

BeltSonic – innowacyjne urządzenie diagnostyczne do pomiaru grubości taśm przenośnikowych w ruchu – projekt LIDER

Część 2 – zasada działania i opis techniczny urządzenia BeltSonic

BeltSonic – Innovative diagnostic device for measuring the thickness of conveyor belts in motion – the LIDER project

Part 2 – Operation principle and technical description of the Beltsonic system

Agata Kirjanów-Błażej, Leszek Jurdziak, Ryszard Błażej, Tomasz Kozłowski

W poprzednim numerze „Transportu Przemysłowego i Maszyn Roboczych” (2/3 (48/49)/2020), przedstawiono metody punktowego i ciągłego pomiaru grubości okładek taśm przenośnikowych w kontekście projektu LIDER [2,8], którego celem jest zbudowanie innowacyjnego urządzenia diagnostycznego do pomiaru grubości taśm przenośnikowych w ruchu o nazwie BeltSonic. W tym numerze przedstawiamy zasadę działania oraz opis techniczny urządzenia. Celem projektu jest stworzenie innowacyjnego urządzenia do pomiaru grubości oraz oceny zmian profilu poprzecznego i wzdłużnego taśm przenośnikowych stosowanych w górnictwie oraz przemyśle stosującym taśmy przenośnikowe do transportu. Projekt będzie obejmował powstanie wersji laboratoryjnej urządzenia, a na jej podstawie końcowej wersji przemysłowej do testowania w kopalni odkrywkowej. Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych i pomyślnie zakończonego pierwszego etapu zostanie wykonana wersja przemysłowa, uwzględniająca potrzeby użytkownika.

Taśmy przenośnikowe ulegają procesowi ciągłego zużycia pod wpływem działających na nie obciążeń. Jedną spośród wielu oznak zużycia jest ścieranie okładki nośnej i bieżnej. Znaczny ubytek przekroju poprzecznego taśm powoduje zmniejszenie ich wytrzymałości na przebicia oraz prowadzi do zwiększenia liczby uszkodzeń w rdzeniu [3]. Wczesne wykrycie najmniejszych uszkodzeń okładek oraz ocena tempa ich narastania

umożliwi wykonanie bieżących, zaplanowanych napraw i zminimalizowanie strat spowodowanych przerwami w pracy przenośnika taśmowego [4,7].

W omówionych we wcześniejszym artykule stosowanych na świecie urządzeniach do pomiaru grubości urządzenia mocowane są do konstrukcji przenośnika taśmowego. Wadą takiego mocowania jest, że drgania konstrukcji przenośnika czy niekontrolowane uderzenia będące w ruchu taśm mają negatywny wpływ na wyniki pomiarowe urządzenia. Kolejną wadą jest to, że stała, nieregulowana odległość pomiędzy listwami pomiarowymi wymaga zachowania wysokiej precyzji montażu urządzenia na przenośniku taśmowym. Czasochłonne jest także przeprowadzanie korekty położenia listew pomiarowych, które jest konieczne ze względu na warunki użytkowania urządzenia.

System pomiaru grubości taśm BeltSonic, oprócz pomiarów grubości, realizowałby również funkcje analityczne wspomagające podejmowanie decyzji o wymianie całych odcinków taśm lub ich fragmentów z uwagi na nadmierne ich wytarcie. Do tej pory decyzje takie podejmowano na podstawie pojedynczych pomiarów. Obecnie podstawą wyboru fragmentów taśm do wymiany byłaby grubość taśmy zmierzona na całej jej powierzchni. Co więcej, obliczana byłaby nie tylko prędkość wycierania w każdym punkcie, lecz również objętość wytartej taśmy, co pozwoliłoby na weryfikowanie energetycznych formuł określających trwałość taśm na podstawie pracy czynników „punktowych” i „liniowych” rozłożonych wzdłuż trasy przenośnika [6, 9, 10, 11].

