realizacji inwestycji itp.


Fot. 1. Tunel dla pieszych i rowerzystów wykonany z kompozytów w centrum Singapuru

[Fot. A. Wysokowski]


Fot. 2. Estetyczny tunel dla pieszych i rowerzystów w Chicago (USA)

[Fot. A. Wysokowski]

Metoda tradycyjna polega na instalacji zasadniczej konstrukcji przejścia w uprzednio przygotowanym wykopie, najczęściej szerokoprzestrzennym. Przy wykonywaniu prac tą metodą istnieje bezwzględna konieczność zachowania reżimów technologicznych, szczególnie dotyczących odpowiedniego zagęszczenia zasytki gruntowej w obrębie zasadniczej konstrukcji nośnej przejścia. Coraz częściej stosowane konstrukcje podatne wykonywane metodą wykopu otwartego sprawdzają się w inwestycjach prowadzonych w trudnych warunkach gruntowo-wodnych oraz na terenach objętych szkodami górnictwami – z uwagi na możliwość niekontrolowanych przemieszczeń mas ziemnych oraz oddziaływań dynamicznych.

Przykład przejścia dla pieszych i rowerzystów w konstrukcji gruntowo-powłokowej z blach falistych pokazano na fotografii 3.


Fot. 3. Wielokierunkowe przejście dla pieszych i rowerzystów wykonane w konstrukcji gruntowo-powłokowej z blach falistych pod drogą kołową w Żaganiu

[Fot. A. Wysokowski]

W przypadku metod bezwykopowych zakres prowadzenia robót ziemnych jest niewielki [5]. Zazwyczaj wykorzystuje się mikrotunelowanie, czyli jednoetapowy zautomatyzowany i skomputeryzowany przecisk hydrauliczny, za pomocą urządzeń składających się z głowicy z tarczą skrawającą. Obecnie stosowany sprzęt do mikrotunelingu umożliwia obniżenie kosztów budowy i jest przyjazny dla środowiska naturalnego, co wynika m.in. z ograniczenia stosowania spalinowych zespołów napędowych na rzecz jednostek hydraulicznych [4]. Do niedawna technologie bezwykopowe wykorzystywano przede wszystkim do budowy przewodów podziemnych na znacznej głębokości. Obecnie są coraz bardziej efektywne ekonomicznie w porównaniu z technologiami tradycyjnymi, wykopowymi.

W związku z tym, że wykazują wiele zalet, stosuje się je nawet na niewielkiej głębokości, niekoniecznie pod przeszkodami terenowymi, a często wzdłuż lub w poprzek dróg i ulic. W wyniku stosowania technologii bezwykopowych unika się wielu niekorzystnych czynników, co ujęte zostało w [2].

W wielu krajach świata i co godne podkreślenia również w Polsce wykonuje się wiele badań w zakresie technologii bezwykopowych, a wyniki stosunkowo szybko wdrażane są w praktyce. Większość osiągnięć światowych z powodzeniem została wdrożona również w Polsce [7]. Jedną z pierwszych konstrukcji tunelu drogowego wykonanego metodą przecisku hydraulicznego przedstawiono na fotografii 4.

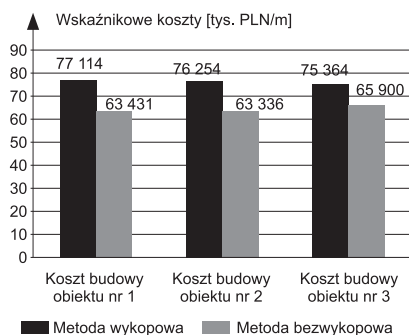


Fot. 4. Widok tuneli drogowych wraz z przejściami dla pieszych i rowerzystów pod liniami kolejowymi (konstrukcje te wykonano jako jedne z pierwszych w kraju metodą przecisku hydraulicznego) – obiekt w Nowym Sączu

[Fot. A. Wysokowski]

Technologie bezwykopowe w znacznie większym stopniu mogłyby usprawnić realizację inwestycji w budownictwie komunikacyjnym, w tym tuneli dla pieszych i rowerzystów. W przypadku dużych inwestycji obejmujących przebudowę infrastruktury transportowej (budowę dróg, ulic, magistralnych linii kolejowych, jak też kolei miejskich i podmiejskich), w dużo większym stopniu należałoby upowszechnić te metody, bazując przy tym na doświadczeniach z innych dziedzin budownictwa. Jest to niezwykle ważne z uwagi na koszty społeczne związane z zamknięciem dróg i linii kolejowych.

