

# Budowa podwodnego tunelu pod Świną łączącego wyspy Uznam i Wolin

dr hab. inż. Teresa Rucińska, prof. ZUT (ORCID 0000-0003-2550-2480),  
Janusz Kozanecki, Gerhard Januchowski, Studenckie Koło Naukowe Młodzi Inżynierowie PZITB,  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach budownictwo tunelowe w Polsce nabrało szczególnego wymiaru. Technologie wykorzystywane do ich budowy nie odbiegają od najbardziej nowoczesnych rozwiązań stosowanych na całym świecie. Nie brakuje też materiałów źródłowych na ten temat. Przykładowo w celach poznawczych warto polecić artykuł Siemińskiej-Lewandowskiej A. E. [1], która na wstępie przypomniała definicję tunelu [2], przedstawiła zarys historyczny ich budowy, a także scharakteryzowała typy tuneli i metody budowania. Wspomniała także, że budownictwo tunelowe jest w programie nauczania od ponad 70 lat, m.in. na takich uczelniach technicznych, jak Politechnika Warszawska, AGH czy też Politechnika Krakowska. Warto zaznaczyć, że w okresie planowania budowy tunelu pod Świną łączącego wyspy Uznam i Wolin (rys. 1), także na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (do 2020 Wydział Budownictwa i Architektury), od roku akademickiego 2017/2018, staraniem ówczesnego dziekana WBiA prof. dr hab. inż. Marii Kaszyńskiej, wprowadzono do siatki zajęć studiów drugiego stopnia przedmiot o nazwie „Podstawy budownictwa

tunelowego”, dzięki któremu przyszli inżynierowie studiujący w Szczecinie są przygotowani do pracy przy tego typu inwestycjach. Należy nadmienić, że prof. dr hab. inż. Maria Kaszyńska jest przewodniczącą Rady Naukowej ds. budowy tunelu w Świnoujściu.

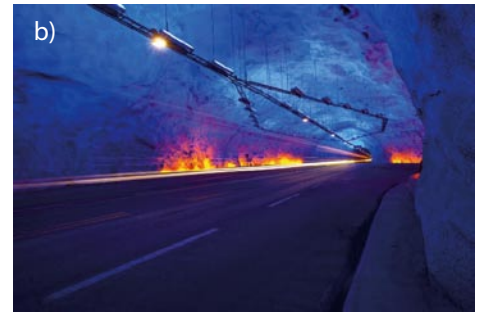
Tajduś A. [3] natomiast zaciekał czytelnika podziemnymi rozwiązaniami inżynierskimi dla miast w zarysie historycznym i stosowanymi współcześnie. Zasygnalizował problemy związane z budownictwem podziemnym oraz wpływ tego typu inwestycji na nowoczesne miasta. Stwierdził, że osoby zajmujące się rozwojem infrastruktury miejskiej są przekonane o konieczności zagospodarowania przestrzeni podziemnej w celu prawidłowego rozwoju miast. Na potwierdzenie tego stanowiska zacytował słowa Charlesa Fairhursta: „We have to go underground to stay on the top!”, mającego ponad 70-letnie doświadczenie w mechanice skał górniczych a także zajmującego się problemami stabilności skał w tunelach, tamach, kopalniach i wyrobiskach na całym świecie. Warto też dodać, że dr. Charles Fairhurst jest członkiem American Rock Mechanics Association (ARMA), American Underground Construction Association oraz International Society of Rock Mechanics (ISRM), co świadczy o niekwestionowanym autorytecie w dziedzinie szeroko rozumianego budownictwa podziemnego.