Stan wiedzy na podstawie zarejestrowanych w Polsce patentów

W Polsce nie ma gotowych urządzeń do pomiaru grubości taśmy na całej powierzchni taśmy i dla całej pętli. Pojawiają się jednak patenty powiązane z tą problematyką (PL215143, KR101466637, WO2013053013A1, PL 388104, PL 228973). Ostatni z nich stanowi podstawę wniosku BeltSonic i dla niego powstało urządzenie testowe do badań laboratoryjnych weryfikujących proponowaną, różnicową metodę pomiaru grubości taśmy. Oczywiście trudno przewidzieć, czy w laboratoriach innych instytucji czy uniwersytetów nie trwają prace nad podobnymi rozwiązaniami. Autorom artykułu nie są jednak znane żadne publikacje krajowe pokazujące takie testy, poza współautorskim artykułem w „Diagnostyce” [1].

Z polskiego opisu patentowego nr PL215143 znane jest urządzenie, które ma ramę w kształcie prostokątnej litery „C”, z równoległymi ramionami poziomymi o długości nie mniejszej od połowy szerokości taśmy przenośnikowej. Na ramionach zamocowane są współosiowo i skierowane do siebie w odstępnie bazowym dwa bezdotykowe czujniki odległości, korzystnie laserowe. Czujniki zamocowane są przesuwnie na prowadnicach wzdłuż ramion ramy oraz połączone są z zespołem nastawczym, utrzymującym przy przemieszczaniu współosiowo położenie. Sygnały czujników przekazywane są do elektronicznego analizatora grubości, a wyniki zapisywane w rejestratorze, do którego doprowadzony jest również sygnał z enkodera, pozwalający wzdłużnie zlokalizować miejsce zużycia taśmy.

Znane jest również rozwiązanie z opisu patentowego nr KR101466637, w którym pomiar grubości wykonywany jest w miejscu podparcia taśmy przez krążnik. Urządzenie pomiarowe emituje wiązkę laserową do powierzchni taśmy, która po odbiciu od jej powierzchni trafia do odbiornika. Możliwe jest wykonywanie pomiaru od strony okładki nośnej lub bieżnej.

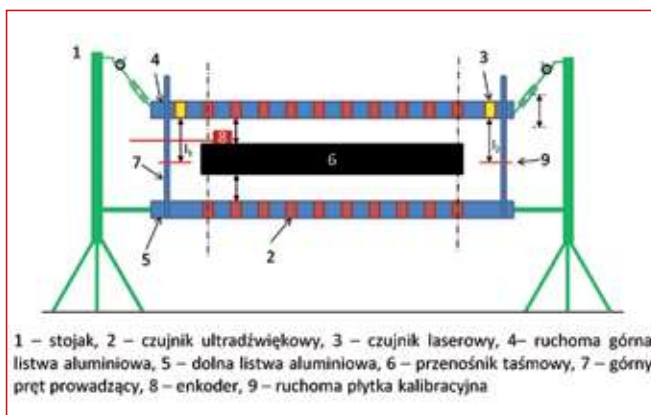
Znany jest również opis patentowy WO2013053013A1, w którym urządzenie pomiarowe ma kształt prostokątnej ramy z równoległymi dłuższymi ramionami, umieszczonymi nad i pod powierzchnią badanej taśmy, na której rozmieszczone są czujniki odległościowe w jednym rzędzie na każdym ramieniu uchwytu, a ponadto czujniki są czujnikami ultradźwiękowymi.

Zaletą proponowanego rozwiązania BeltSonic nr patentu: PL 228973 [5] jest wykluczenie wpływu czynników, mogących mieć negatywny wpływ na wynik pomiaru, tj.: sztywność konstrukcji (dwie niezależne listwy), wpływ temperatury na strzałkę ugięcia listw, uderzenia taśmy będącej w ruchu o listwy, drgania konstrukcji przenośnika. Regulacja wysokości listw pozwala na dostosowanie urządzenia pomiarowego do warunków panujących na danym przenośniku taśmowych (grubość taśmy, drgania taśmy).

