

Przebudowa mostu w Krzyżowicach z uwagi na znaczne górnicze osiadania terenu

Rebuilding the bridge in Krzyżowice due to significant mining subsidence

dr inż. Piotr Bętkowski (ORCID: 0000-0003-0131-7715), Politechnika Śląska

DOI 10.5604/01.3001.0053.8495

Streszczenie: W artykule opisano historię techniczną mostu w Krzyżowicach. Obiekt intensywnie osiadał, ale brak było istotnych przemieszczeń na łożyskach. Górnicze osiadanie terenu spowodowało znaczne zmniejszenie światła pionowego, tj. obniżenie mostu względem zwierciadła rzeki, konieczna była przebudowa mostu. Po przebudowie mostu wydłużono ściany górnicze poza obiekt, w krótkim czasie doszło do znacznych zmian w położeniu przyczółków. W artykule opisano starą konstrukcję mostu, nową konstrukcję mostu, podano wyniki długoletnich obserwacji i pomiarów oraz wskazano, jak należy projektować zabezpieczenia na wpływy górnicze w przypadku nietypowych wymuszeń górniczych.

Słowa kluczowe: górnictwo, deformacje terenu, szkody górnicze, most, łożyska, dylatacje, pomiary.

Abstract: Article describes the technical history of a bridge in Krzyżowice. The object settled intensively, but there were no significant displacements on the bridge bearings. Mining subsidence caused a significant reduction in vertical light, i.e. lowering the bridge in relation to the river level, it was necessary to rebuild this bridge. After the reconstruction of the bridge, mining walls were extended beyond the object, in a short time there were significant changes in the position of the abutments. The article describes old bridge construction, new bridge construction, gives the results of long-term observations and measurements, and indicates how to design protection against mining influences in the case of unusual mining impacts.

Keywords: mining, area deformation, mining damage, bridge, bearings, expansion joints, measurements.

1. Wprowadzenie

Most położony jest w znacznym skosie do rzeki, a na terenach górniczych powinno się przekraczać przeszkody wodne pod kątem prostym. Obiekt przed przebudową znajdował się w rejonie nakładających się krawędzi ścian górniczych, stąd pomimo że w rejonie mostu prognozowane wskaźniki deformacji odpowiadały wysokiej – 4 kategorii terenu górniczego, to w miejscu obiektu odkształcenia powierzchniowe ε i zmiany krzywizny terenu k nie przekraczały pierwszej kategorii. Znaczne osiadanie terenu, które w przypadku typowych zabezpieczeń obiektów mostowych na wpływy górnicze jest pomijane w analizach, doprowadziło do konieczności przebudowy mostu z uwagi na zmniejszenie się światła pionowego pod mostem w sposób zagrażający zalewaniem obiektu przy intensywnych opadach deszczu. Po przebudowie obiekt został wyniesiony ponad ciek. Kopalnia zaplanowała wydłużenie ścian górniczych poza obiekt (do tej pory ściany górnicze kończyły się pod obiektem). Nowy most, według teorii Knothego-Budryka, znajdzie się w apogeum spełzań terenu.

2. Wpływ eksploatacji górniczej na most przed przebudową i po przebudowie

W Polsce eksploatacja górnicza prowadzona jest obecnie systemem „na zawał”, tzn. pustka po wybranym pokładzie węgla

nie jest wypełniana żadną podsadzką, dochodzi do kontrolowanego zawału likwidującego pustkę (np. [1, 2]). Nad wybranym pokładem tworzy się górnicza niecka osiadań (rys. 1). Nieckę według teorii Knothego-Budryka opisują nie tylko osiadania terenu w , ale także spełzania/rozpełzania terenu ε , promienie krzywizny terenu R , nachylenie terenu niecki T , przemieszczenia poziome punktów położonych w terenie u . Na zboczach niecki teren pochyła się.

W analizie oddziaływań górniczych na obiekty mostowe należy uwzględniać wielobryłowość mostów i wyniesienie zasadniczej ich części konstrukcyjnej (przęseł) ponad teren [3–5]. Wielobryłowość mostów wynika z wyraźnego wydzielenia niezależnych, sztywnych części, które mają w pewnym zakresie swobodę wzajemnego przemieszczania się. W mostach o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej są trzy takie bryły: dwa przyczółki i przęsło. Wskutek wyniesienia przęsła ponad teren i oparcia na podporach, a nie bezpośrednio na podłożu gruntowym, nie ma prostego przeniesienia wskaźników deformacji terenu na odkształcenia lub przemieszczenia ustroju nośnego mostu.