Na rysunku 3 porównano koszty realizacji inwestycji infrastrukturalnych metodą wykopu otwartego oraz metodą bezwykopową z uwzględnieniem kosztów społecznych i środowiskowych. Z przeprowadzonych przez nas analiz wynika, że technologie bezwyko-

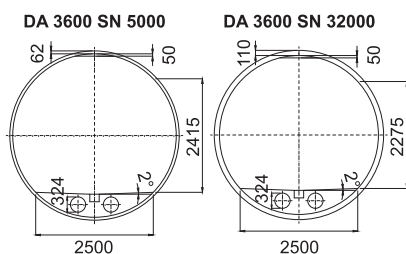


Rys. 3. Porównanie kosztów wykonania inwestycji metodą wykopu otwartego oraz metodą bezwykopową z uwzględnieniem kosztów społecznych i środowiskowych [6]

powe wykazują większą efektywność ekonomiczną w porównaniu z technologiami tradycyjnymi [6]. Konieczne są więc analizy kolejnych inwestycji już zrealizowanych i obecnie przygotowanych do realizacji, co przyczyni się z pewnością do właściwych decyzji ekonomicznych w przyszłości.

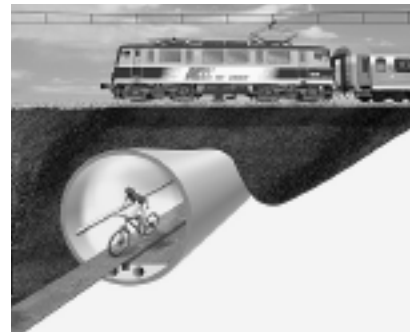
Kierunki rozwoju

Mając na uwadze obecne tendencje proekologiczne, należy się liczyć z dalszym rozwojem ciągów rowerowych i pieszych, a tym samym technologii i materiałów stosowanych do ich budowy. Tunele dla pieszych i rowerzystów mogą być bardziej efektywne, gdyż obecnie powraca się do tuneli wielofunkcyjnych [3], np. umożliwiających przeprowadzanie wodociągów, przewodów telekomunikacyjnych, światłowodów w osobnych niszach, które są dostępne od strony zasadniczej części tunelu, zarówno w jego bocznej części, pod jezdnią ciągu rowerowo-pieszego lub mogą być wykorzystane „martwe” miejsca poza wymaganą skrajnią w tunelach. Przykład konstrukcji tunelu wielofunkcyjnego z rur kompozytowych CC-GRP o kołowym przekroju przedstawiono na rysunku 4. Oprócz ruchu pieszego i rowero-



Rys. 4. Przekrój poprzeczny konstrukcji tunelu wielofunkcyjnego o przekroju kołowym z rur kompozytowych CC-GRP [10]

wego, wprowadzono urządzenia wodne i teletechiczne w przestrzeni pod nawierzchnią. Idee rozwiązań tego typu konstrukcji dobrze ilustruje schemat zamieszczony na rysunku 5.



Rys. 5. Ideowy schemat przejścia dla rowerzystów pod liniami kolejowymi z wykorzystaniem rur kompozytowych CC-GRP [10]

Literatura

- [1] Kuczyński J. *Miejskie budowle sanitarne i podziemne*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa 1980 r.
- [2] Kuliczowska E., Kuliczkowski J. *Technologie bezwykopowe pomagają zmniejszyć emisję CO₂*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne. Nr 2/2011 r.
- [3] Madryas C. *Tunele wieloprzewodowe – historia czy przyszłość?* Inżynieria Bezwykopowa nr 1/2013.
- [4] Madryas C., Kolonko A., Szot A., Wysoki L. *Mikrotunelowanie*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2006 r.
- [5] Wysokowski A. *Specyfika budowy dolnych przejść dla zwierząt w technologii bezwykopowej*. Materiały Budowlane nr 2/2014 r.
- [6] Wysokowski A. *Techniczno-ekonomiczna efektywność stosowania technologii bezwykopowych przy budowie dróg i infrastruktury kolejowej*. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Infrastruktura Podziemna Miast. Instytut Inżynierii Łądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011 r.
- [7] Wysokowski A., Madryas C., Skomorowski L. *Development of the transport infrastructure in Poland with the application no-dig with CC-GRP materials*. International No-Dig 2010 28th International Conference and Exhibition 8-10 November 2010 Singapore.
- [8] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. nr 43, poz. 430).
- [9] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej nr 63 z 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz.U. z 3 sierpnia 2000 r.).
- [10] Materiały informacyjne firmy Hobas.
- [11] Materiały informacyjne firm produkujących elementy do budowy tuneli.