Pierwzór urządzenia BeltSonic

Na świecie znane są już urządzenia do pomiaru grubości taśmy oraz oceny zmian profilu poprzecznego i wzdłużnego taśmy, które zostały opisane w poprzednim artykule

na łamach czasopisma. W rozwiązaniach innych autorów urządzenie pomiarowe mocowane jest do konstrukcji przenośnika taśmowego. Zasadniczą wadą takiego rozwiązania jest negatywny wpływ drgań przenośnika



Rys. 1 Schemat urządzenia DiagBeltSonic

taśmowego na wyniki pomiarów. Kolejną istotną wadą jest brak możliwości regulacji odległości między listwami pomiarowymi, co wymusza wysoką dokładność i precyzję przy montażu urządzenia na przenośniku. Czasochłonne



Rys. 2 Urządzenie do pomiaru grubości taśmy przenośnikowej DiagBeltSonic

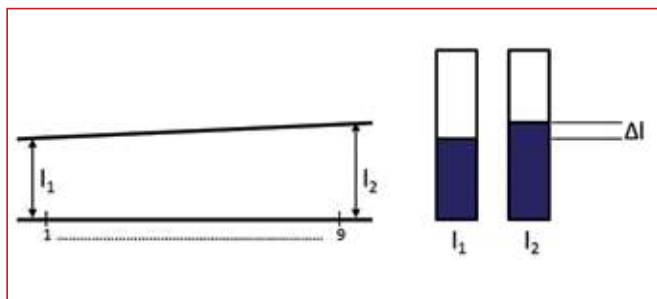
jest także przeprowadzanie korekty położenia listw pomiarowych, które jest konieczne ze względu na warunki użytkowania urządzenia. Urządzenie BeltSonic eliminuje wszystkie wymienione wyżej wady.

Metoda pomiaru grubości oraz oceny zmian profilu poprzecznego i wzdłużnego została opracowana w Zakładzie Systemów Maszynowych na Politechnice Wrocławskiej. Urządzenie, przedstawione na rys. 1 i 2, które posłużyło jako pierwzór, składa się z dwóch listw pomiarowych, umieszczonych równolegle jedna nad drugą. W listwach umiejscowione są czujniki ultradźwiękowe. Obydwie listwy umiejscowione są na dwóch regulowanych statywach. Górna listwa pomiarowa na końcach ma laserowy czujnik odległościowy.

Pomiar grubości oraz ocena zmian profilu poprzecznego i wzdłużnego taśmy przenośnikowej odbywa poprzez pomiar różnicowy odległości dwóch głowic od badanej taśmy. Równoległość obu głowic (rys. 3) ustala się za

pomocą dwóch czujników laserowych umiejscowionych na obydwu końcach listew pomiarowych.

Regulacji tej dokonuje się przed właściwym pomiarem po każdorazowym zamontowaniu systemu na przenośniku taśmowym. Pozwala ona z bardzo wysoką dokładnością, wynoszącą 0,001 mm ustawić głowice w pozycji równoległej do siebie.



Rys. 3 Pozycjonowanie listew pomiarowych za pomocą czujników laserowych

Po zakończeniu tej czynności można dokonać właściwego pomiaru. System automatycznie uruchamia działanie czujników ultradźwiękowych. Mocowanie listew w ten sposób eliminuje wpływ drgań, uderzeń taśmy o głowice pomiarowe, a także pojawiających się z czasem użytkowania odkształceń konstrukcji przenośnika na wyniki pomiarowe urządzenia. Zastosowanie dwóch niezależnych listew umożliwiło łatwy montaż oraz przeprowadzenie szybkich korekt w ustawieniu urządzenia w trakcie trwania pomiaru. Regulacja wysokości listew pomiarowych pozwala na dostosowanie urządzenia pomiarowego do warunków panujących na danym przenośniku.

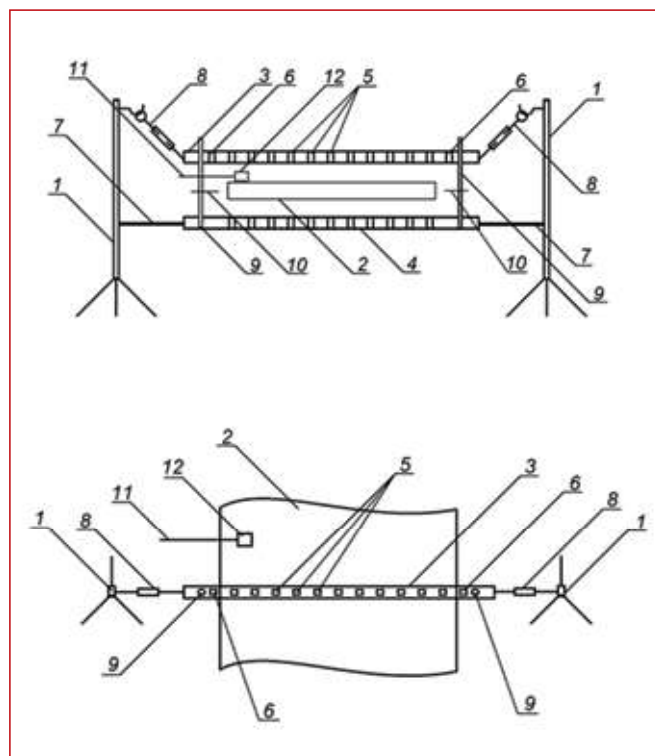
Budowa urządzenia BeltSonic – wstępne założenia