Z podłożem gruntowym powiązane są podpory, przęsło to łącznik pomiędzy podporami. Podpory nie tylko ulegają przemieszczeniu względem siebie, ale także zmienia się ich pochylenie. Wyniesienie przęsła nad teren powoduje, że zmiana nachylenia podpór może generować znaczne przemieszczenia w osi przęsła. Istotny w analizie wymuszeń

górnicych jest również układ łożysk, ponieważ łożyska nie tylko zapewniają swobodę odkształceń, ale także wiążą przęsło z podporą (np. łożysko stałe). To sprawia, że analiza zachowania się obiektów mostowych na terenach poddanych górnicych deformacjom wymaga innego podejścia, niż jest to praktykowane w przypadku budynków [1–7].

Na terenach górnicych najczęściej buduje się obiekty mostowe o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej, czyli takich obiekty, które dzięki posiadanej swobodzie kinematycznej mogą przenosić górnicych deformacje terenu w taki sposób, że nie dochodzi do powstania dodatkowych sił wewnętrznych (np. [4–5]). Oba omówione w artykule obiekty mostowe mają schemat statyczny belki swobodnie podpartej.

Podstawowy problem uwzględniany przez projektantów w przypadku przęseł płytowych czy belkowych opartych na łożyskach to dobór łożysk i urządzeń dylatacyjnych o określonym zakresie przemieszczeń oraz zaprojektowanie szczelin dylatacyjnych o odpowiedniej szerokości (np. [4–7]).

Obecnie w analizie wpływu eksploatacji górnicych na obiekty mostowe powszechnie stosowane są stare wytyczne napisane w 1976 roku pod kierunkiem prof. Rosikoniana [5]. W przypadku opisanym w przedmiotowym artykule ściany górnicych biegnęły w przybliżeniu równoległe do osi obiektu mostowego, przesunięcie podłużne przęsła względem podpory z łożyskami ruchomymi opisuje wzór (1) (według [5]):

$$\Delta l_p = \pm \left(\varepsilon + \frac{h}{R} \right) \quad (1)$$

gdzie:

l – odległość w [m] odpowiadająca w przybliżeniu odległości przyczółków,

h – wysokość podpory w [m], liczona od podstawy fundamentu,

$R = 1/k$ – promień krzywizny terenu w [km],

Δl_p – przesunięcie podłużne w poziomie przęsła w [mm].

W przypadku mostu przed przebudową ściany górnicych kończyły się pod mostem (rys. 1 – Most_1). Znaczne było osiadanie terenu, ale osiadania terenu nie są ujęte w opisie kategorii terenu górnicych. Według prognozy górnicych z 2000 roku rozpełzania terenu w okresie 2000–2020 powinny wynosić $\varepsilon \approx 1,5$ mm/m, promień krzywizny terenu miał wynosić $R \approx 40$ km. Wysokość przyczółków od poziomu posadowienia do powierzchni jezdni wynosiła ok. 6 m, odległość przyczółków ok. $l \approx 18$ m. Wyznaczone według wzoru (1) przemieszczenie przyczółka względem przęsła po stronie łożyska jednokierunkowego wyniosło $\Delta l_p = 29,4$ mm. Maksymalne zmierzone na łożyskach przemieszczenie było mniejsze i wynosiło ok. 25 mm. Obiekt osiadł według pomiarów geodezyjnych średnio ok. $w_{\text{zmierzone2000-2020}} = 3,1$ m; natomiast prognozowane średnie osiadanie wynosiło $w_{\text{prog}} = 4,4$ m. Zmierzone osiadanie i rozpełzanie terenu było mniejsze od prognozowanych, wpływ na taką sytuację może mieć efekt krawędzi ściany (ściany kończyły się w przybliżeniu pod mostem), gdzie niekiedy górnicych nie

może się swobodnie wykształcić. Wpływ na deformacje powierzchni terenu mogło mieć też rozciągnięcie przestrzeni pod mostem ciekim wodnym (np. [8–11]). Rozbieżność wyników wskazuje na potrzebę okresowej kontroli przymierzeń na łożyskach (np. [12–13]) i aktualizacji prognoz górnicych oraz ponownej analizy odporności mostu na wpływy górnicych (taka analiza wykonywana jest obecnie co trzy lata w ramach uzgadniania kolejnych trzyletnich Planów Ruchu Zakładu Górnicych) – awaria ([14]) wyniesionego nad teren obiektu mostowego to nie tylko powstanie istotnych trudności komunikacyjnych (np. [15]), ale także realna groźba zagrożenia zdrowia i życia użytkowników mostu.

