

Adam Marcysiak

University of Siedlce

ORCID: 0000-0002-3132-8565

e-mail: adam.marcysiak@uws.edu.pl

JEL Classification: L92

Agata Marcysiak

University of Siedlce

ORCID: 0000-0003-2534-9877

e-mail: agata.marcysiak@uws.edu.pl

WYBRANE ASPEKTY ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM W TRANSPORCIE KOLEJOWYM

SELECTED ASPECTS OF SAFETY MANAGEMENT IN RAIL TRANSPORT

<https://doi.org/10.34739/maj.2024.02.01>

Streszczenie: Zarządzanie bezpieczeństwem w transporcie kolejowym wymaga kompleksowego podejścia, które obejmuje regulacje prawne, zaawansowane technologie, szkolenia personelu oraz stałe monitorowanie liczby i struktury wypadków, incydentów i zdarzeń. Celem opracowania jest ukazanie zakresu zarządzania bezpieczeństwem w transporcie kolejowym. Analizy dokonano w oparciu o dane Urzędu Transportu Kolejowego oraz dane GUS. W opracowaniu analizie poddano liczbę i strukturę wypadków kolejowych, a także przyczyny powstawania wypadków, incydentów i zdarzeń kolejowych. Analizą objęto lata 2017-2022. Dokonana analiza wykazała, iż miernik wypadków, będący relacją liczby wypadków do wielkości pracy eksploatacyjnej, w latach 2017-2022 obniżył się z 2,56 do 1,89. Równocześnie w tym samym okresie liczba incydentów zwiększyła się z 1256 do 1642. Analiza statystyczna wykazała także, iż pomiędzy liczbą incydentów i zdarzeń kolejowych a pracą eksploatacyjną w kolejowym transporcie pasażerskim występuje istotna dodatnia korelacja. Inwestowanie w badania i rozwój nowych technologii i rozwiązania poprawiające bezpieczeństwo jest kluczowe dla ciągłego doskonalenia zarządzania bezpieczeństwem. Nowe technologie, takie jak sztuczna inteligencja i analiza danych, mogą znacznie poprawić zdolność do przewidywania i reagowania na zagrożenia. Osoby odpowiedzialne za organizację i funkcjonowanie transportu kolejowego powinny dążyć do ciągłego doskonalenia systemów zarządzania bezpieczeństwem.

Słowa kluczowe: zarządzanie bezpieczeństwem, transport kolejowy, wypadki, zapobieganie zdarzeniom kolejowym

Abstract: Rail transport safety management requires a comprehensive approach that includes legal regulations, advanced technologies, staff training and constant monitoring of the number and structure of accidents, incidents and events. The aim of the study is to show the scope of rail transport safety management. The analysis was carried out based on data from the Office of Rail Transport and the Central Statistical Office. The study analyzed the number and structure of rail accidents as well as the causes of accidents, incidents and rail events. The analysis covered the years 2017-2022. The analysis showed that the accident measure, which is the ratio of the number of accidents to the size of operational work, decreased from 2.56 to 1.89 in the years 2017-2022. At the same time, in the same period, the number of incidents increased from 1256 to 1642. The statistical analysis also showed that there is a significant positive correlation between the number of rail incidents and events and operational work in rail passenger transport. Investing in research and development of new technologies and solutions that improve safety is key to the continuous improvement of safety management. New technologies, such as artificial intelligence and data analysis, can significantly improve the ability to predict and respond to threats. Those responsible for the organization and operation of rail transport should strive to continuously improve safety management systems.

Keywords: safety management, rail transport, accidents, railway incident prevention

Wstęp

Transport kolejowy odgrywa kluczową rolę w nowoczesnych systemach transportowych, zapewniając efektywny i ekologiczny środek przemieszczania się dla milionów ludzi i towarów. Bezpieczeństwo w transporcie kolejowym jest priorytetem, ponieważ wypadki mogą mieć katastrofalne skutki (Nyszk, Paszkiewicz, Szela, Wołęjszo, 2014). Zarządzanie bezpieczeństwem w transporcie kolejowym wymaga kompleksowego podejścia, które obejmuje regulacje prawne, zaawansowane technologie, szkolenia personelu oraz stałe monitorowanie liczby i struktury wypadków, incydentów i zdarzeń (Jabłoński, Jabłoński, 2018). Umiejętne zarządzanie bezpieczeństwem w transporcie kolejowym jest kluczowym aspektem zapewniającym ochronę życia i zdrowia pasażerów oraz personelu, a także bezproblemowe funkcjonowanie systemów kolejowych.

Każdy rodzaj transportu, w tym także kolejowy, jest ściśle regulowany przez krajowe i międzynarodowe przepisy, które określają standardy bezpieczeństwa. W Unii Europejskiej przepisy te są koordynowane przez Europejską Agencję Kolejową (ERA), która dąży do harmonizacji standardów bezpieczeństwa w państwach członkowskich. W Polsce regulacje te nadzoruje Urząd Transportu Kolejowego (UTK). Przewoźnicy kolejowi muszą posiadać odpowiednie certyfikaty i licencje, które potwierdzają spełnianie wymogów bezpieczeństwa. Certyfikaty obejmują zarówno infrastrukturę, jak i tabor kolejowy oraz personel odpowiedzialny za operacje kolejowe (Lewiński, 2003).