Urządzenie BeltSonic (PL 228973, rys. 4) do pomiaru grubości taśmy (2) oraz oceny zmian jej profilu poprzecznego i wzdłużnego utworzone będzie z dwóch, rozmieszczonych w odstępie jedna nad drugą, listew pomiarowych (3,4) – rys.4. W każdej z nich umiejscowione będą, wrzędzie jeden obok drugiego, czujniki odległościowe (5), a także enkoder. Listwy pomiarowe (3, 4) osadzone są w stojakach (1), w których jedna listwa pomiarowa (3) względem drugiej listwy pomiarowej (4) zamocowana jest przesuwnie w pionie. Górna listwa pomiarowa (3) przy każdym końcu ma laserowy czujnik odległościowy (6), pod którym, w jego osi wzdłużnej, umiejscowiona jest przesuwna w pionie płytka wzorcowa (10) zamocowana do dolnej listwy pomiarowej (4) prowadnicy (9) górnej listwy pomiarowej (3).

Skrajne czujniki odległościowe górnej listwy pomiarowej usytuowane są w pozycji, w której podczas pracy urządzenia są poza obszarem taśmy przenośnikowej. Dolna listwa pomiarowa do każdego stojaka zamocowana jest na sztywno – trwale za pośrednictwem poziomych, zamocowanych do listwy i stojaków ramion. Równolegle umiejscowiona nad listwą pomiarową dolną listwa pomiarowa

górna do każdego stojaka zamocowana jest poprzez zawieszenie jej na zawieszce zaczepionej do stojaka. Każda zawieszka ma regulowaną długość. Do dolnej listwy pomiarowej, przy każdym jej krańcu, zamocowana jest skierowana pionowo ku górze prowadnica w postaci pręta lub rury o przekroju kołowym.

Na prowadnicach osadzona jest przesuwna w pionie górna listwa pomiarowa. Prowadnice utrzymują na zadanej odległości stałą względną pozycję listew pomiarowych. Do każdej z prowadnic zamocowana jest w osi wzdłużnej



Rys. 4 Budowa urządzenia pomiarowego BeltSonic (wg PL 228973)

przynależnego jej skrajnego czujnika laserowego przesuwna w pionie płytka wzorcowa. Ponadto urządzenie wyposażone jest w ramię zamocowane do konstrukcji przenośnika, na którego końcu umiejscowiony jest enkoder. Powyższe, jak w przedstawionym przykładzie, przymocowanie listwy pomiarowej górnej do stojaków umożliwia regulację jej wysokości względem badanej taśmy przenośnikowej oraz listwy pomiarowej dolnej. Zasada działania urządzenia jest identyczna, jak urządzeń znanych ze stanu techniki. Pomiar polega na rejestrowaniu w czasie rzeczywistym odległości zespołu czujników odległościowych od powierzchni taśmy z obu jej stron. Sygnały czujników odległościowych przekazywane są do elektronicznego analizatora grubości, a wyniki zapisywane w rejestratorze, do którego doprowadzony jest również sygnał z enkodera, pozwalający wzdłużnie zlokalizować miejsce zużycia taśmy przenośnikowej. Wzajemne, równoległe położenie listew pomiarowych przed pomiarem wyznaczane, a w trakcie użytkowania monitorowane jest za pomocą skrajnych czujników laserowych usytuowanych na obu końcach górnej listwy pomiarowej oraz współpracujących z nimi mocowanych trwale pod

nimi, na zadanej wysokości urządzenia, płytek wzorcowych. Równoległość listew pomiarowych wyznaczana jest pomiarem odległości skrajnych czujników odległościowych od przynależnych im płytek wzorcowych, przy czym wyznaczoną odchyłkę wprowadza się do obliczeń grubości taśmy przenośnikowej. Pomiaru dokonuje się na płaskim odcinku taśmy przenośnikowej po obu jej stronach. Listwy pomiarowe ustawia się prostopadle do kierunku biegu taśmy przenośnikowej.