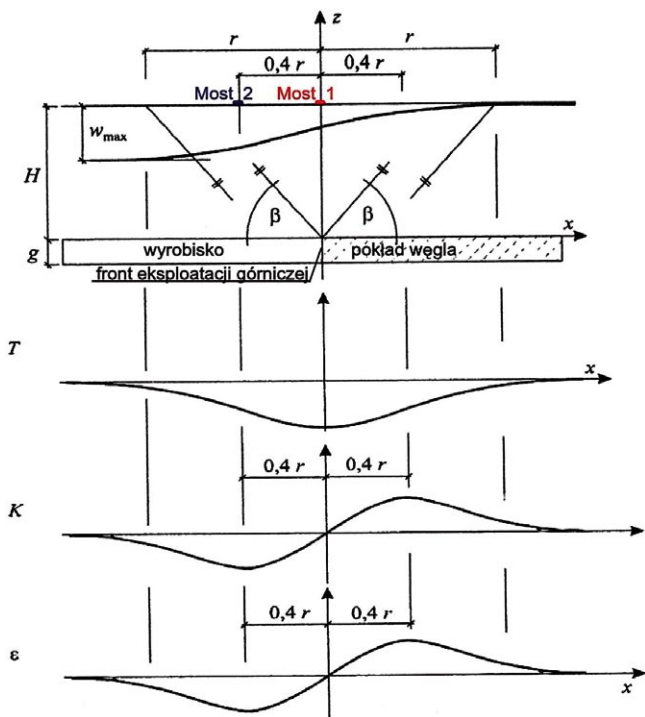
Most był zaprojektowany w spadku podłużnym zgodnym z prognozowaną zmianą nachylenia niwelety jezdni, zmiany nachylenia terenu były zbliżone do prognoz, stąd eksploatacja górnicych nie spowodowała istotnych zmian geometrii jezdni ani nie zmieniła zaprojektowanego powierzchniowego odwodnienia jezdni – projektując obiekty mostowe na terenach górnicych należy brać pod uwagę nie tylko przemieszczenia łożysk i zmiany szerokości szczelin dylatacyjnych, ale należy analizować wpływ eksploatacji górnicych na odprowadzenie wody z obiektów i jezdni. Znaczne osiadanie terenu doprowadziło do zmniejszenia światła pionowego pod mostem, woda przy intensywnych opadach zalewała spód przęsła – most mógł spowodować spiętrzenie wody, konieczna była przebudowa mostu.

Po przebudowie obiekt został znacznie wyniesiony ponad ciek, wybudowano strome najazdy o nachyleniu do 6%. Kopalnia analizowała wpływ eksploatacji górnicych na niweletę drogi i aby nie doszło do istotnego zwiększenia spadku na jednym z najazdów wydłużono ściany górnicych poza obiekt (do tej pory ściany górnicych kończyły się pod obiektem, jezdni pochylała się w jednym kierunku, tj. w stronę dochodzącej ściany). Po przebudowie most, według prognozy na lata 2021–2035, znajdzie się w rejonie, w którym ujawnią się, według teorii Knothego-Budryka, maksymalne dla danej eksploatacji górnicych spełzania terenu oraz maksymalna krzywizna (niekiedy wklęsła) (rys. 1 – Most_2). W latach 2021–2035 prognozowane są spełzania terenu $\varepsilon \approx 6,6$ mm/m, promień krzywizny terenu wynosi $R \approx 20$ km. Wysokość przyczółków od poziomu posadowienia do powierzchni jezdni wynosiła ok. 6 m, odległość przyczółków ok. $l = 22$ m. Wyznaczone według wzoru (1) przemieszczenie przyczółka względem przęsła po stronie łożyska jednokierunkowego: $\Delta l_p = 152$ mm. Wpływy termiczne to maksymalne wydłużenie przęsła o 10 mm. Całkowite przemieszczenie w kierunku spełzań może wynieść 162 mm.

Poniżej opisano most przed przebudową i po przebudowie oraz opisano wpływ eksploatacji górnicych na przedmiotowe obiekty mostowe, podano wyniki pomiarów i zamieszczono dokumentację fotograficzną.