Regularne przeprowadzanie analiz ryzyka jest kluczowym elementem systemów zarządzania bezpieczeństwem. Analizy te pozwalają na identyfikację potencjalnych zagrożeń oraz ocenę ich wpływu na bezpieczeństwo operacji kolejowych (Gawlak, 2023). Obejmuje to m.in. zarządzanie ruchem pociągów, utrzymanie infrastruktury i taboru, a także procedury awaryjne (Łukasik, Nowakowski, 2013).

Przegląd literatury

Transport kolejowy jest nie tylko jednym z najefektywniejszych środków transportu, ale również jednym z najbardziej bezpiecznych (Pilbeam, 2024). Wraz z rosnącą liczbą pasażerów i rosnącymi wymaganiami logistycznymi, kwestie bezpieczeństwa w transporcie kolejowym stają się coraz bardziej istotne (Łukasik, Nowakowski, Kuśmińska-Fijałkowska, 2014). Bezpieczeństwo w transporcie kolejowym jest kluczowym aspektem funkcjonowania tego sektora, mającym na celu ochronę pasażerów, pracowników oraz mienia. Obejmuje ono różne obszary, takie jak infrastrukturę, technologię, procedury operacyjne i regulacje prawne (Awad et al., 2023).

Infrastruktura kolejowa stanowi podstawę, na której opiera się cały system transportu kolejowego. Jej jakość, stan techniczny oraz sposób zarządzania mają bezpośredni wpływ na poziom bezpieczeństwa (Nedeliaková et al., 2023). Infrastruktura obejmuje nie tylko same tory, ale także mosty, tunele, wiadukty, stacje oraz systemy sygnalizacji i zarządzania ruchem. Stan torów kolejowych jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na bezpieczeństwo. Uszkodzenia takie jak pęknięcia, deformacje czy niewłaściwe ułożenie torów mogą prowadzić do wykolejeń, które są jednymi z najpoważniejszych zagrożeń w transporcie kolejowym. Regularne inspekcje, konserwacja oraz modernizacje torowisk są niezbędne, aby utrzymać ich odpowiednią jakość. Nowoczesne technologie, takie jak systemy monitorowania stanu torów za pomocą sensorów, umożliwiają wczesne wykrywanie potencjalnych problemów i zapobieganie wypadkom (Novales et al., 2019).

Regularne inspekcje strukturalne oraz testy obciążeniowe dokonywane na mostach i tunelach są niezbędne, aby zapewnić, że te elementy infrastruktury są w dobrym stanie technicznym. Zaniedbania w tej kwestii mogą prowadzić do poważnych w skutkach awarii, które narażają na niebezpieczeństwo pasażerów i pracowników kolei (Cao et al., 2024).

Stacje kolejowe to miejsca, gdzie koncentruje się ruch pasażerski. Ich infrastruktura musi być zaprojektowana w sposób, który zapewnia bezpieczeństwo zarówno podczas wsiadania i wysiadania z pociągów, jak i podczas przebywania na terenie stacji. Nowoczesne rozwiązania, takie jak automatyczne bramki na peronach czy systemy monitoringu, zwiększają poziom bezpieczeństwa na stacjach kolejowych (Bondarabadi et al., 2023).

Systemy sygnalizacji i zarządzania ruchem są kluczowe dla bezpieczeństwa operacyjnego kolei. Nowoczesne systemy, takie jak ETCS (European Train Control System), umożliwiają automatyczne monitorowanie i kontrolowanie ruchu i pozycji pociągów oraz automatyczne przekazywanie informacji między pociągami a centrami kontrolnymi. Systemy tego typu pozwalają na dynamiczne dostosowywanie prędkości pociągów do aktualnych warunków na torach, a także automatyczne zarządzanie sygnalizacją, co znacznie redukuje ryzyko kolizji (Hadj-Mabrouk, 2020). Zaawansowane technologie komunikacyjne pozwalają na bieżąco przekazywać informacje do centrów zarządzania ruchem, co umożliwi szybkie reagowanie na wszelkie niebezpieczne sytuacje. W rezultacie możliwe jest znaczne zwiększenie bezpieczeństwa i efektywności operacji kolejowych (Awad et al., 2023).

Technologia odgrywa kluczową rolę w podnoszeniu poziomu bezpieczeństwa w transporcie kolejowym (Kang, 2024). Jednym z najważniejszych osiągnięć technologicznych w transporcie kolejowym są systemy automatycznego sterowania pociągami (ATO – Automatic Train Operation). Te zaawansowane systemy umożliwiają automatyczne prowadzenie pociągów, minimalizując ryzyko błędów ludzkich. System ATO zapewnia precyzyjne kontrolowanie prędkości pociągu, automatyczne hamowanie oraz dokładne zatrzymywanie się na stacjach. Dzięki temu zmniejsza się ryzyko kolizji, przekroczenia prędkości czy wykolejenia, co znacząco podnosi poziom bezpieczeństwa (Vivek et al., 2024).

Systemy wykrywania przeszkód na torach, takie jak LIDAR (Light Detection and Ranging) i radar, znacząco podnoszą poziom bezpieczeństwa poprzez automatyczne wykrywanie i ostrzeganie przed obiektami znajdującymi się na torach. Te technologie są szczególnie przydatne w obszarach o dużym ryzyku wtargnięcia na tory, takich jak przejazdy kolejowe i obszary miejskie (Gholamizadeh et al., 2024). Systemy te mogą automatycznie zatrzymać pociąg lub ostrzec maszynistę o zagrożeniu, co zmniejsza ryzyko kolizji.

Nowoczesne technologie komunikacyjne takie jak GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railway), umożliwiają bezpieczną i niezawodną komunikację między pociągami a centrami kontrolnymi. System GSM-R zapewnia stabilne połączenie nawet w trudnych warunkach, co jest kluczowe dla efektywnego zarządzania ruchem i szybkie reagowanie na wszelkie sytuacje awaryjne (Zuo, 2022). System ten dodatkowo wspiera także komunikację między załogą pociągu a służbami ratunkowymi w przypadku wypadków. Dzięki takim innowacyjnym rozwiązaniom technologicznym możliwe jest skuteczne monitorowanie, zarządzanie i zabezpieczanie infrastruktury oraz operacji kolejowych (Novales et al., 2019).

Modernizacja infrastruktury kolejowej oraz inwestycje w nowe technologie są niezbędne dla zapewnienia najwyższego poziomu bezpieczeństwa (Han et al., 2021). Projekty modernizacyjne obejmują także wymianę starych torowisk, budowę nowych mostów i tuneli, a także wdrażanie nowoczesnych systemów zarządzania ruchem. Wiele krajów inwestuje znaczne środki w rozwój swojej infrastruktury kolejowej, zdając sobie sprawę, że jest to kluczowe do bezpiecznego i efektywnego transportu kolejowego (Hlavatý & Ližbetin, 2021).

Materiał i metody

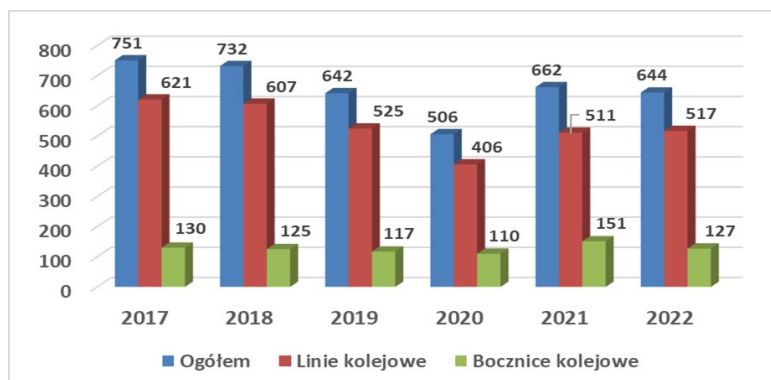
Celem opracowania jest ukazanie zakresu zarządzania bezpieczeństwem w transporcie kolejowym. Analizy dokonano w oparciu o dane Urzędu Transportu Kolejowego oraz dane GUS. UTK został utworzony 1 czerwca 2003 r. w drodze przekształcenia Głównego Inspektoratu Kolejnictwa. Jednym z głównych obszarów działań powstałego urzędu poza monitorowaniem wielkości i struktury przewozów kolejowych jest zajmowanie się bezpieczeństwem i regulacją rynku kolejowego oraz prawami pasażerów. W opracowaniu analizie poddano liczbę i strukturę wypadków kolejowych a także przyczyny powstawania wypadków i zdarzeń kolejowych. Liczbę wypadków rozpatrywano w podziale na te powstałe na liniach kolejowych i bocznicach. Istotną częścią analizy było odniesienie liczby wypadków kolejowych do wielkości pracy eksploatacyjnej w transporcie pasażerskim i towarowym. Obliczony w ten sposób miernik wypadków umożliwia obiektywną ocenę poziomu bezpieczeństwa systemu kolejowego. Analizą objęto lata 2017-2022. W odniesieniu do przyczyn zdarzeń z uwzględnieniem występowania czynnika ludzkiego i technicznego analizą objęto lata 2019-2022.

Dla uchwycenia zależności pomiędzy parametrami charakteryzującymi zakres bezpieczeństwa a wielkość aktywności w transporcie kolejowym posłużono się analiza statystyczną wykorzystując rachunek

korelacji. Po weryfikacji merytoryczno-logicznej do rachunku korelacji, z obszaru bezpieczeństwa, uwzględniono liczbę wypadków na liniach kolejowych i bocznicach oraz liczbę incydentów i zdarzeń kolejowych a także miernik wypadków. Aktywność w transporcie kolejowym charakteryzowały takie parametry jak: wielkość pracy przewozowej w tkm i pkm, wielkość pracy eksploatacyjnej w liczbie pociągo-kilometrów, średnia odległość przewozów w transporcie pasażerskim i towarowym oraz wskaźnik wykorzystania kolei obliczony jako liczba przejazdów przypadająca na jednego pasażera w ciągu roku.

Wyniki i dyskusja

Wypadki w transporcie kolejowym nie należą do najczęstszych zdarzeń, jednak wpływają w znacznym stopniu na funkcjonowanie kolei. Konsekwencjami wypadków są osoby zabite lub ciężko ranne. Prowadzą one także do uszkodzeń taboru lub infrastruktury (Hadj-Mabrouk, 2020; Gawlak, 2023). W 2022 r. na liniach i bocznicach kolejowych odnotowano w sumie 644 wypadki, z czego 517 miało miejsce na liniach, a 127 na bocznicach. W porównaniu do 2021 r. ogólna liczba wypadków spadła o 2,7%, przy czym na liniach kolejowych nastąpił wzrost o 1,2%. Jednocześnie na bocznicach kolejowych liczba wypadków spadła o 15,9%. Parametr ten na bocznicach osiągnął największą wartość w 2021 r., a zauważalny spadek do poziomu z 2018 r. należy uznać za zjawisko korzystne (rysunek 1).



Rysunek 1. Zmiany liczby wypadków kolejowych w latach 2017-2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie Sprawozdanie ze stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego za poszczególne lata UTK Warszawa

W latach 2017-2020 następował systematyczny spadek liczby wypadków na liniach kolejowych (z 621 do 405). Niewielki wzrost ich liczby miał miejsce w roku 2021 i roku 2022 (do poziomu 517). Aby w sposób właściwy ocenić zaistniałą sytuację należy jednak porównać liczbę zaistniałych wypadków z wykonaną w danym roku pracą eksploatacyjną. W 2020 na wskutek epidemii koronawirusa praca eksploatacyjna wyniosła tylko 237,8 mln pociągo-kilometrów. Po odbudowie rynku przewozów kolejowych wielkość ta wzrosła w kolejnych dwóch latach odpowiednio do 259,8 i 273,1 mln pociągo-kilometrów.

Wypadki scharakteryzowane są na podstawie klasyfikacji określonej w ustawie o transporcie kolejowym. Dzieli się je na kolizje, wykolejenia, zdarzenia na przejazdach, zdarzenia z udziałem osób spowodowane przez pojazd kolejowy będący w ruchu, pożar pojazdu kolejowego (tabela 1). W latach 2017-2022 na sieci kolejowej najczęściej dochodziło do wypadków na przejazdach oraz z udziałem osób i poruszających się pojazdów kolejowych. Stanowiły one łącznie ponad 65% wszystkich wypadków. Do tej drugiej grupy zaliczane są wypadki kat. B34 tj. „Najechanie pojazdu kolejowego na osoby podczas przechodzenia przez tory poza przejazdami kolejowo-drogowymi lub przejściami na stacjach i szlakach” Ich udział w grupie stanowił około 95% ogółu zdarzeń.

Na bocznicach kolejowych, w każdym z analizowanych lat dominowały wykolejenia i kolizje pojazdów kolejowych. W 2022 roku stanowiły one łącznie 92,9% wszystkich wypadków. Dla porównania na sieci kolejowej udział tych dwóch rodzajów wypadków w ogólnej ich liczbie stanowił tylko 27,7%. Wypadki na przejazdach kolejowo-drogowych i przejściach oraz wypadki z udziałem osób i poruszających się pojazdów

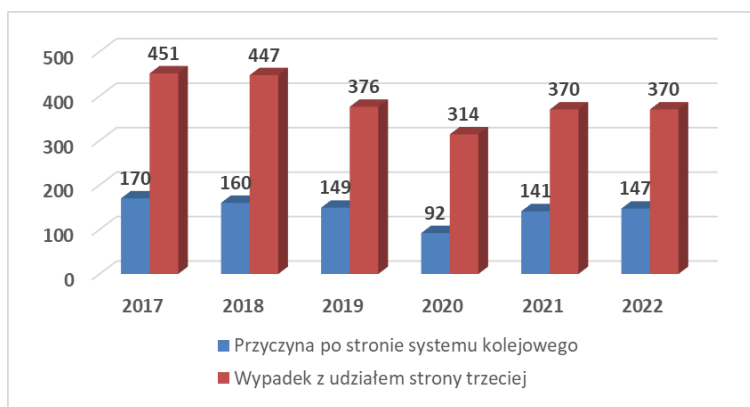
kolejowych na bocznicach kolejowych stanowiły jedynie 7,1%. Struktura wypadków na bocznicach odzwierciedla specyfikę występującej tam infrastruktury. Stan infrastruktury na bocznicach bywa często gorszy od tego na sieci kolejowej. Z kolei stosunkowo niewielkie prędkości jazdy zmniejszają ryzyko wystąpienia zdarzeń na przejazdach czy wypadków z udziałem osób.

Tabela 1. Liczba i struktura wypadków na linii kolejowej w podziale na rodzaje zdarzeń w latach 2017-2022

Rodzaje zdarzeń	Liczba zdarzeń w sztukach						Struktura w %					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Kolizje	85	57	57	37	43	38	13,7	9,4	10,9	9,1	8,4	7,4
Wykolejenia	108	103	105	64	103	105	17,4	17,0	20,0	15,8	20,2	20,3
Wypadki na przejazdach	214	215	199	169	216	181	34,5	35,4	37,9	41,6	42,3	35,0
Wypadki z udziałem osób i poruszających się pojazdów kolejowych	207	224	161	136	144	182	33,3	36,9	30,6	33,5	28,2	35,2
Pożary pojazdu kolejowego	1	5	1	0	2	8	0,1	0,8	0,2	0	0,4	1,5
Pozostałe	6	3	2	0	0	3	1,0	0,5	0,4	0	0	0,6
Łączna liczba	621	607	525	406	511	517	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Źródło: obliczenia własne na podstawie Sprawozdanie ze stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego UTK Warszawa za poszczególne lata oraz raportów Transport – wyniki działalności. GUS Warszawa za poszczególne lata

Zdarzenia w transporcie kolejowym określane jako wypadki można sklasyfikować w zależności od tego, czy przyczyna ich powstania leży wyłącznie po stronie systemu kolejowego, czy też zaistniały na styku pomiędzy systemem kolejowym i stroną trzecią (rysunek 2).



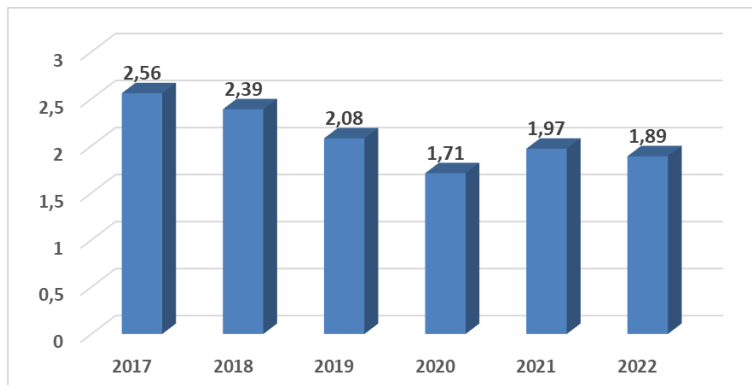
Rysunek 2. Zmiany liczby wypadków kolejowych według przyczyn powstania w latach 2017-2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie Sprawozdanie ze stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego za poszczególne lata UTK Warszawa

Analiza danych za lata 2017-2022 wskazuje, że zdecydowaną dominację posiadały wypadki z udziałem strony trzeciej. W każdym z analizowanych lat było ich ponad dwukrotnie więcej niż wypadków, gdzie przyczyna znajdowała się po stronie systemu kolejowego. W 2022 r. na sieci kolejowej miało miejsce 370 wypadków z udziałem strony trzeciej. Stanowiły one 71,6% ogółu wypadków. Zginęło w nich 165 osób, a 46 zostało ciężko rannych. Grupa ta obejmowała wypadki na przejazdach kolejowo-drogowych i przejściach przez tory, wypadki z udziałem osób znajdujących się na torach w miejscach niedozwolonych oraz wypadki z udziałem osób, związane z ruchem pojazdu kolejowego.

Ocenę obiektywną poziomu bezpieczeństwa systemu kolejowego zapewnia odniesienie liczby zaistniałych w danym roku wypadków na liniach kolejowych do wykonanej przez przewoźników kolejowych pracy eksploatacyjnej. Najczęściej spotykaną zależnością jest to, iż im więcej pociągów porusza się po sieci

kolejowej oraz im większa jest pokonywana przez nie odległość, tym większe ryzyko powstania wypadku (Hadj-Mabrouk, 2020). Miernik wypadków pozwala na uwzględnienie tych właśnie warunków (rysunek 3).

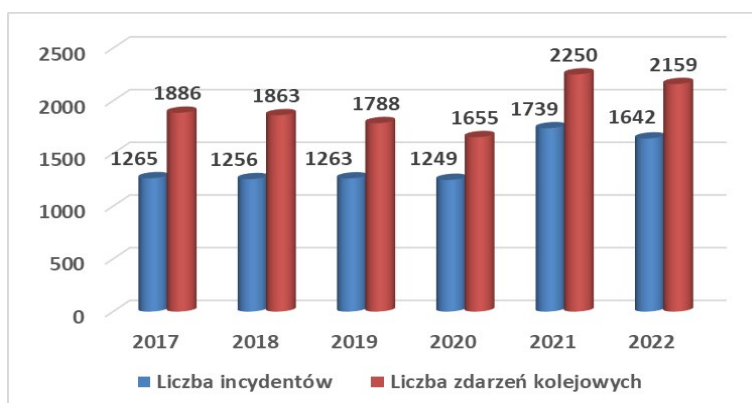


Rysunek 3. Miernik wypadków kolejowych w latach 2017-2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie Sprawozdanie ze stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego za poszczególne lata UTK Warszawa

W latach 2017-2019 wielkość miernika zmniejszyła się z 2,56 do 2,08. W roku 2020, będącym rokiem pojawienia się koronawirusa oraz redukcji społecznej aktywności człowieka, liczba wypadków w stosunku do roku poprzedniego zmniejszyła się o 22,7%. Równocześnie praca eksploatacyjna podlegała redukcji jedynie o 5,9%. W konsekwencji miernik wypadków kolejowych zmniejszył się do poziomu 1,71. Rok ten był szczególny i wymaga też specyficznego traktowania. W roku 2021 wzrosła zarówno liczba wypadków jak i praca eksploatacyjna. Wskaźnik wypadków wyniósł 1,97. Był jednak niższy niż w roku 2019. W 2022 roku liczba wypadków na sieci kolejowej zwiększyła się o 1,2%, podczas gdy wielkość pracy eksploatacyjnej wzrosła o 5,1%. W efekcie miernik wypadków zmalał osiągając wartość 1,89, tj. o 0,08 mniej niż w 2021 r. Utrzymana została zatem tendencja spadkowa miernika w stosunku do lat 2017-2019.

Obok wypadków wśród zdarzeń kolejowych istotnym elementem są incydenty (Gholamizadeh et al., 2024). Tak określane jest każde zdarzenie, inne niż wypadek lub poważny wypadek, mające wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego (rysunek 4).



Rysunek 4. Zmiany liczby incydentów i zdarzeń kolejowych w latach 2017-2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie Sprawozdanie ze stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego za poszczególne lata UTK Warszawa

Incydenty stanowią dominującą grupę zdarzeń kolejowych (Novales et al., 2019). W przeważającej liczbie występują one na liniach kolejowych. W odróżnieniu od wypadków incydenty nie niosą ze sobą skutków w postaci osób zabitych lub ciężko rannych. Nie powodują też znacznych szkód materialnych. Z punktu widzenia aspektów zarządzania bezpieczeństwem w transporcie kolejowym warto zauważyć, że w niesprzyjających okolicznościach mogą one skutkować wypadkiem (Hlavatý & Ližbetin, 2021). Incydenty

wskazują zatem potencjalne źródła zagrożenia i pozwalają identyfikować obszary działalności podmiotów kolejowych, w których istniejące ryzyka są najściślej kontrolowane (Kang, 2024).

Analiza liczby incydentów w latach 2017-2022 wskazuje, że najwyższa ich liczba miała miejsce w 2021 r. (1739 incydenty). W 2022 r. miało miejsce 1642 incydentów, (spadek o 5,6%). W sumie w 2022 r. było ich o około 31% więcej w stosunku do średniej z lat 2017 - 2020, kiedy liczba tego typu zdarzeń utrzymywała się na poziomie około 1250 zdarzeń rocznie. Rachunek korelacji potwierdził ponadto istotną zależność występującą pomiędzy liczbą incydentów i zdarzeń kolejowych a pracą eksploatacyjną w kolejowym transporcie pasażerskim.

W strukturze najwięcej incydentów na sieci kolejowej zostało odnotowanych w kategorii C64, dotyczącej złośliwych, chuligańskich lub lekkomyślnych występów, dewastacji urządzeń energetycznych, łączności, sterowania ruchem kolejowym lub zdarzeń w obrębie przejazdów kolejowo-drogowych z udziałem pojazdów drogowych. W przypadku tych ostatnich udział ich w tej kategorii wynosił prawie 80%. Incydent ten polegał na tym, że kierowcy najczęściej wjeżdżali na przejazd przy zamykających się rogatkach i pozostawali między nimi. Zasadnicza różnica między tego rodzaju incydem, a wypadkiem polegała jedynie na tym, że nie dochodziło w nim do kontaktu pojazdu drogowego i kolejowego na wskutek wcześniejszego zatrzymania przez maszynistę pociągu przed przeszkodą.

Kolejną, drugą co do liczebności, kategorią incydentów oznaczoną jako C68 i jest rozerwanie pociągu lub składu manewrowego niepowodujące zbiegnięcia wagonów. W 2022 r. na liniach kolejowych miały miejsce 242 incydenty tej kategorii. Było to o 11,4% mniej niż w 2021 r.oku. W całym analizowanym okresie widoczna była tendencja spadkowa liczby tych zdarzeń. Trzecią grupę incydentów stanowiły zdarzenia związane z uszkodzeniem lub złym stanem technicznym taboru. Stwierdzane one były na skutek wskazań przez urządzenia detekcji lub były zauważone przez personel obsługi. W konsekwencji powodowały one konieczność wyłączenia taboru z ruchu. Na przestrzeni lat 2017-2022 udział tego typu zdarzeń w strukturze ogółu incydentów zmalał jednak z 19,8% do 12,1%.

Zakres czynników wpływających na wielkość zdarzeń kolejowych jest zróżnicowany. Ich liczebność związana jest w dużym stopniu z natężeniem ruchu kolejowego, a także drogowego i pieszego (Łukasik, Nowakowski, Kuśmińska-Fijałkowska, 2014). Zarówno w ciągu roku jak i w ciągu doby zdarzenia kolejowe nie są rozłożone równomiernie. Do części zdarzeń mogą przyczyniać się też warunki pogodowe oraz widoczność związana z porą dnia.

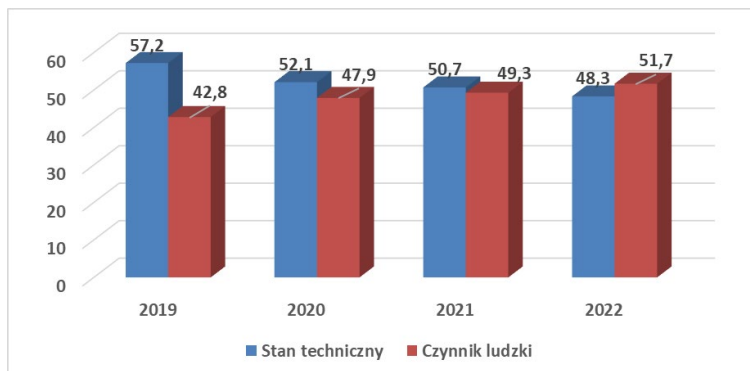
Łącznie w latach 2017–2022 najmniejsza liczba zdarzeń miała miejsce na początku i na końcu roku – w styczniu (832 zdarzeń) i w grudniu (865 zdarzenia) oraz w kwietniu (853 zdarzeń). W ciągu sześciu analizowanych lat najwięcej zdarzeń przypada na okres od czerwca do października (powyżej 960 zdarzeń). W 2022 r. najwięcej zdarzeń wystąpiło w okresie letnim (lipiec i sierpień) oraz jesiennym (październik i listopad). W ciągu tych 4 miesięcy miało miejsce łącznie 820 z 2 118 zdarzeń na sieci kolejowej, czyli 38,7%. Z kolei w styczniu, wrześniu i grudniu 2022 r. odnotowane zostały najniższe liczby zdarzeń kolejowych. Najmniej wypadków i incydentów odnotowano w styczniu 2022 r. – 137 zdarzeń.

Analizując godziny wystąpienia zdarzeń w transporcie kolejowym w latach 2017-2022, najwięcej zdarzeń miało miejsce w 16. oraz 17. godzinie doby. W poszczególnych latach większość zdarzeń występowała w godzinach popołudniowych i wieczornych. Na drugą połowę doby, czyli od 13. do 24. godziny przypadało 60% wszystkich zdarzeń. Jako przyczynę takiego rozkładu należy wskazać większą aktywność społeczną występującą po godzinie 12-tej, podczas gdy 12 początkowych godzin doby to w dużej mierze okres wypoczynku.

Dla skutecznego zarządzania ryzykiem związanym z powstawaniem zdarzeń kolejowych niezbędną jest stała analiza przyczyn ich powstawania oraz na jej podstawie właściwe wyciąganie wniosków (Zuo, 2022). Wiedza pozyskiwana w trakcie takiej analizy pozwala na właściwe identyfikowanie obszarów problematycznych i powinna być wykorzystywana do określania skutecznych środków zapobiegających ponownemu wystąpieniu podobnego wypadku lub incydemu (Jabłoński, Jabłoński, 2018).

Zdarzenia kolejowe rzadko bywają następstwem tylko jednej przyczyny. Najczęściej są skutkiem zaistnienia wielu powiązanych ze sobą przyczyn. W większości przypadków możliwe jest wskazanie czynnika

dominującego. Podziału przyczyn zdarzeń kolejowych dokonuje się w podziale na dwie grupy. Grupa pierwsza dotyczy niewłaściwych działań człowieka i związana jest z czynnikiem ludzkim. Obejmuje ona między innymi naruszenia zasad lub przepisów, pomyłki lub zapomnienia. Grupa druga obejmuje przyczyny wynikające z niewłaściwego stanu technicznego urządzeń lub pojazdów oraz uszkodzeń infrastruktury kolejowej (rysunek 5).



Rysunek 5. Struktura zdarzeń kolejowych według przyczyn powstania w latach 2019-2022

Źródło: obliczenia własne na podstawie Sprawozdanie ze stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego za poszczególne lata UTK Warszawa

W latach 2019-2022 udział zdarzeń kolejowych zaistniałych z przyczyn leżących wyłącznie po stronie systemu kolejowego zmalał z 57,2% do 48,3%. Wynikała to bezpośrednio z działań modernizacyjnych prowadzonych w obszarze infrastruktury kolejowej. W zakresie niekorzystnego oddziaływania czynnika ludzkiego w trakcie badania przez komisje przyczyn zdarzeń kolejowych najczęściej stwierdza się nieprzestrzeganie przepisów lub niewłaściwą obsługę. Należy podkreślić, iż dokładne i szczegółowe ustalenie powodów zaistnienia danej sytuacji jest niezwykle trudne. Należy wówczas wykorzystać wiedzę z obszaru czynników ludzkich i organizacyjnych. Takie działanie umożliwi właściwe zapobieganie sytuacjom niebezpiecznym.

Przyczyn leżących po stronie stanu technicznego można upatrywać głównie w liczbie zdarzeń związanych ze stanem eksploatowanych przez przewoźników pojazdów kolejowych, w szczególności wagonów towarowych. Średni ich wiek w zależności od rodzaju wynosił od 23,7 do 43,5 roku. Dla zmniejszenia udziału stanu technicznego jako przyczyny zdarzeń kluczowe jest więc kontynuowanie działań związanych z likwidacją wyeksploatowanych pojazdów kolejowych oraz wprowadzaniem nowego taboru.

Podsumowanie

Zarządzanie bezpieczeństwem w transporcie kolejowym to złożony proces wymagający współpracy wielu różnych podmiotów oraz ciągłego dostosowywania się do nowych wyzwań i technologii. Kluczowe elementy tego procesu obejmują ramy regulacyjne, systemy zarządzania bezpieczeństwem, technologie i infrastrukturę, szkolenia, monitorowanie, zarządzanie incydentami oraz współpracę międzynarodową. Inwestowanie w innowacje i ciągłe doskonalenie jest niezbędne dla zapewnienia, że systemy kolejowe będą bezpieczne i niezawodne w przyszłości.

Dokonana analiza wykazała, iż miernik wypadków, będący relacją liczby wypadków do wielkości pracy eksploatacyjnej, w latach 2017-2022 obniżył się z 2,56 do 1,89. Równocześnie w tym samym okresie liczba incydentów zwiększyła się z 1256 do 1642. Analiza statystyczna wykazała także, iż pomiędzy liczbą incydentów i zdarzeń kolejowych a pracą eksploatacyjną w kolejowym transporcie pasażerskim występuje istotna dodatnia korelacja.

Inwestowanie w badania i rozwój nowych technologii i rozwiązań poprawiających bezpieczeństwo jest kluczowe dla ciągłego doskonalenia zarządzania bezpieczeństwem. Nowe technologie, takie jak sztuczna inteligencja i analiza danych, mogą znacznie poprawić zdolność do przewidywania i reagowania na zagrożenia.

Systematyczne przeglądy i aktualizacje procedur oraz technologii w oparciu o najnowsze osiągnięcia i dane z monitoringu są niezbędne dla utrzymania wysokiego poziomu bezpieczeństwa. Osoby odpowiedzialne za organizację i funkcjonowanie transportu kolejowego powinny dążyć do ciągłego doskonalenia systemów zarządzania bezpieczeństwem.

Infrastruktura kolejowa odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa transportu kolejowego. Regularne inspekcje, konserwacja, modernizacje oraz inwestycje w nowe technologie są niezbędne, aby minimalizować ryzyko wypadków i incydentów. Dzięki temu pasażerowie mogą podróżować bez obaw, a transport towarów może odbywać się sprawnie i bezpiecznie.

References

- Awad, F.A., Graham, D.J., Singh, R., AitBihiOuali, L. (2023). Predicting urban rail transit safety via artificial neural networks. *Safety Science*, 167, 106282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106282>.
- Bondarabadi, M.A., Rahimi, H., Arefkhani, H., Kashani, A.T. (2023). A new approach to assess safety performance of rail regions with an emphasis on the resources and equipment of each region. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 25, 100371. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2023.100371>.
- Cao, Y., Liu, Y., Sun, Y., Su, S., Wang, F. (2024). Enhancing rail safety through real-time defect detection: A novel lightweight network approach. *Accident Analysis & Prevention*, 203, 107617. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107617>.
- Gawlak, K. (2023). Analysis and assessment of the human factor as a cause of occurrence of selected railway accidents and incidents. *Open Engineering*, 13(1), 20220398. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/eng-2022-0398>
- Gholamizadeh, K., Pamucar, D., Moslem, S., Basiri, P., Esztergár-Kiss, D., Mohammadfam, I. (2024). Decoding rail derailments: Unraveling the weighted factors influencing safety and sustainability using the best-worst method. *Results in Engineering*, 23, 102539. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102539>.
- GUS. (2023). *Transport-wyniki działalności 2022*, Warszawa.
- Hadj-Mabrouk, H. (2020). Application of Case-Based Reasoning to the safety assessment of critical software used in rail transport. *Safety Science*, 131, 104928. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104928>.
- Han, S., Wang, W., Liu, X. (2021). A new type-2 fuzzy multi-criteria hybrid method for rail transit operation safety assessment. *Applied Soft Computing*, 113, 107927. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107927>.
- Hlavatý, J., Ližbetin, J. (2021). Innovation in Rail Passenger Transport as a Basis for the Safety of Public Passenger Transport. *Transportation Research Procedia*, 53, 98–105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.013>.
- Jabłoński, A. Jabłoński, M (2018), *Mechanizmy efektywnego zarządzania bezpieczeństwem w transporcie kolejowym* Warszawa CeDeWu.
- Kang, L. (2024). Exploring a data-driven framework for safety performance management: A theoretical investigation at the enterprise level. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 91, 105384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2024.105384>.
- Lewiński, A. (2003). Safety of decentralised computer systems for railway transport management and control. *Archives of Transport*, 15(2) , pp. 75-93.
- Łukasik Z., Nowakowski W. (2013). Zarządzanie bezpieczeństwem w transporcie kolejowym, *Infrastruktura Transportu*, nr 6, 46-48.
- Łukasik Z., Nowakowski W., Kuśmińska-Fijałkowska A. (2014). Zarządzanie bezpieczeństwem infrastruktury krytycznej, *Logistyka* 4, 758-763,
- Nedeliaková, E., Valla, M., Kubalák, S. (2023). Transport Market and Status of Rail Freight Transport in the Context of Liberalization of Services. *Transportation Research Procedia*, 74, 202-209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.135>.
- Novales, M., Bertrand, D., Fontaine, L. (2019). A proposed new approach to light rail safety management in Spain and other countries. *Safety Science*, 118, 740-751. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.010>.
- Nyszk, W. Paszkiewicz, J. Szeląg, K., Wołeszo, J. (red.). (2014). *Zarządzanie bezpieczeństwem w transporcie kolejowym*. Warszawa: Akademia Obrony Narodowej.
- Pilbeam, C. (2024). Practices and challenges of safety management in outsourced facilities management. *Journal of Safety Research*, 90, 144-162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.06.011>.
- UTK. (2023). *Sprawozdanie z funkcjonowania rynku kolejowego w 2022 roku*. Warszawa.
- Vivek, A.K., Gupta, S., Khan, T., & Mohapatra, S.S. (2024). Strategies to mitigate safety and associated problems at gated rail road grade crossing: A structural equation modelling approach. *Transport Policy*, 146, 19–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.11.002>.
- Zuo, L. (2022). Public safety risk prediction of urban rail transit by using Network node detection and machine learning. *Optik*, 170464. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.170464>.