Podsumowanie i dalsze plany

Po zbudowaniu prototypu urządzenia dostosowanego do wymiarów taśm i przenośników stosowanych w kopalniach (St 3150 o szer. 2250 mm) będą realizowane serie pomiarów na przenośniku testowym i na przenośnikach w kopalni odkrywkowej. Posłużą one do eliminacji i korekty konstrukcji urządzenia, wyboru optymalnej gęstości czujników oraz określenia metodyki kalibracji oraz określenia błędów pomiarowych przy różnej prędkości taśm. Wyniki będą analizowane statystycznie w programie Statgraphics Centurion. Badania przemysłowe, poza sprawdzeniem funkcjonowania urządzenia w warunkach ruchowych kopalni posłużą do określenia funkcjonalności analitycznej urządzenia przydatnej użytkownikom. Pod kątem wymagań użytkowników opracowane zostaną algorytmy przetwarzania dużych ilości danych tak, by użytkownik miał łatwy i dobrze określony od strony ekonomicznej wybór postępowania. Określenie tych funkcjonalności zbuduje przewagę konkurencyjną nad rozwiązaniami oferowanymi przez zagranicznych wytwórców, gdyż nie są one wyposażone w tego typu możliwości.

Celem projektu jest stworzenie prototypu mobilnego urządzenia do pomiaru profilu poprzecznego i wzdłużnego grubości taśmy poprzez pomiar ultradźwiękowy grubości w gęstej, regularnej siatce pomiarowej. Rozłożenie punktów pomiarowych wzdłuż przekroju taśmy zależy od liczby zamontowanych ultradźwiękowych czujników, a gęstość pomiarów wzdłuż osi taśmy zależy od częstotliwości próbkowania oraz prędkości taśmy. Urządzenie będzie realizować pomiary wg opatentowanej metody pomiaru (PL228973) i ma być przygotowane do realizacji pomiarów u użytkowników (np. w kopalni) w warunkach ruchowych.

Ręczne pomiary grubości, które dominują w Polsce, obarczone są błędem subiektywnego wyboru punktów. Inspektor może źle ocenić miejsca największego wytarcia i wybrać miejsce pomiaru o średnim lub nawet niskim stopniu zużycia (dla wygody, by nie wchodzić na taśmę). Realizacja pomiarów jest pracochłonna, a sposób odczytu danych i ich zapisu narażony na błędy ludzkie.

Pomiar w gęstej siatce pomiarowej o oczkach 5 cm (w poprzek taśmy) i 0,5-5 cm (wzdłuż osi taśmy, w zależności od częstotliwości próbkowania i prędkości taśmy: 5 cm dla częstotliwości 100 Hz i 0,5 cm dla częstotliwości 1000 Hz i prędkości taśmy 5 m/s). Pozwoli to na określenia tempa zmian grubości taśmy w gęstej siatce pomiarowej w kolejnych pomiarach i wykrycie ewentualnych miejsc przyspieszonego wycierania typu plackowego (np. w miejscach lokalnej zmiany składu mieszanki okładkowej lub inten-

sywnego zużycia na skutek wzrostu natężenia podawanego strumienia urobku).

Do tej pory w Polsce nikt nie dysponuje tak dokładnymi pomiarami zmian grubości taśmy. Zaobserwowane zmiany mogą posłużyć przebudowie przesypów, koszy zasypowych, zmian konstrukcji zabezpieczeń rdzenia przed uszkodzeniami (dopasowanie budowy brekerów do rozkładu wytarcia i uszkodzeń). Powiązanie tempa zmian grubości okładek z ich parametrami (takimi jak ścieralność i twardość), co pozwoli na lepszy dobór tych parametrów do zadań transportowych oraz wydłużyć trwałość taśm, co ma konsekwencje ekonomiczne [Jurdziak L.: Wpływ trwałości na koszty].