Rozpatrywane w artykule analizy zabezpieczenia mostów na wpływy górnicych są nietypowe, obejmują analizę zmienności wskaźników deformacji względem frontu eksploatacji

górnictwej (krawędzi ściany) oraz zwracają uwagę na konieczność analizy zmiany aspektów hydrologicznych wskutek eksploatacji górnictwej w przypadku obiektów mostowych przekraczających ciek wodne.



Rys. 1. Wskaźniki deformacji terenu (wg [1]); schematyczne położenie mostu przed przebudową (Most_1) i po przebudowie (Most_2) względem krawędzi ścian górnictwej

3. Most przed przebudową

Przed przebudową most drogowy w ciągu drogi powiatowej nad rzeką Pszczynką w Krzyżowicach wykonany był jako jednoprzęsłowy (o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej). Całkowita długość przęsła wynosi ok. 17,80 m. W przęśle można wyróżnić trzy masywne prostokątne dźwigary żelbetowe belkowe, żelbetową płytę pomostową oraz żelbetowe wsporniki podchodnikowe. Przęsło oparte było na betonowych przyczółkach za pośrednictwem 6 łożysk elastomerowych z płytami ślizgowymi. Na przyczółku południowym znajdowało się jedno łożysko jednokierunkowo-przesuwne pod środkowym dźwigarem oraz łożyska wielokierunkowo-przesuwne pod dźwigarami skrajnymi. Na przyczółku północnym znajdowało się jedno łożysko stałe pod środkowym dźwigarem oraz łożyska wielokierunkowo-przesuwne pod dźwigarami skrajnymi. Jezdnia na moście miała szerokość ok. 6 m. Szerokość chodników wynosi 1,65 m. Brak specjalistycznych urządzeń dylatacyjnych, nad szczeliną dylatacyjną pomiędzy przęsłem i przyczółkiem wykonana była „dylatacja bitumiczna”. Odwodnienie jezdnia było powierzchniowe (grawitacyjne).

W okresie kwiecień 2001–czerwiec 2020 roku (tj. od poprzedniej przebudowy mostu, gdy m.in: wykonano nowe przyczółki, zamontowano nowe łożyska) osiadanie terenu wynosiło ok. 3,33 m po stronie północnej mostu i ok. 2,92 m po stronie południowej; przyczółki oddaliły się od siebie o ok. 2,5 cm (w podłożu wystąpiły niewielkie rozpełzania terenu do ok. $\epsilon = +1,4$ mm/m).

Rys. 2. Widok od strony wody górnej przed przebudową mostu



Rys. 3. Łożysko wielokierunkowe na przyczółku północnym (po stronie wody górnej) przed przebudową



Rys. 4. Łożysko jednokierunkowe na przyczółku południowym (pod środkowym dźwigarem) przed przebudową

Rys. 5. Widok na strefę dylatacji po stronie północnej przęsła przed przebudową mostu



Rys. 6. Urządzenie dylatacyjne cztero-modułowe na przyczółku południowym po przebudowie mostu

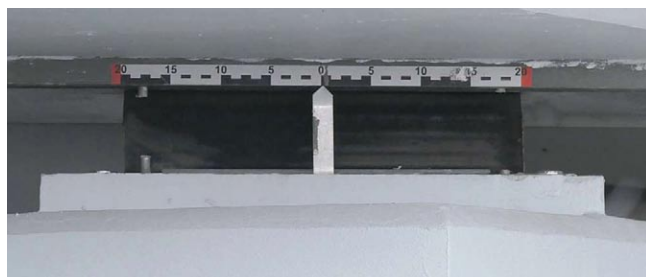


4. Most po przebudowie

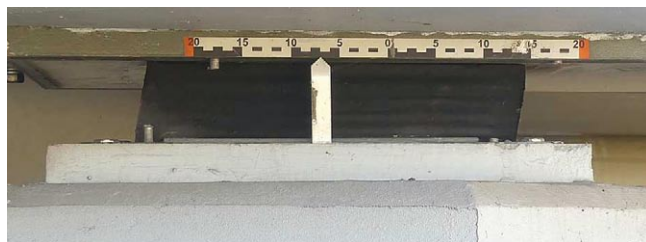
Nowy most drogowy wykonany jest jako jednoprzęsłowy (o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej). Całkowita długość przęsła wynosi ok. 21,7 m. W przęśle można wyróżnić trzynaście prefabrykowanych strunobetonowych dźwigarów typu T21. Nad podporami wykonano żelbetową poprzecznicę, w której utwierdzone (zabetonowane) są belki prefabrykowane T21. Szerokość całkowita mostu wynosi 12,60 m. Przęsło wykonane jest w skosie ok. 60° w stosunku do rzeki. Przęsło oparte jest na betonowych przyczółkach za pośrednictwem 4 łożysk garnkowych z płytami ślizgowymi. Na przyczółku południowym znajduje się jedno łożysko jednokierunkowo-przesuwne od strony wody górnej (w narożu rozwartym przęsła) oraz jedno łożysko wielokierunkowo-przesuwne po stronie wody dolnej (w narożu ostrym przęsła). Na przyczółku północnym znajduje się jedno łożysko stałe (nieprzesuwne) od strony wody górnej (w narożu ostrym przęsła) oraz jedno łożysko

