

Dariusz Łydźba, Cezary Madryas**

NAUCZANIE BUDOWNICTWA PODZIEMNEGO I INŻYNIERII MIEJSKIEJ NA WYDZIALE BUDOWNICTWA LĄDOWEGO I WODNEGO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

1. Wstęp

Nauczanie na Politechnice Wrocławskiej Budownictwa podziemnego i inżynierii miejskiej ma już swoją ponad trzydziestoletnią tradycję. Inicjatorami wprowadzenia tej specjalizacji do planu studiów na kierunku Budownictwo byli profesorowie: Zdzisław Gergowicz, Stefan Gałczyński oraz Jędrzej Kuczyński.

Od początku nauczanie zasad projektowania i wykonawstwa budowli podziemnych realizowane było, i tak jest do tej pory, w ramach dwóch odrębnych grup kursów tematycznych, tj.: budownictwa podziemnego oraz inżynierii miejskiej. W pierwszej z nich omawiane są budowle podziemne głębokie, tj. górskie tunele samochodowe i kolejowe oraz obiekty metro, podczas gdy w drugiej grupie kursów — płytkie podziemne budowle miejskie, tzn. kubaturowe miejskie obiekty podziemne: garaże i przejścia podziemne oraz liniowe miejskie obiekty podziemne: tunele komunikacyjne oraz tunele sieciowe. Wyróżnienie tych kursów wynika ze specyfiki projektowania oraz wykonawstwa obiektów podziemnych, w zależności od głębokości ich zalegania oraz rodzaju otaczającego je ośrodka: masyw skalny bądź masyw gruntowy.

W obowiązującym do tego roku systemie jednolitych studiów magisterskich kursy te były i są nadal prowadzone jako zajęcia obowiązkowe dla studentów czwartego roku dwóch specjalności: Inżynierii Lądowej oraz Geotechniki i Hydrotechniki. Specjalności te kształcą studentów w następujących specjalizacjach: Budowa Dróg i Lotnisk (BDL), Infrastruktura Transportu Szynowego (ITSz), Inżynieria Mostowa (IM), Teoria Konstrukcji (TK) oraz Budownictwo Podziemne i Inżynieria Miejska (BPIM). Oczywiście najszerzej projektowanie i wykonawstwo obiektów podziemnych nauczane jest na specjalizacji BPIM — łącznie po-

* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, Wrocław

nad dwadzieścia godzin zajęć tygodniowo w przeliczeniu na jeden semestr. Studenci pozostałych specjalizacji nauczeni są w wymiarze sześciu godzin tygodniowo przez jeden semestr.

W systemie studiów dwustopniowych, który będzie obowiązywał od października bieżącego roku, nauczanie podstaw projektowania i wykonawstwa obiektów podziemnych przewidziane jest dla wszystkich studentów studiów inżynierskich, z tym że dla studentów specjalności Geotechnika i Hydrotechnika oraz Inżynieria Lądowa — w zakresie rozszerzonym (osiem godzin tygodniowo przez jeden semestr), podczas gdy dla specjalności Inżynieria Budowlana — tylko w zakresie podstawowym (dwie godziny zajęć tygodniowo przez jeden semestr). Studentów drugiego stopnia (studia magisterskie) nauczanie budownictwa podziemnego i inżynierii miejskiej będzie się odbywało dokładnie na tych samych specjalnościach, na których nauczano studentów w systemie jednolitych studiów magisterskich.

2. Budownictwo podziemne na studiach inżynierskich

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej od października bieżącego roku będzie kształcił studentów stopnia inżynierskiego w trzech specjalnościach: Inżynierii Budowlanej, Geotechniki i Hydrotechniki oraz Inżynierii Lądowej. Zróżnicowanie planu zajęć na specjalnościach pojawia się dopiero w ostatnich dwóch semestrach, tj. szóstym oraz siódmym. Przedmiot Podstawy budownictwa podziemnego i inżynierii miejskiej, w wymiarze jednej godziny wykładu i jednej godziny ćwiczeń projektowych, prowadzony jest na piątym semestrze studiów inżynierskich dla wszystkich specjalności. Celem tego kursu jest nauczenie studentów zasad projektowania prostych komunikacyjnych obiektów podziemnych oraz organizacji i nadzoru nad wykonawstwem tego typu konstrukcji.

W szczególności przedstawiane będą tu podstawowe informacje na temat:

- klasyfikacji i typów obiektów podziemnych: tuneli komunikacyjnych, tuneli sieciowych, przejść podziemnych dla pieszych i garaży;
- kształtowania geometrii tuneli i przejść podziemnych (skrajni taboru samochodowego, kolejowego i metra) oraz typów przekrojów i konstrukcji dla obiektów wykonywanych odkrywkowo lub bezwykopowo;
- odwodnienia i izolacji przeciwwodnych obiektów podziemnych;
- wentylacji tuneli samochodowych oraz metra;
- obciążeń budowli podziemnych od zalegającego nad nim ośrodka gruntowego (hipoteza ciśnienia według Terzagiego);
- technologii odkrywkowych wykonywania obiektów podziemnych: metody berlińskiej, mediolańskiej, pali wielkośrednicowych;
- technologii bezwykopowych: metody tarczowej oraz przecisków hydraulicznych.

W semestrach szóstym oraz siódmym studenci studiów inżynierskich kształcący się na specjalnościach Geotechnika i Hydrotechnika oraz Inżynieria Lądowa mają dodatkowo po

trzy godziny zajęć z budownictwa podziemnego i inżynierii miejskiej. Kursy budownictwa podziemnego koncentrują się tu na analizie:

- zasad optymalnego kształtowania budowli podziemnych w planie oraz w przekroju poprzecznym;
- kategoryzacji obudów komunikacyjnych tuneli górskich w zależności od jakości masywu skalnego;
- obciążeń głębokich budowli podziemnych: inżynierskich metod oceny ciśnienia górotworu;
- obciążeń płytkich budowli podziemnych: stałych, długotrwałych i wyjątkowych;
- schematów obliczeniowych oraz metod obliczania konstrukcji podziemnych z uwzględnieniem ich współpracy z otaczającym ośrodkiem gruntowym bądź skalnym;
- kształtowania i projektowania portali wjazdowych;
- metod górniczych wykonawstwa głębokich tuneli komunikacyjnych;
- zmechanizowanych metod drążenia tuneli.

Na kursach z grupy Inżynieria miejska przedstawiane będą zasady kształtowania, projektowania i wykonawstwa kubaturowych miejskich obiektów podziemnych oraz metody bezwykopowe wykonywania obiektów podziemnych. W szczególności przewiduje się omówienie następujących problemów:

- obciążeń sieci infrastruktury podziemnej miast,
- rozwiązań materiałowych w infrastrukturze sieciowej,
- podstawowych technologii wykonawstwa miejskich budowli podziemnych ze szczególnym uwzględnieniem technologii bezwykopowych.

3. Budownictwo podziemne na studiach II stopnia: specjalność Budownictwo podziemne i Inżynieria miejska

Studia magisterskie II stopnia na Politechnice Wrocławskiej będą trwały trzy semestry. Studenci specjalności Budownictwo podziemne i Inżynieria miejska przez okres tych semestrów będą mieli łącznie 315 godzin zajęć bezpośrednio związanych z tym typem budownictwa. W planie studiów wyodrębnione są one jako następujące przedmioty: Mechanika górotworu, Tunele głębokie, Kubaturowe obiekty podziemne, Infrastruktura sieciowa, Tunele miejskie oraz Utrzymanie budowli podziemnych.

W ramach przedmiotu Mechanika górotworu przedstawione będą podstawowe badania laboratoryjne skał oraz badania *in situ* masywów skalnych. Szczegółowo analizowane zostaną metody oceny jakościowej masywów skalnych oraz klasyfikacje geomechaniczne. Dyskutowana będzie rola podstruktur występujących w masywach skalnych oraz ich wpływu na relację między parametrami mechanicznymi skał a parametrami mechanicznymi

masywów skalnych. Omawiany będzie także wpływ etapowości wykonywania tuneli i sekwencji „odbudowy” górotworu na jego stan naprężenia w sąsiedztwie wyrobiska tunelowego.

Celem określonym dla przedmiotu Tunele głębokie jest zdobycie przez studentów umiejętności zaawansowanego, również komputerowo wspomaganego, projektowania komunikacyjnych tuneli głębokich oraz metra; rozumienie zasad współpracy obudowy tunelowej z otaczającym górotworem; projektowanie żelbetowych obudów tunelowych oraz tunelowej obudowy betonowej ze zbrojeniem rozproszonym; projektowanie zespolonych konstrukcji obudów tunelowych: kotwowo-torkretowej, kotwowo-żelbetowej, tubingowej obudowy żelwowej oraz tubingowej obudowy betonowej; umiejętność uwzględniania w procesie projektowania wieloetapowości wykonywania tuneli głębokich.

Dla zdobycia tej wiedzy na wykładzie zostaną omówione następujące zagadnienia:

- zaawansowane systemy wentylacji długich i głębokich tuneli komunikacyjnych: projektowanie wentylacji;
- systemowe rozwiązania profilu podłużnego tuneli głębokich i ich wpływ na odwodnienie i wentylację obiektu, systemowe rozwiązania ochrony przeciwpożarowej długich obiektów komunikacyjnych;
- zaawansowane systemy izolacji przeciwwodnych tuneli głębokich: izolacje włączane, izolacje na „ślepych” stropie, izolacje szczelin dylatacyjnych;
- głębokość krytyczna i metody jej oceny; głębokość do której wyrobisko tunelowe nie wymaga zastosowania zabezpieczenia w postaci masywnej obudowy tunelowej;
- oddziaływania deformacyjne i statyczne górotworu na obudowę tunelową;
- zespolone i złożone konstrukcje obudów tunelowych: obudowa betonowa ze zbrojeniem rozproszonym typu Dramix, podatne obudowy tymczasowe, obudowa kotwowo-torkretowa, obudowa kotwowo-żelbetowa;
- dobór parametrów projektowych obudowy kotwowej: rozstaw kotwi, nośność pojedynczej kotwi oraz jej długość;
- utrata stateczności ścian masywnych obudowy żelbetowej ze sklepieniem o małej strzałce;
- nowoczesne, numeryczne metody projektowania konstrukcji głębokich obudów tunelowych;
- metody uwzględniania w procesie projektowania etapowości drążenia tunelu, Nowa Austriacka Metoda Budowy Tuneli — dobór postępu drążenia.

W ramach przedmiotu *kubaturowe obiekty podziemne* studenci poznają wymagania stawiane tym budowlom. W ramach wykładu omawiane są szczegółowe zasady wyznaczania obciążeń stropów, ścian i płyt dennych halowych przejść dla pieszych, garaży oraz zbiorników podziemnych, a także ich zaawansowanych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. Ponadto podane są informacje o technologiach wykopowych i bezwykopowych z uwzględnieniem najnowszych osiągnięć w tym kierunku. Podczas ćwiczeń studenci będą projektować, na poziomie projektu wykonawczego, wybrane elementy konstrukcji halowego przejścia dla pieszych lub garażu (stropy, słupy lub pale, ściany, płyty denne).

Zawartość wykładu tego przedmiotu przedstawia się następująco:

- powiązania konstrukcyjne stropów, ścian i płyt dennych,
- obciążenia płytkich, kubaturowych budowli podziemnych,
- wykonawstwo budowli kubaturowych w wykopach,
- wykonawstwo budowli technologiami półodkrywkowymi (metoda mediolańska),
- wykonawstwo budowli technologiami bezwykopowymi,
- wpływ budowli na istniejące zainwestowanie i środowisko,
- przykłady rozwiązań.

Na zajęciach z przedmiotu *infrastruktura sieciowa* zostanie przedstawiony materiał dotyczący problematyki projektowania i wykonawstwa sieci układanych technologiami bezwykopowymi oraz wybrane technologie ich rehabilitacji. Omawiane będą zasady wyznaczania obciążeń oraz zaawansowane rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe, takie jak:

- rozwiązania materiałowe przewodów sztywnych;
- rozwiązania materiałowe przewodów podatnych;
- podział technologii bezwykopowych;
- obciążenia przewodów układanych technologiami bezwykopowymi;
- budowa i techniczna rehabilitacja przewodów technologiami bezwykopowymi;
- wymiarowanie *linerów*.

Podczas ćwiczeń laboratoryjnych przedstawione będą procedury badawcze na podstawie badań wybranych parametrów konstrukcyjnych wyrobów i materiałów stosowanych w podziemnej infrastrukturze sieciowej. Na ćwiczeniach projektowych studenci będą projektować nowy rurociąg lub techniczną rehabilitację w technologii bezwykopowej.

W ramach wykładu z przedmiotu *tunele miejskie* zostanie przedstawiony (na przykładach) materiał z zakresu projektowania, wykonawstwa tuneli komunikacyjnych, wieloprzewodowych, retencyjnych i wielofunkcyjnych (zintegrowanych obiektów budownictwa podziemnego). Treści tego wykładu są następujące:

- płytkie tunele samochodowe i przejścia dla pieszych,
- płytkie tunele kolejowe i metro,
- tunele wieloprzewodowe,
- tunele retencyjne i technologiczne (np. wentylacyjne),
- zintegrowane, wielofunkcyjne budowle podziemne,
- techniki bezwykopowe w budowie tuneli płytkich,
- tunele wykonywane w wykopach,
- przykłady.

Podczas ćwiczeń studenci będą projektować, w nawiązaniu do mapy urządzeń podziemnych w mieście, tunel wieloprzewodowy jako alternatywę dla sieci układanych bezpośrednio w gruncie lub tunel dla retencji wód gruntowych.

Zajęcia związane z przedmiotem Utrzymanie budowli podziemnych skoncentrowane będą wokół przedstawienia modeli i technik kontroli stanu konstrukcji, metod diagnostyki oraz technologii technicznej rehabilitacji budowli podziemnych, w tym przede wszystkim — technologii bezwykopowych. W czasie seminarium studenci omówią przykłady wybranych technik kontroli lub technicznej rehabilitacji budowli podziemnej.

Poniżej przedstawiono szczegółową zawartość wykładu:

- techniki i modele kontroli,
- klasyfikacja uszkodzeń i zasady ich notacji,
- zasady diagnostyki stanu technicznego,
- technologie rehabilitacji z wykorzystaniem systemów chemii budowlanej,
- technologie rehabilitacji typu *close fit*,
- technologie typu *relining*,
- technologie wymiany budowli podziemnych,
- przykłady.

4. Budownictwo podziemne na studiach II stopnia — pozostałe specjalności

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego PWr będzie prowadził studia II stopnia w siedmiu specjalnościach. Poza omówioną wcześniej specjalnością BPIM są to: Konstrukcje Budowlane (KB), Budowlano-Technologiczno-Menadżerska (BTM), Budownictwo Hydrotechniczne i Specjalne (BHS), Inżynieria Mostowa (IM), Budowa Dróg i Lotnisk (BDL) oraz Infrastruktura Transportu Szynowego (ITSz). Budownictwo podziemne i inżynieria miejska będą nauczane w wymiarze dwóch godzin tygodniowo przez jeden semestr tylko na specjalnościach IM, BDL oraz ITSz. Jest to przedmiot wspólny dla tych trzech specjalności, prowadzony pod nazwą Inżynieria miejska. Zakres informacji i wiedzy przekazywanej studentom tych specjalności będzie w stosunku do zakresu omówionego wcześniej przy opisywaniu specjalności BPIM bardzo zawężony. W ramach wykładu zostanie przedstawiony materiał dotyczący problematyki projektowania, wykonawstwa budowli komunikacyjnych i sieci układanych technologiami bezwykopowymi oraz wybrane technologie ich technicznej rehabilitacji. Omawiane będą także przykłady zaawansowanych technicznie rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. Na ćwiczeniach projektowych studenci będą wykonywali projekt budowli realizowanej technologią bezwykopową. Prezentowane na wykładach w ramach tego kursu treści to:

- mikrotunelowanie i przeciski hydrauliczne,
- *pipe roofing* i horyzontalne przewiertki sterowane (HDD),
- materiały w technologiach rehabilitacji budowli podziemnych,
- technologie rehabilitacji podziemnych budowli komunikacyjnych,

- wybrane technologie rehabilitacji przewodów nieprzełazowych,
- wybrane technologie rehabilitacji budowli przełazowych,
- obciążenia budowli w technologiach bezwykopowych,
- przykłady.

5. Podsumowanie

Opisany powyżej model kształcenia dotyczy w głównej mierze założeń programowych, jakie przyjęto przy przejściu ze studiów jednolitych na studia dwustopniowe, co na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej nastąpi w październiku bieżącego roku. Proponowane treści kursów umożliwią studentom zdobycie wiedzy i umiejętności analizy zagadnień projektowych i wykonawczych związanych z szeroko rozumianym pojęciem „budownictwo podziemne i inżynieria miejska”.

Studenci specjalności innych niż BPIM zainteresowani poszerzeniem wiedzy w tym obszarze będą mogli dodatkowo uczestniczyć w kursach wybieralnych. Przykładami takich kursów są *specjalne budowle podziemne* czy *technologie bezwykopowe*. W ramach pierwszego z wymienionych kursów prezentowane będą:

- podziemne zbiorniki retencyjne,
- kolektory dużych średnic,
- komory i studnie,
- zasady wyznaczania obciążeń mechanicznych,
- rozwiązania materiałowe konstrukcji,
- wykonawstwo,
- zasady utrzymania i kontroli stanu technicznego,
- przykładowe realizacje.

Słuchacze przedmiotu *technologie bezwykopowe* będą mogli poszerzyć wiedzę i umiejętności w zakresie:

- klasyfikacji i podziału technologii bezwykopowych,
- bezwykopowych technik badania budowli podziemnych (CCTV),
- mikrotunelowania,
- przewiertów sterowanych i niesterowanych,
- przecisków hydraulicznych i technik przebijania,
- technologii *pipe roofing*,
- rekonstrukcji z użyciem technologii *close fit*,
- rekonstrukcji z użyciem technologii *relining*,
- wymiany przewodów (*pipe eating, berstlining*),
- obciążeń budowli wykonywanych technologiami bezwykopowymi.

Proces nauczania *budownictwa podziemnego i inżynierii miejskiej* realizowany jest przy wykorzystaniu literatury krajowej i zagranicznej oraz w dużej mierze publikacji zwartych opracowanych przez pracowników Wydziału (np. podręczniki akademickie: *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych* — rok wydania 2003 czy *Mikrotunelowanie* — rok wydania 2006).