O problemach budownictwa podziemnego piszą Grodecki W. i in. [4]. Autorzy omówili podstawowe problemy polskiego budownictwa podziemnego w skałach zwięzłych oraz w skałach luźnych. Zwrócili uwagę na zagadnienia podziemnej infrastruktury sieciowej miast, a także przedstawili wybrane zagadnienia projektowania geotechnicznego w budownictwie podziemnym, wskazali na wzajemne relacje pomiędzy budownictwem podziemnym, geotechniką i geoinżynierią oraz perspektywy rozwoju budownictwa podziemnego w Polsce. Do tego tematu odniosła się także Chylicka I. [5]. W swojej publikacji zwróciła uwagę na dynamiczny rozwój budowy tuneli w Polsce, a także scharakteryzowała istniejące i planowane inwestycje tego typu. Na koniec autorka podała przykłady rekordowych obiektów tunelowych na świecie, do których z pewnością należą:



**Rys. 1.** Plan orientacyjny tunelu pod cieśniną Świny w Świnoujściu  
(źródło: tunel-swinoujscie.pl)

**Rys. 2.** Tunel Lærdal w Norwegii: a) wjazd do tunelu od strony południowo-zachodniej (źródło: xdmag, Licencja: CC-BY-SA), b) oświetlenie niebiesko-żółte w wykutej w skale jaskini (źródło: Svein-Magne Tunli)



**Rys. 3.** Tunel Yamate w Japonii (źródło: PekePON/Wikimedia Commons)



**Rys. 4.** Tunel Gotthard-Basistunnel (źródło: Archiwum AlpTransit Gotthard AG)



- Tunel Lærdal w Norwegii o długości 24,51 km – jest to najdłuższy tunel drogowy. Znajduje się na trasie Oslo-Bergen i zapewnia połączenie między miastami Aurland i Lærdal. Do użytku został oddany w 2000 r. (rys. 2). W tunelu zastosowano liczne rozwiązania zwiększające bezpieczeństwo jazdy, m.in. z uwagi na brak wyjść awaryjnych. Trasa podzielona jest na 4 części, które przedzielono wykutymi w skale jaskiniami. W tych miejscach zainstalowano oświetlenie w kolorze niebiesko-żółtym, natomiast w pozostałych częściach tunelu oświetlenie jest białe. Jaskinie pełnią również funkcję zawracania;
- Tunel Yamate w Japonii, uznawany za najdłuższy tunel miejski o długości 18,2 km, prowadzi Centralną Trasę Okrężną drogi ekspresowej Shuto w Tokio – oddany do użytku w całości w 2015 r. (rys. 3);
- Gotthard-Basistunnel w Alpach Szwajcarskich – najdłuższy i najgłębszy tunel kolejowy na świecie o długości 57 km, natomiast najniższe miejsce znajduje się 2,3 km pod powierzchnią. Tunel oddano do użytku w 2016 r. (rys. 4).

w latach 1907–1912, a jego długość wynosi 1601 m. W zamyśle przejazdu pociągów miały się odbywać dwutorowo, jednak starszy tunel został wyłączony z ruchu pod koniec lat 90. XX wieku.

Natomiast w kategorii tuneli podwodnych obecnie najdłuższym jest tunel pod Martwą Wisłą w Gdańsku (rys. 7).



**Rys. 5.** Tunel drogi ekspresowej S2 pod warszawskim Ursynowem

## 2. Najdłuższe tunele w Polsce

W Polsce najdłuższym tunelem podziemnym jest warszawski tunel drogowy pod Ursynowem liczący 2335 m długości (rys. 5). Uroczyste oddanie tunelu do użytku nastąpiło 20 grudnia 2021 roku. Tunel usprawnia komunikację w kierunku Terespoła i w kierunku Poznania.

W kategorii tuneli kolejowych najdłuższym jest wydrążony w skale tunel pod Małym Wołowcem (rys. 6). W zasadzie jest to podwójny tunel, przy czym pierwszy z nich o długości 1560 m wydrążono w latach 1876–1879. Według Ranicza B., przewodnika sudeckiego: „... w ciągu doby przejeżdżało tunelem 25 pociągów osobowych i towarowych. Była to linia łącząca Berlin z Wiedniem”. Drugi tunel wydrążono



**Rys. 6.** Tunel kolejowy pod Małym Wołowcem



Fot. Karol Starczak/GZDIZ

**Rys. 7.** Tunel podwodny pod Martwą Wisłą łączący arterie komunikacyjne Gdańska – Trasę Słowackiego z Trasą Sucharskiego

To pierwszy dwunitkowy podwodny tunel drogowy w Polsce. Jego otwarcie nastąpiło w 2016 roku. Tunel ma 1377,5 m długości. Był drążony maszyną TBM (ang. *Tunnel Boring Machine*) o imieniu „Damroka”. Parametry techniczne maszyny były imponujące. Przykładowo masa urządzenia wynosi 2200 ton, długość 91 m, a średnica tarczy 12,6 m.

W roku 2021 rozpoczęto budowę tunelu podwodnego pod Świną, którego długość wyniesie 1484 m, a więc po zakończeniu budowy będzie to najdłuższa przeprawa podwodna w Polsce (rys. 8). Inwestorem tego projektu jest miasto Świnoujście, natomiast inwestorem zastępczym – Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Szczecinie. Nadzór nad projektem pełni SWECO/Lafrenz, a wykonawcą jest konsorcjum PORR/Gulermak.

Wartość zlecenia wynosi 793 mln zł brutto, a przewidziany czas na ukończenie projektu to 48 miesięcy. Koszt budowy oszacowano na ponad 912 mln zł, z czego ok. 775 mln zł pozyskano z funduszu Unii Europejskiej. Pozostałe koszty poniesie miasto Świnoujście z własnego budżetu. Barbara Michalska – zastępca prezydenta miasta Świnoujście odpowiedzialna za inwestycje i zarządzanie drogami, w publikacji [6] omówiła rolę i znaczenie budowy tunelu pod Świną w rozwoju regionu. Zwróciła uwagę, że budowa tunelu była rozważana przed II wojną światową. Niemcy opracowali nawet koncepcję jego budowy, jednak działania wojenne przerwały kontynuowanie prac. Tunel miał spełniać rolę komunikacyjną łączącą wschodnią część



Fot. tunel-swinoujscie.pl

**Rys. 8.** Plac budowy podwodnego tunelu pod Świną – komora odbiorcza

ówczesnego obszaru Niemiec z Międzyzdrojami. Niestety położenie Świnoujścia na wielu wyspach (łącznie 44 o zróżnicowanej wielkości), w tym zamieszkałych Uznam (ok. 80%), Wolin i Karsibór, wymaga przeprawy promowej, aby przedostać się do centrum miasta. Mimo że można taką przeprawę potraktować za atrakcję turystyczną, to dla stałych mieszkańców jest to swego rodzaju uciążliwość. Dlatego budowa tunelu jest spełnieniem ich marzenia, a podpisanie kontraktu na jego budowę w roku 2018 tego początkiem.

### 3. Sympozjum Naukowo-Techniczne w Świnoujściu

7 i 8 kwietnia 2022 roku odbyło się Sympozjum Naukowo-Techniczne „Usprawnienie połączenia komunikacyjnego pomiędzy wyspami Uznam i Wolin w Świnoujściu – budowa tunelu pod Świną”, podczas którego przedstawiono stan zaawansowania prac. Na konferencję zaproszono m.in. studentów wydziałów budownictwa (przyszłych inżynierów) oraz przedstawicieli Młodej Kadry PZITB aktywnie działających zawodowo.

Wydarzenie składało się z dwóch części. Podczas pierwszej z nich, 7 kwietnia, zaprezentowano harmonogram prac, napotkane problemy oraz wykorzystane technologie do realizacji projektu. Poruszono takie tematy, jak dobór odpowiedniej maszyny drążącej, wykonanie ścianek szczelnych, rozwiązanie problemu logistycznego z prefabrykatami potrzebnymi do realizacji inwestycji oraz wyzwania związane z wykonaniem wyjść ewakuacyjnych.

Do wykonania przekopu wykorzystano maszynę drążącą TBM „Wyspiarka” o długości 101 metrów i średnicy 13,46 m. Warto w tym miejscu przywołać publikację [7], w której scharakteryzowano budowę drogowych tuneli podwodnych tarczami zmechanizowanymi, omówiono ich konstrukcję oraz zasadę działania, a także podano przykłady zastosowania tarcz tego typu do budowy tuneli z ostatnich lat. W przypadku budowy tunelu pod Świną technologię drążenia tarczą zawieszinową „Wyspiarka” omówił szczegółowo Mert Vardar (firma Gulermak), kierownik ds. TBM – Tunel Świnoujście s.c., odpowiedzialny za dobór maszyny, jej instalację oraz drążenie tunelu [8].

Szczegóły związane z projektem i realizacją odcinków dojazdowych do tunelu TBM wyjaśniła Myroslava Hetsko, inżynier budowy – Tunel Świnoujście s.c. Ze względu na wymagania technologiczne i warunki bezpieczeństwa konieczne było uwzględnienie odcinków dojazdowych do tunelu TBM, które podzielono na 4 sekcje zróżnicowane układem konstrukcyjnym. W najpłytszych odcinkach, usytuowanych na wjeździe i wyjeździe do tunelu, zastosowano otwartą ramę z płytą fundamentową, ze sztywnym połączeniem między ścianami a płytą. Kolejne sekcje charakteryzują się układem konstrukcyjnym w postaci ramy otwartej

**Rys. 9.** Elementy sufitowe wraz z płytami szczelinowymi

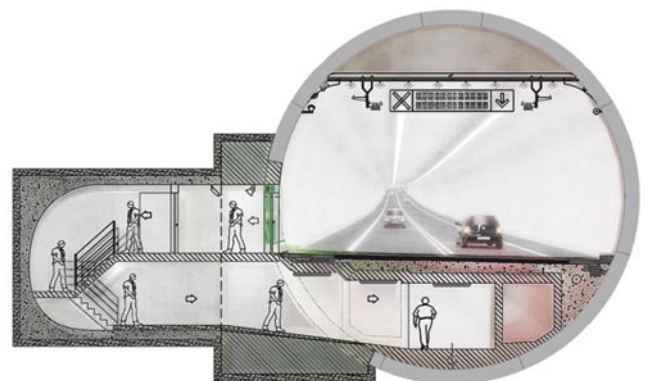
w ścianach szczelinowych połączonych z płytą denną, ramy w ścianach szczelinowych połączonych z płytą denną i żelbetowymi rozporami stałymi oraz ramy żelbetowej zamkniętej utworzonej ze ścian szczelinowych połączonych z płytą denną i stropem górnym. Dodatkowo w najgłębszych sekcjach odcinka dojazdowego wykonano komory startową i odbiorczą w konstrukcji ramy zamkniętej utworzonej ze ścian szczelinowych połączonych z płytą denną i stropem górnym. Komory te wykorzystano do montażu i demontażu maszyny TBM na obu końcach tunelu. Produkcję prefabrykowanych elementów betonowych na potrzeby budowy tunelu przedstawił Waldemar Bartusiak, kierownik Zakładu Prefabrykacji – Tunel Świnoujście s.c. Tunel składa się z prawie 5 tysięcy elementów prefabrykowanych. Ze względu na ich ciężar oraz utrudnienia logistyczne musiały być wykonane na placu budowy. Większą część z nich wyprodukowano w Zakładzie Prefabrykacji na wyspie Uznam, gdzie również wykonywano elementy obudowy tunelu. Najcięższymi okazały się elementy typu U, gdzie każdy z nich waży po 10 ton, natomiast elementy sufitowe ważą po 6,5 tony, a filigrany po około 0,6 tony – rysunek 9.

Wykonanie wyjść ewakuacyjnych omówił Łukasz Chodakowski, kierownik robót konstrukcyjnych – Tunel Świnoujście s.c. Oceniał ten etap budowy, jako jedno z największych wyzwań przy budowie tuneli podwodnych. Ze względów bezpieczeństwa w tunelu zaprojektowano wyjścia ewakuacyjne co 500 m – na odcinku km 1+344 i km 1+844 drogi, które przebiegają poza obudowę tunelu. Po wykonaniu odwiertów technologicznych przez betonową obudowę tunelu drążenie wyjść ewakuacyjnych odbywać się będzie w gruncie po wcześniejszym jego zamrożeniu. Proces mrożenia pozwalający na rozpoczęcie wykopu potrwa ok. 40 dni (mrożenie aktywne), przy czym grunt utrzymywany będzie w tym stanie również podczas przebijania się przez obudowę tunelu i budowę konstrukcji dróg ewakuacyjnych, co potrwa kolejne ok. 100 dni (mrożenie pasywne).

Zastosowana metoda sztucznego mrożenia wykorzystuje roztwór solanki, który pełni funkcję płynu chłodzącego. Schłodzony do -35°C będzie krążył w zamkniętym systemie rur, co w sposób ciągły zapewni przenoszenie ciepła z gruntu do instalacji, a następnie do atmosfery. W efekcie tego zabiegu grunt ulega ochłodzeniu, natomiast woda wypełniająca pory zamarza, zamieniając grunt w wodoszczelną bryłę.



Cały proces otwierania i wykonywania wyjść ewakuacyjnych podzielono na kilka etapów. Od nacięcia otworu w żelbetowej obudowie tunelu, poprzez demontaż obrysowanej nacięciem obudowy i odcinkowe wybieranie gruntu w zamrożonej bryle, z montażem stalowych ram podporowych i wykonywaniem zbrojonej warstwy z torcretu. Wszystko po to, aby zabezpieczyć wykop i wykonać ostateczną obudowę żelbetową wraz z izolacją. Poza wyjściami ewakuacyjnymi zaprojektowano klatki schodowe w przestrzeni komory startowej i odbiorczej. Będą one łączyły galerię ewakuacyjną ulokowaną pod jezdnią w tunelu z powierzchnią zewnętrzną. Galeria ma również połączenie z wyjściami ewakuacyjnymi, dzięki temu klatki schodowe będą pełniły funkcję wyjść ewakuacyjnych z poziomu drogi na wlotach do tunelu – rysunek 10.



**Rys. 10.** Przekrój poprzeczny przez tunel w miejscu połączenia klatki schodowej z galerią (źródło: <https://mapadotacji.gov.pl>)

Jacek Król, inżynier rezydent z konsorcjum SWECO/Lafrentz zaznaczył, że najtrudniejsze w całym procesie budowy wyjść ewakuacyjnych jest uzyskanie w założonym czasie pełnego szczelnego płaszcza mroźniowego oraz jego utrzymanie w czasie prowadzenia robót ziemnych i wykonywania obudowy wykopu.

W sesji problemowej seminarium przedstawiono również zagadnienia, takie jak: „Warunki geologiczno-inżynierskie na obszarze lokalizacji tunelu pod Świną a monitoring osiadań” (Marta Szymańska, inżynier budowy – Tunel Świnoujście s.c.), „Doświadczenia nadzoru z dotychczasowej realizacji tunelu pod Świną” (Jacek Król, inżynier rezydent, przedstawiciel Sweco/Lafrentz) oraz „Wsparcie BIM i modelowanie 3D” (Paweł Segit – Tunel Świnoujście s.c.).

Szczególnie interesujące wydały się analizy powstawania niecki osiadań na powierzchni terenu wzdłuż trasy tunelu pod Świną. Do sondowania pionowych ruchów gruntu

**Rys. 11.**  
Widok tunelu  
od wejścia



Fot. J. Kozanecki, G. Januchowski

występujących podczas drążenia tunelu zastosowano metodę półempiryczną z wykorzystaniem krzywej Gaussa. Uzyskane symulacje konfrontowano z otrzymanymi wartościami podczas pomiarów prowadzonych bezpośrednio na budowie. Dzięki temu na bieżąco kontrolowano wpływ prac na otoczenie i wyprzedzająco planowano wprowadzanie koniecznych zmian, co zapewniało komfort ciągłości prac. Szczegółowe wyniki prowadzonych analiz w odniesieniu do wyznaczonych sekcji pomiarowych przedstawiła Marta Szymańska, inżynier budowy – Tunel Świnoujście s.c. [9].

W drugiej części seminarium, która miała miejsce 8 kwietnia br., organizatorzy zaplanowali wyjście na plac budowy, podczas którego uczestników zaprowadzono około 100 m w głąb tunelu, w miejsce gdzie jeszcze trwały prace i można było zaobserwować betonowanie zbrojenia na podłożu (rys. 11–12). Wchodząc do tunelu, można było wyczuć wysokie ciśnienie oraz ocenić skalę realizowanej inwestycji.



Fot. Archiwum własne

**Rys. 13.** Studenci Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska ZUT w Szczecinie z prof. Marią Kaszyńską i Barbarą Michalską (l zastępcą prezydenta miasta Świnoujście)

**Rys. 12.**  
Betonowanie  
zbrojenia pod  
jezdnię w tunelu



Fot. J. Kozanecki, G. Januchowski

#### 4. Podsumowanie

Uczestniczenie w Sympozjum Naukowo-Technicznym „Usprawnienie połączenia komunikacyjnego pomiędzy wyspami Uznam i Wolin w Świnoujściu – budowa tunelu pod Świną”, szczególnie młodej kadry inżynierów (rys. 13) uświadamia, jak ważny jest każdy element planowanej inwestycji o wysocze zaawansowanej technologii. Badania geologiczne gruntu oraz sposób wykonania przekopu podziemnego należą do najistotniejszych aspektów budownictwa podziemnego. Również istotną rolę odgrywa logistyka oraz kolejność technologiczna wykonywania robót. Zastosowanie metodologii BIM, która staje się standardem, wyklucza kolizje międzybranżowe oraz usprawnia inwentaryzację prac wykorzystującą techniki skanowania laserowego i fotogrametrii. Umożliwia także tworzenie modelu powykonawczego w postaci cyfrowego odzwierciedlenia obiektu, dzięki czemu można sprawnie nim zarządzać, prowadzić prace remontowo-modernizacyjne, a także konserwatorskie, zgodnie z harmonogramem.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Siemińska-Lewandowska A. E., Budownictwo tunelowe, Mosty 5/2019
- [2] Stamatello H., Tunele i miejskie budowle podziemne, Wydawnictwo Arkady, 1970
- [3] Tajduś A., Budownictwo podziemne szansą rozwoju współczesnych miast, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne 3(66)2016
- [4] Grodecki W., Madryas C., Tajduś A., Tokarz A., Wichur A., Żyliński R., Wybrane problemy budownictwa podziemnego, Górnictwo i Geoinżynieria 29/3/1. 2005
- [5] Chylička I., Rozwój budownictwa tunelowego w Polsce, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne 1(100)2022
- [6] Michalska B., Rola i znaczenie budowy tunelu pod Świną w rozwoju regionu, Inżynieria i Budownictwo 3–4/2022
- [7] Siemińska-Lewandowska A. E., Budowa drogowych tuneli podwodnych tarczami zmechanizowanymi. Inżynieria i Budownictwo 3–4/2022
- [8] Vardar M., Dobór maszyny TBM, instalacja oraz drążenie tunelu. Inżynieria i Budownictwo 3–4/2022
- [9] Szymańska M., Warunki geologiczno-inżynierskie na obszarze lokalizacji tunelu pod Świną a monitoring osiadania, Inżynieria i Budownictwo 3–4/2022