wielokierunkowo-przesuwne po stronie wody dolnej (w narożu rozwartym przęsła). Na moście znajduje się jednojezdniowa droga o nawierzchni asfaltowej o dwóch pasach ruchu ($2 \times 3,75 = 7,5$ m) oraz chodnik i ścieżka rowerowa od strony wody dolnej. Przęsło od przyczółków oddzielają specjalistyczne modułowe urządzenia dylatacyjne – po stronie południowej przęsła wbudowano urządzenie cztero-modułowe o zakresie roboczym ± 160 mm, po stronie północnej przęsła (po stronie łożyska stałego) wbudowano urządzenie dwumodułowe o zakresie roboczym ± 80 mm. Na chodnikach szczeliny dylatacyjne przykrywają blachy stalowe. Odwodnienie jezdni jest powierzchniowe (grawitacyjne), dodatkowo w przęśle znajdują się kratki odwodnienia. Z krutek wody opadowe odprowadzane są w rurach PVC za przyczółki.

W okresie od budowy mostu we wrześniu 2021 do stycznia 2023 roku osiadanie terenu wyniosło ok. 0,40 m po stronie północnej mostu i ok. 0,31 m po stronie południowej; przyczółki oddaliły się od siebie o ok. 6,8 cm (ściana górnica zbliżyła się do obiektu).



Rys. 8. Łożysko wielokierunkowe na przyczółku południowym od strony wody dolnej po przebudowie (wrzesień 2021 rok)



Rys. 9. Łożysko wielokierunkowe na przyczółku południowym od strony wody dolnej po przebudowie (styczeń 2023 rok)

Rys. 7. Widok od strony wody dolnej po przebudowie mostu



5. Podsumowanie

Typowe projekty zabezpieczeń obiektów mostowych o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej dotyczą przede wszystkim wyznaczenia zakresów roboczych łożysk i urządzeń dylatacyjnych oraz doboru szerokości szczelin dylatacyjnych. W artykule wskazano, że należy analizować również zmiany nachylenia terenu na odwodnienie powierzchniowe jezdni i odprowadzenie wód opadowych z mostu. W przypadku obiektów mostowych położonych nad ciekami wodnymi analiza powinna obejmować wpływ lokalnego górniczego obniżenia terenu na hydrologię cieku, zwłaszcza na zmiany poziomu zwierciadła wody.

W artykule omówiono również wykresy teorii Knothego-Budryka, pokazano jak zmiana położenia mostu względem krawędzi ściany górniczej wpływa na relacje pomiędzy górnymi wskaźnikami deformacji – analiza funkcji odkształcenia powierzchniowego ε i krzywizny terenu k może pozwolić na takie planowanie eksploatacji górniczej, aby minimalizować wpływ tej eksploatacji na obiekty istotne dla infrastruktury komunikacyjnej.

Problem jest aktualny, ponieważ w dobie odchodzenia od węgla kamiennego nie buduje się nowych kopalń, stąd eksploatacja górnicza odsuwa się spod wyeksploatowanych terenów górniczych pod drogi i cieki wodne, tak aby omijać tereny intensywnej zabudowy bytowej i gospodarczej.

Literatura dotycząca zabezpieczania obiektów mostowych na wpływy górnicze jest uboga, współczesny projektant korzysta głównie z wytycznych napisanych w 1976 roku [5] oraz ewentualnie z książki prof. Rosikononia [4] z 1979 roku. Przedmiotowy artykuł może być wykorzystany/zaadaptowany w praktyce inżynierskiej w sposób bezpośredni lub pośredni, rozszerzając warsztat i świadomość projektanta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kawulok M., Szkodny górnicze w budownictwie, Wydawnictwa Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa, 2010
- [2] Kwiatek J., Obiekty budowlane na terenach górniczych. GIG, Katowice, 2007
- [3] Salamak M., Obiekty mostowe na terenach z deformującym się podłożem w świetle kinematyki brył, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2013
- [4] Rosikoń A., Budownictwo komunikacyjne na terenach objętych szkodami górniczymi, WKŁ 1979
- [5] Wytyczne techniczno-budowlane projektowania i wykonywania obiektów mostowych na terenach eksploatacji górniczej. Załącznik do Zarządzenia Ministra Komunikacji z dnia 23 września 1976, D.U. M.K nr 31, poz. 290
- [6] Bętkowski P., Elementy oceny bezpieczeństwa obiektów mostowych poddanych wpływowi eksploatacji górniczej, [w:] Obiekty budowlane na terenach górniczych. Aktualne problemy budownictwa na terenach górniczych i pogórnicych, Prace Naukowe, Monografie, 2021, tom 472, Instytut Techniki Budowlanej, str. 241–252
- [7] Bętkowski P., Selected bearing problems of old railway bridges located on mining areas in Poland. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, tom 471, 1757–8981, 2018, str. 1–10, doi: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/471/5/052068
- [8] Bętkowski P., Dostosowanie obiektów mostowych do obniżonego koryta rzek i potoków. Przegląd Górniczy, tom 70, 8/2014, str. 65–70
- [9] Majcherczyk T., Kryzia K., Majchrzak J., Mining influence in the area of the Pszczyńska river and the method of riverbed restoration, Technical Transactions, tom 116, 4/2019, str. 15–27
- [10] Gorol M., Poeksploatacyjne deformacje profilu rzeki Skutkujące powstaniem zawodnień terenu, Górnictwo i Geologia, tom 6, 4/2011, str. 9–26
- [11] Kawalec B., Problemy geotechniczne i górnicze występujące w dolinach rzek Kochłównki i Kłodnicy oraz potoku Chudowskiego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo, 80, 1995
- [12] Bętkowski P., Modeling of information on the impact of mining exploitation on bridge objects in BIM. E3S Web of Conferences, tom 36, 2018, 2267–2242, str. 1–8, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183601002>
- [13] Parkasiewicz B., Kadela M., Bętkowski P., Sieńko R., Bednarski Ł., Application of structure monitoring systems to the assessment of the behaviour of bridges in mining areas, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, tom 245, 032018, 1757-8981, str. 1–10, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/3/032018>
- [14] Bień J., Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych, WKŁ, Warszawa, 2010
- [15] Salamak M., Kłosek K., Bętkowski P., Grygierek M., Pradelok S., Projektowanie, budowa i zarządzanie infrastrukturą kolejową na terenach górniczych ze szczególnym uwzględnieniem kolejowych obiektów mostowych, INFRASTRUKCJA 2014, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji PIB, str. 205–217

68. Krynicka Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB Gliwice, 24–28 września 2023 r.



Konferencja Krynicka 2023



Wydział Budownictwa
Politechniki Śląskiej

Tradycyjnie konferencja składa się będzie z dwóch części: problemowej i ogólnej. Myślą przewodnią części problemowej 68. edycji konferencji będą **Wyzwania budownictwa na terenach górniczych, pogórnicych i zdegradowanych**. To szeroki temat, obejmujący nie tylko zagadnienia projektowania i wykonawstwa budynków i budowli w takich warunkach, ale także zagrożenia wynikające ze specyfiki terenów poprzemysłowych lub zdegradowanych w wyniku sposobu ich użytkowania oraz sposoby i możliwości efektywnego i bezpiecznego sposobu ich wykorzystania.

Przedmiotem części ogólnej konferencji będą następujące problemy naukowe:
Budownictwo hydrotechniczne • Budownictwo ogólne • Fizyka budowli • Geotechnika • Inżynieria materiałów budowlanych
• Inżynieria przedsięwzięć budowlanych • Inżynieria komunikacyjna: drogi, koleje, mosty • Inżynieria środowiska
• Konstrukcje betonowe • Konstrukcje metalowe • Mechanika konstrukcji i materiałów • Niezawodność konstrukcji

Biuro Konferencji: mgr inż. Marzena Gaura, mgr Małgorzata Lach – Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa
<https://www.polsl.pl/rb/krynica-gliwice-2023>, e-mail: konferencjakrynicka2023@polsl.pl