W kolejnej części artykułu wykonawcy projektu będą informować o bieżących postępach projektu, a także będą mogli pochwalić się szczegółową konstrukcją urządzenia BeltSonic.

Abstract

In the previous issue of Industrial Transport and Heavy Machines (No. 2/3 (48/49) / 2020), point and continuous thickness measurements methods of belts were presented. The Beltsonic system described here is the aim of the LIDER project [2. 8] focused on the creation of an innovative diagnostic device for measuring the thickness of moving conveyor belts. In this issue, we present the principle of operation and technical description of the device. The innovative tool will measure the thickness and assess changes in the transverse and longitudinal profile of conveyor belts used not only in the mining industry but in all conveyor belt users in transportation. The project will include the creation of a laboratory version of the device and, on its basis, the final industrial version for testing in an opencast mine. Based on the laboratory tests performed and the successful completion of the first stage, an industrial version will be worked out, taking into account the user's needs. ■

Literatura

- [1] Błażej B., Jurdziak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: A device for measuring conveyor belt thickness and for evaluating the changes in belt transverse and longitudinal profile, *Diagnostyka* 8(4), 2017, s. 97-102.
- [2] Błażej B., Jurdziak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: BeltSonic – innowacyjne urządzenie diagnostyczne do pomiaru grubości taśm przenośnikowych w ruchu – projekt LIDER. Część 1 – Punktowe i ciągłe pomiary grubości taśm, *Transport* 2/3 (48/49)/2020.
- [3] Błażej R.: Monografia, Ocena stanu technicznego taśm przenośnikowych z linkami stalowymi, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2018, 160 s.
- [4] Błażej R., Domański A., Jurdziak L., Martyna M.: Prognozy zmian stanu rdzenia taśm typu st na podstawie czasu pracy odcinków taśm i długości przenośnika, *Mining Science – Fundamental Problems of Conveyor Transport*, vol. 21(2), 2014, s. 5-14; Program LIDER, *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, nr 1(47)/2020, s. 60-61,

ISSN 1899-5489; Błażej B., Jurdziak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: A device for measuring conveyor belt thickness and for evaluating the changes in belt transverse and longitudinal profile, *Diagnostyka* 8(4), 2017, s. 97-102.

[5] Błażej R., Jurdziak L., Gładysiewicz L., Kozłowski T., Kirjanów A.: Patent. Polska, nr 228973. Urządzenie do pomiaru grubości oraz oceny zmian profilu poprzecznego i wzdłużnego taśmy przenośnikowej: *Int. Cl. B65G43/02, G01B11/16, G01B11/06, B65G43/00*. Zgłosz. nr 418454 z 24.08.2016. Opubl. 30.05.2018/Politechnika Wrocławska, Wrocław 2018, PL; http://pubserv.uprp.pl/PublicationServer/generuj_dokument_php?plik=PL_000000000228973_B1_PDF

[6] Jurdziak L.: Określenie wpływu długości przenośnika na trwałość taśm przenośnikowych w kopalni podziemnej, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr*, nr 50, Seria: Konferencje nr 11, Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego, Wrocław 1988.

[7] Jurdziak L.: Wpływ zmian trwałości taśm na koszty eksploatacji przenośników, *Wiadomości Górnicze*, vol. 50, nr 10, 1999b, s. 424-431.

[8] Program LIDER, *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, nr 1(47)/2020, s. 60-61, ISSN 1899-5489.

[9] Żur T.: Metoda obliczania trwałości taśm przenośnikowych, *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 1, 1975.

[10] Żur T.: *Przenośniki taśmowe stosowane w górnictwie*, Wyd. Śląsk, Katowice 1980.

[11] Żur T.: Die Grundlageneiner Berechnungsmethode zur Bestimmung der Lebensdauer von Fördergurten, *Neue Bergbautechnik* 13 Jg., Heft 9, Sept. 1983, s. 513-515.

dr inż. Agata Kirjanów-Błażej

dr inż. Tomasz Kozłowski

Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska

dr hab. inż. Leszek Jurdziak, prof. uczelni

dr hab. inż. Ryszard Błażej, prof. uczelni

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska