

Kacper Lipski✉

Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki

## **Linie okrężne jako element optymalizacji systemu kolei pasażerskiej w ujęciu Lean Management**

### **Circular railway lines as an element of passenger rail system optimization from a Lean Management perspective**

**Synopsis.** Wzrost znaczenia kolei aglomeracyjnej w Polsce powoduje konieczność poszukiwania rozwiązań zwiększających efektywność funkcjonowania systemów transportowych przy ograniczonych zasobach infrastrukturalnych i taborowych. Celem artykułu jest ocena możliwości wykorzystania linii okrężnych jako narzędzia zwiększania efektywności systemów kolei aglomeracyjnej w ujęciu Lean Management, ze szczególnym uwzględnieniem ograniczania marnotrawstwa operacyjnego oraz poprawy wykorzystania dostępnych zasobów. W pracy wykorzystano przegląd wybranych źródeł oraz dostępnych koncepcji transportowych, a także studium przypadku koncepcji linii okrężnej SKA4 w krakowskim węźle kolejowym, prowadzonej po tzw. dużej obwodnicy kolejowej. Analizie poddano parametry eksploatacyjne obejmujące: czas przejazdu, konstrukcję rozkładu jazdy, organizację obiegów taboru oraz pracę drużyn pociągowych. Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, że zastosowanie linii okrężnej umożliwia poprawę wykorzystania taboru, ograniczenie nieproduktywnych postojów oraz zwiększenie atrakcyjności oferty przewozowej. Zidentyfikowano także wyzwania oraz ograniczenia związane z nowatorską w polskich warunkach organizacją połączeń. Przeprowadzone badania wskazują, że odpowiednio zaprojektowane linie okrężne mogą stanowić skuteczne narzędzie zwiększania efektywności systemów kolei aglomeracyjnej i wspierać rozwój zrównoważonego transportu publicznego.

**Słowa kluczowe:** linie okrężne, transport kolejowy, kolej aglomeracyjna, Lean Management, krakowski węzeł kolejowy

---

✉ **Kacper Lipski** – student kierunku transport na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki; e-mail: kacper.lipski.555@gmail.com

**Abstract.** The growing importance of suburban rail transport in Poland creates a need for solutions that improve the efficiency of transport systems while operating under limited infrastructure and rolling stock resources. This paper examines circular railway lines as a tool for optimizing urban and suburban passenger rail systems from a Lean Management perspective, with particular emphasis on reducing operational waste and improving resource utilization. The research is based on a review of selected literature and existing transport concepts, as well as a case study of the proposed SKA4 circular railway line in the Kraków railway junction. The analysis focuses on key operational parameters, including travel time, timetable design, rolling stock circulation and train crew scheduling. The results indicate that the implementation of a circular railway line can improve rolling stock utilization, reduce non-productive dwell times and enhance the attractiveness of transport services. The study also identifies challenges and limitations associated with this innovative service organization in Polish conditions. The findings suggest that properly designed circular railway lines can constitute an effective tool for increasing the efficiency of suburban rail systems and supporting the development of sustainable public transport.

**Keywords:** circular railway lines, rail transport, suburban rail, Lean Management, Kraków railway junction

**Kody JEL:** R41, R42

## Wprowadzenie

Rozwój dużych miast i aglomeracji miejskich wiąże się z rosnącym zapotrzebowaniem na sprawny, wydajny i niezawodny transport zbiorowy. Wraz z postępującą suburbanizacją coraz większą rolę odgrywa kolej aglomeracyjna, która dzięki swojej przepustowości i prędkości może skutecznie uzupełniać także system transportu miejskiego. W wielu europejskich miastach kolej pełni funkcję środka nie tylko transportu regionalnego, lecz również codziennych podróży wewnątrzmijskich.

Jednocześnie operatorzy kolejowi mierzą się z istotnymi wyzwaniami. Ograniczona dostępność nowoczesnego taboru, wysokie koszty eksploatacyjne oraz problemy z przepustowością kluczowych węzłów kolejowych powodują, że sama rozbudowa oferty przewozowej nie zawsze jest możliwa. Konieczne staje się poszukiwanie rozwiązań, które pozwalają osiągnąć więcej przy wykorzystaniu tych samych zasobów. Odpowiedzią na to wyzwanie dostarcza filozofia Lean Management, wywodząca się z japońskiego systemu produkcyjnego Toyoty, której celem jest maksymalizacja wartości dostarczanej użytkownikowi przy jednoczesnej eliminacji wszelkiego marnotrawstwa zasobów.

Jednym z rozwiązań organizacyjnych, które w naturalny sposób wpisują się w założenia Lean Management, jest koncepcja linii okrężnych – połączeń kolejowych kursujących w zamkniętej, nieprzerwanej pętli, bez klasycznej stacji początkowo-końcowej. Linie tego typu z powodzeniem funkcjonują w wielu miastach świata, w tym w Berlinie, Kopenhadze, Moskwie czy aglomeracjach azjatyckich, generując wysoki ruch pasażerski i charakteryzując się bardzo efektywnym wykorzystaniem taboru. Jak dotąd żadne połączenie tego rodzaju nie zostało uruchomione w Polsce.

Celem pracy jest ocena możliwości wdrożenia połączenia okrężnego w warunkach polskich. Jako poligon badawczy wybrano krakowski węzeł kolejowy i przebiegającą przez niego dużą obwodnicę kolejową Krakowa. Opracowano koncepcję połączenia nazwanego roboczo SKA4, wykorzystującego 45-kilometrową pętlę w ciągu linii kolejowych nr 8, 91 i 95.

W pracy postawiono następujące problemy badawcze: czy organizacja przewozów w formie linii okrężnej może przyczynić się do efektywniejszego wykorzystania istniejącej infrastruktury i taboru kolejowego, czy możliwe jest ograniczenie wybranych przejawów marnotrawstwa (zgodnie z ideą Lean Management) występujących w tradycyjnych połączeniach kolejowych oraz jakie korzyści i ograniczenia operacyjne wiąże się z wdrożeniem takiego rozwiązania.

## **Metodyka badań**

W artykule opisano ideę linii okrężnych na tle istniejących systemów światowych. Zwrócono uwagę na liczne zalety, a także pojawiające się wyzwania operacyjne związane z niekonwencjonalną organizacją połączeń. W ramach metodyki badawczej zastosowano identyfikację i analizę marnotrawstwa (Muda) występującego w systemie kolejowego transportu pasażerskiego w ujęciu Lean Management. Przeprowadzono także badanie z wykorzystaniem metody studium przypadku dla krakowskiego węzła kolejowego. Analizie poddano istniejącą infrastrukturę kolejową tworzącą dużą obwodnicę Krakowa oraz rozkładowe czasy przejazdu na poszczególnych odcinkach sieci. Na tej podstawie opracowano koncepcję połączenia okrężnego SKA4 obejmującą przebieg trasy, rozkład jazdy, organizację obiegów taboru oraz organizację pracy drużyn pociągowych, a następnie przeanalizowano specyfikę funkcjonowania proponowanej linii, w tym rozwiązania z zakresu zarządzania opóźnieniami.

## **Idea linii okrężnych**

### ***Definicja oraz przykłady systemów***

W trakcie przeglądu literatury dotyczącej linii okrężnych zidentyfikowano niejednoznaczności w definiowaniu połączenia tego typu. Do analizy przyjęto wyłącznie połączenia wykonujące nieprzerwanie przynajmniej kilka kursów w zamkniętej pętli typu A-B-C-D-A. Niekiedy do linii okrężnych zalicza się również linie typu „lasso”, a więc funkcjonujące w układzie półokrężnym A-B-C-D-B-A – w artykule nie uwzględniono jednak podobnych koncepcji, ograniczając się do „prawdziwych” pętli zamkniętych.

Linie okrężne charakteryzują się brakiem wyraźnej stacji początkowo-końcowej i w konsekwencji brakiem miejsca na postój pojazdu w celu wyrównania czasu powstałego opóźnienia. Powoduje to zmaksymalizowanie wskaźników efektywności wykorzystania taboru, a jednocześnie wyraźnie utrudnia zarządzanie opóźnieniami [Liebchen i in. 2022; Zhou i in. 2024].

Zgodnie ze stanem na 2022 rok zidentyfikowano 12 systemów kolejowych linii okrężnych funkcjonujących na świecie (tab. 1). Żadna znana linia okrężna nie działa w Polsce.

Tabela 1. Parametry linii okrężnych na świecie

Table 1. Characteristics of circular railway lines around the world

| Miasto    | Linia  | Długość [km] | Liczba stacji | Śr. odl. między stacjami [m] | Czas jazdy [min] | Prędkość średnia [km/h] | Prędkość maksymalna [km/h] | Inne linie na trasie | Szczytowy interwał [min] |
|-----------|--------|--------------|---------------|------------------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|
| Pekin     | 2      | 23,1         | 18            | 1280                         | 45               | 31,5                    | 80                         |                      | 2,5                      |
| Pekin     | 10     | 57,1         | 45            | 1270                         | 104              | 32,9                    | 80                         |                      | 2                        |
| Berlin    | S41/42 | 37,1         | 27            | 1370                         | 60               | 37,1                    | 80                         | +                    | 5                        |
| Chengdu   | 7      | 38,6         | 31            | 1250                         | 66               | 35,1                    | 80                         |                      | 3,5                      |
| Kopenhaga | M3     | 15,5         | 17            | 910                          | 30               | 31                      | 80                         | +                    | 3                        |
| Glasgow   | N/A    | 10,5         | 15            | 700                          | 24               | 26,3                    | 54                         |                      | 4                        |
| Hamburg   | U3     | 17,5         | 23            | 760                          | 40               | 26,3                    | 70                         | +                    | 2; 3; 5                  |
| Madryt    | 6      | 23,5         | 28            | 840                          | 52               | 27,1                    | 80                         |                      | 3                        |
| Moskwa    | 5      | 19,4         | 12            | 1620                         | 28               | 41,6                    | 80                         |                      | 1,75                     |
| Seul      | 2      | 48,8         | 43            | 1130                         | 84               | 34,9                    | 80                         | +                    | 2,33                     |

Źródło: [Liebchen i in. 2022]

Source: [Liebchen et al. 2022]

Wyszczególnione w tabeli 1 linie to przede wszystkim szybkie koleje miejskie, o średnich odległościach międzyprzystankowych ok. 1 km. Wszystkie oceniane są pozytywnie, generują bardzo duży ruch pasażerski oraz charakteryzują się wysoką częstotliwością kursowania – interwały w godzinach szczytu wahają się od 5,5 min w Zhengzhou do 1,75 min na linii moskiewskiej. Berlińska S41/S42 wyróżnia się na tle pozostałych linii okrężnych – nie jest to typowa linia metra, lecz oficjalnie zwykłe połączenie kolejowe [Liebchen i in. 2022].

### Wady i zalety linii okrężnych

Podsumowano zalety oraz wady połączeń okrężnych w formie zamkniętej pętli.

Do zalet zaliczono:

- zwiększenie liczby relacji bezpośrednich przez brak końca trasy;
- bardzo wysoki wskaźnik wykorzystania taboru – brak przestojów (przerw), brak straty czasu potrzebnego na zmianę kierunku jazdy, brak przejazdów technicznych w ciągu dnia;
- poprawa efektywności wykorzystania połączenia – dwukierunkowa obsługa każdego z przystanków ulokowanych na trasie umożliwia bezpośrednie połączenie w dwóch alternatywnych kierunkach – brak końca linii, który pozwala korzystać z połączeń wyłącznie jednokierunkowo;
- w przypadku wielu relacji możliwe jest połączenie dwoma alternatywnymi korytarzami;
- możliwość połączenia łącznikowego różnych linii radialnych (kolejowych, tramwajowych, autobusowych) – odciążenie centrum miasta jako węzła przesiadkowego;
- impuls do rozwoju gospodarczego poza centrum miasta [Suzuki i in. 2013].

Wśród wad połączeń okrężnych wyróżniono:

- utrudnione zarządzanie w razie opóźnień, konieczność zastosowania niestandardowego podejścia;
- konieczność stworzenia odrębnego, czytelnego systemu informacji pasażerskiej;
- skomplikowana organizacja pracy drużyny pociągowej (konieczność zapewnienia przerw);
- komplikacje związane z rozpoczęciem oraz zakończeniem kursowania pojazdu na linii;
- potencjalne trudności związane z ułożeniem praktycznych rozkładów jazdy z równomiernymi interwałami między kolejnymi kursami;
- nierównomierne obciążenie odcinków – niesymetryczne potoki pasażerskie w ramach pętli, występowanie „gorących” i „zimnych” segmentów [Tirachini i in. 2021].

Pomimo licznych wyzwań operacyjnych linie okrężne zapewniają istotne korzyści, takie jak wysoki wskaźnik wykorzystania taboru oraz efektywności połączeń. W tych obszarach połączenia okrężne wykazują przewagę nad klasycznymi połączeniami radialnymi, wpisując się także idealnie w zasady Lean Management dotyczące eliminacji marnotrawstwa i maksymalizacji efektywności wykorzystania zasobów. Wskazane wcześniej wady systemu okrężnego można zminimalizować poprzez odpowiednie planowanie rozkładu jazdy oraz organizację pracy drużyn pociągowych i systemów zarządzania ruchem.

### *Linie okrężne a Lean Management*

Koncepcja Lean Management to sposób zarządzania, którego głównym celem jest dostarczanie jak największej wartości dla klienta przy jednoczesnym eliminowaniu marnotrawstwa, wywodząca się z japońskiego systemu produkcyjnego Toyoty. Choć Lean Management narodził się w przemyśle wytwórczym, jego zasady z powodzeniem wykorzystywane są w usługach, logistyce, opiece zdrowotnej, a w ostatnich dekadach także w transporcie publicznym. W sektorze transportowym „wartością” jest możliwość przemieszczenia się z punktu A do punktu B w sposób szybki, niezawodny i wygodny. Marnotrawstwem są natomiast wszelkie zasoby pochłaniane przez system bez wytwarzania tej wartości.

Taiichi Ohno zidentyfikował pierwotnie siedem rodzajów marnotrawstwa (jap. Muda), które następnie zaadaptowano w różnych sektorach [Ohno 1988]. W kontekście transportu kolejowego można je przedstawić następująco:

- nadprodukcja – uruchamianie kursów bez pasażerów, puste przebiegi techniczne taboru;
- oczekiwanie – czas, w którym pojazd stoi beczynnie na stacji końcowej lub w zajezdni;
- zbędny transport – przejazdy techniczne taboru między zajezdnią a miejscem rozpoczęcia kursu oraz w ciągu dnia;
- nadmierne przetwarzanie – skomplikowane procedury zmiany kierunku jazdy, niepotrzebne manewry na stacjach;
- nadmierne zapasy – utrzymywanie zbyt dużej floty rezerwowej w stosunku do rzeczywistych potrzeb;
- zbędny ruch – niepotrzebne przemieszczanie taboru i pracowników;
- defekty – awarie, opóźnienia.

W przypadku klasycznego połączenia kolejowego marnotrawstwo rozpatrywane jest przede wszystkim w kategoriach oczekiwania oraz nadmiernego przetwarzania – pomiędzy kursami oraz w trakcie manewrów, kiedy pojazd nie wykonuje pracy przewozowej.

W idei linii okrężnych można odnaleźć wiele założeń Lean. Jedną z najważniejszych zalet połączeń okrężnych jest bardzo wysoki poziom wykorzystania taboru. Dzięki brakowi klasycznego końca trasy ogranicza się postoje techniczne oraz czas potrzebny na zmianę kierunku jazdy. Linia okrężna przypomina organizację ciągłego przepływu (continuous flow), w której pojazd jest w nieprzerwanym ruchu, co ogranicza straty związane z oczekiwaniem oraz operacjami pomocniczymi. Z perspektywy Lean Management oznacza to zwiększenie płynności procesu przewozowego oraz lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów technicznych. Jest to także oczywista redukcja czasu, w którym pojazd nie wykonuje pracy przewozowej, co bezpośrednio wpisuje się w zgodne z duchem Lean ograniczanie marnotrawstwa, szczególnie w zakresie oczekiwania i nadmiernego przetwarzania. Istotnym aspektem jest również zwiększona liczba relacji oraz możliwość połączenia różnych linii radialnych, co poprawia płynność całego systemu transportowego i odciąża przepełnione węzły przesiadkowe w centrach miast. Z perspektywy Lean oznacza to usprawnienie przepływu pasażerów i skrócenie czasu podróży, czyli zwiększenie wartości dostarczanej pasażerom korzystającym z systemu transportowego.

Jednocześnie organizacja połączeń okrężnych wiąże się z wyzwaniami charakterystycznymi dla wysoce zoptymalizowanych systemów. Brak klasycznego początku i końca linii utrudnia zarządzanie opóźnieniami, ponieważ zakłócenie w jednym miejscu może wpływać na funkcjonowanie całej pętli. Z punktu widzenia Lean są to potencjalne źródła strat organizacyjnych, wymagające ciągłego monitorowania i doskonalenia procesów.

Można więc stwierdzić, że linie okrężne stanowią przykład rozwiązania zgodnego z filozofią Lean Management, ponieważ umożliwiają maksymalizację efektywności wykorzystania taboru i infrastruktury oraz poprawę jakości obsługi pasażerów. Ich skuteczne funkcjonowanie wymaga jednak bardzo sprawnego zarządzania operacyjnego oraz elastycznego reagowania na zakłócenia w ruchu.

### *Kluczowe aspekty organizacji połączeń okrężnych*

Szczególnie istotnym aspektem organizacji połączeń w formie okrężnej jest reagowanie w razie opóźnień. Połączenia okrężne, tak jak wszystkie pozostałe linie komunikacyjne, narażone są na występowanie opóźnień o różnej genezie. Ze względu na brak czasu wyrównawczego na końcu trasy (jak w przypadku linii klasycznych) zarządzanie opóźnieniami jest wyraźnie trudniejsze. W literaturze dotyczącej linii okrężnych [Liebchen i in. 2022; Zhou i in. 2024] wyróżniono kilka możliwych reakcji w sytuacji opóźnień, takich jak:

- przyspieszenie opóźnionego pojazdu – pominięcie przystanku, przejazd skrótem;
- spowolnienie pozostałych pojazdów w danym kierunku;
- włączenie pociągu z innego zadania przewozowego (np. linii okrężnej w drugim kierunku bądź odrębnej linii);
- włączenie pociągu rezerwowego do obsługi linii.

Wszystkie wymienione rozwiązania mają swoje wady i zalety. Możliwość oraz opłacalność ich zastosowania zależy w dużym stopniu od specyfiki danej linii oraz konkretnej sytuacji – nie każde rozwiązanie będzie odpowiednie na wszystkich liniach. Pierwsze trzy przedstawione powyżej możliwości reakcji sprawdzą się wyłącznie na liniach o bardzo krótkich taktach, gdzie pociągi pojawiają się na przystankach co kilka minut, a pasażerowie nie muszą wcześniej sprawdzać rozkładu jazdy. W ramach koncepcji wdrożenia rozwiązania linii okrężnej w polskich warunkach ze względu na przewidywane dłuższe interwały między kolejnymi kursami w przypadku kumulujących się opóźnień realnie wydaje się tylko włączanie do obsługi linii pociągu rezerwowego.

Założenie kursowania pociągów w zamkniętej pętli typu A-B-C-D-A jest jednak rozwiązaniem nowatorskim w realiach polskiej kolei – nie jest znane żadne funkcjonujące w kraju połączenie w formie linii okrężnej. Sprawdzone, czy obecny stan prawny nie wyklucza takiej organizacji połączenia, i nie znaleziono żadnych przeciwwskazań [MTBiGM 2013; PKP PLK 2025a]. Konieczne jest wskazanie stacji początkowej i stacji końcowej, chociażby na potrzeby stworzenia tablicy kierunkowej. Uznano jednak, że przyjęcie dowolnej spośród stacji na trasie linii zarówno jako stacji początkowej, jak i końcowej połączenia można uznać za rozwiązanie wystarczające.

## **Linia okrężna po dużej obwodnicy kolejowej Krakowa – studium przypadku**

### *Uwarunkowania lokalne*

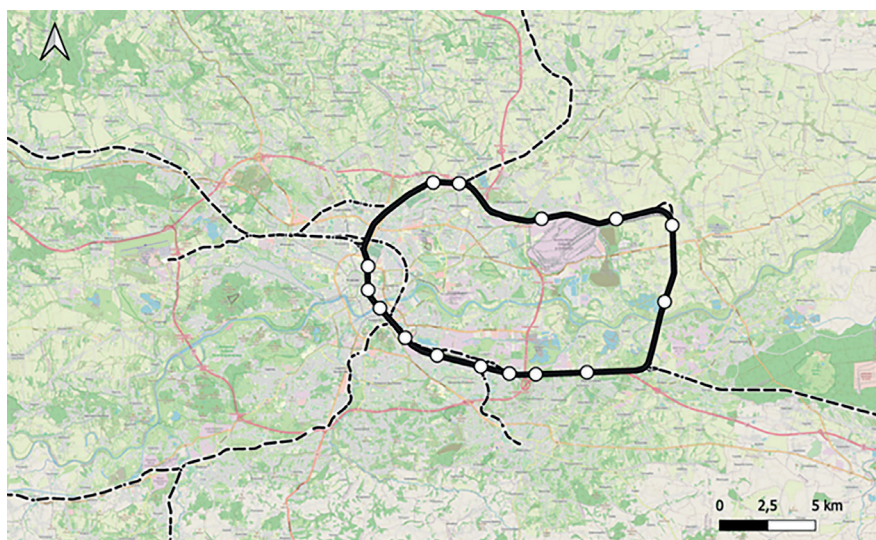
Zasadność oraz możliwość uruchomienia kolejowego połączenia okrężnego w polskich warunkach postanowiono sprawdzić na przykładzie wytypowanego poligonu – krakowskiego węzła kolejowego oraz dużej obwodnicy kolejowej Krakowa.

Według statystyk prowadzonych przez Urząd Transportu Kolejowego (UTK) znaczenie kolei aglomeracyjnej stale rośnie. Nie inaczej jest w przypadku Krakowa, gdzie w ostatnich latach wewnątrz miasta powstało kilka nowych przystanków kolejowych, co umożliwia efektywne podróżowanie także w obrębie jego granic [Ciastoń-Ciulkin i in. 2024]. W ramach krakowskiego węzła kolejowego przewoźnicy regionalni świadczą trzech przewoźników, czyli Koleje Małopolskie, Polregio oraz Koleje Śląskie. Obsługują one 12 różnych relacji, promieniście rozchodzących się w czterech podstawowych kierunkach z dworca Kraków Główny i dalej w siedmiu alternatywnych kierunkach różnych linii kolejowych. Połączenia obsługujące krakowski węzeł kolejowy to przede wszystkim kursy łączące odległe części aglomeracji, z kierunków takich jak Tarnów, Katowice, Oświęcim czy Kielce, oddalonych często o blisko 100 km od stolicy Małopolski [Polregio 2025]. Jedynym wyjątkiem jest linia SKA1 na trasie Kraków Lotnisko – Wieliczka Rynek-Kopalnia, która dzięki krótkiej trasie, zlokalizowanej w całości w obrębie aglomeracji, pełni funkcję środka transportu miejskiego. Linia ta charakteryzuje się ponadto wysoką częstotliwością kursowania, dużą dostępnością czasową w ciągu doby oraz równymi, 30-minutowymi interwałami pomiędzy kursami [PKP PLK 2025b]. Są to cechy szczególnie cenione przez pasażerów i wskazywane jako pożądane przy kształtowaniu efektywnej oferty komunikacji miejskiej [European Commission 2023]. Linia ta

jest jednak w skali regionu przypadkiem wyjątkowym i wskazuje kierunek, w którym powinny podążać także pozostałe połączenia, aby stanowić atrakcyjną ofertę poruszania się po mieście.

Przeanalizowano wnioski z przeprowadzonego w 2023 roku badania ankietowego [Ciastoń-Ciulkin i in. 2024]. Potwierdzają one, że przystanek Kraków Złocień, który jest zlokalizowany w pobliżu gęsto zabudowanego osiedla mieszkaniowego, służy przede wszystkim do obsługi podróży wewnątrzmięjskich. Ankietowani ocenili jakość oferty kolejowej w Krakowie oraz wskazali swoje potrzeby w zakresie jej dalszego rozwoju – czynnikami zniechęcającymi do wyboru pociągu są: niska częstotliwość kursowania, problemy z integracją taryfową i punktualnością oraz słabo rozwinięta siatka połączeń z różnymi częściami aglomeracji – w wielu przypadkach cel podróży znajdował się poza zasięgiem kolei. Są to kluczowe obszary wymagające dalszej poprawy, co wzięto pod uwagę w niniejszej pracy.

Wytyczenie okrężnego połączenia kolejowego, które mogłoby być odpowiedzią na problemy związane z oceną atrakcyjności przewozów kolejowych w obrębie miasta, jest uzależnione od odpowiedniej infrastruktury, umożliwiającej poruszanie się taboru w nieprzerwanej pętli. Kraków dysponuje rozbudowanym węzłem kolejowym, w którym podstawę układu stanowią linie promieniste zbiegające się w rejonie stacji Kraków Główny. Uzupełnieniem tego układu są linie obwodowe, w tym tzw. duża obwodnica kolejowa Krakowa. Jej zasadniczą część stanowi linia kolejowa nr 95. Pod uwagę wzięto jednak zamkniętą pętlę w ciągu linii o numerach 8, 91 oraz 95, wytyczoną pomiędzy stacjami Kraków Główny – Kraków Batowice – Kraków Nowa Huta – Kraków Bieżanów – Kraków Płaszów – Kraków Główny, przedstawioną na rysunku 1.



Rysunek 1. Przebieg wytyczonej pętli  
Figure 1. Route of the proposed loop line

Źródło: opracowanie własne  
Source: own elaboration

Infrastruktura ta jest w pełni przejezdna i wykorzystywana w ruchu pasażerskim oraz towarowym, jednak obecna oferta przewozowa ma miejscami charakter nieciągły. W latach 2016–2018 linia nr 95 (duża obwodnica) przeszła kapitalny remont umożliwiający zwiększenie maksymalnej prędkości do 100 km/h na większości odcinków [Madrjas 2016] – jest to prędkość wystarczająca do prowadzenia efektywnych przewozów kolejowych w obrębie aglomeracji.

Wytyczona pętla obejmuje swoim zasięgiem zarówno duże osiedla miejskie, jak i okolice słabiej zaludnione, jednak stale się rozwijające wraz z postępującymi procesami urbanizacyjnymi. Wzdłuż jej przebiegu wciąż przybywa mieszkańców, czyli potencjalnych pasażerów potrzebujących sprawnego transportu. Biorąc pod uwagę analizę materiałów źródłowych, w tym badania ankietowego [Ciastoń-Ciulkin i in. 2024], oraz inne czynniki, stwierdzono istnienie niewykorzystanego potencjału poprawy jakości przewozów realizowanych z wykorzystaniem dużej obwodnicy kolejowej Krakowa. Rozwój efektywnego, szybkiego i niezawodnego transportu szynowego byłby istotnym czynnikiem ruchotwórczym zarówno w relacjach wewnątrzmijskich, jak i pomiędzy peryferyjnymi obszarami miasta, a także – co istotne – czynnikiem stymulującym dalszy rozwój urbanistyczny Krakowa.

Opracowano koncepcję uruchomienia nowego połączenia kolejowego w formie linii okrężnej, poruszającego się po wytyczonej obwodnicy dwukierunkowo, w ramach nieprzerwanej pętli, na wzór okrężnych linii funkcjonujących na świecie, m.in. w Berlinie, Kopenhadze, Glasgow czy aglomeracjach azjatyckich.

### *Linia okrężna prowadzona po dużej obwodnicy*

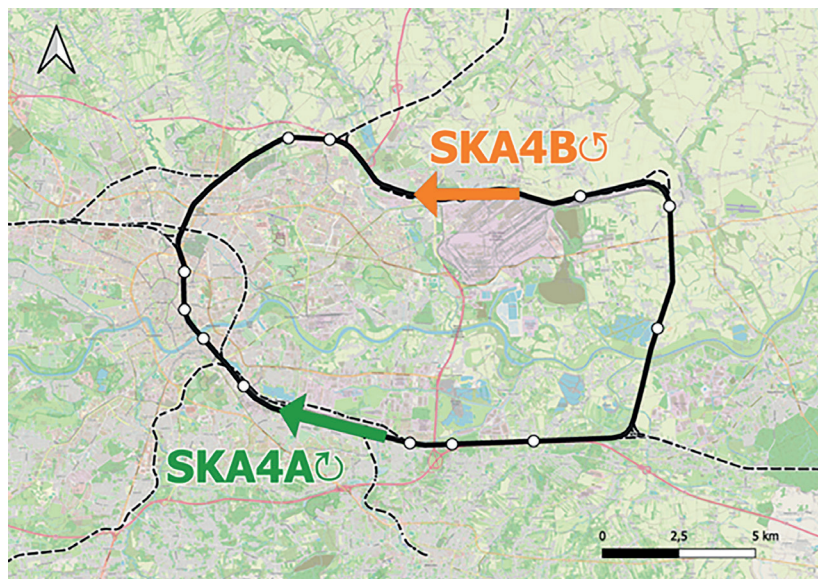
Zdecydowano się na przeanalizowanie rozwiązania, które umożliwi pełniejsze wykorzystanie istniejącej infrastruktury oraz zapewni nową jakość połączeń wewnątrzaglomeracyjnych. Wychodząc naprzeciw zidentyfikowanym problemom, przedstawiono propozycję usprawnienia komunikacji kolejowej na dużej obwodnicy poprzez uruchomienie linii okrężnej prowadzonej po analizowanej 45-kilometrowej pętli.

Koncepcja zakłada uruchomienie połączenia poruszającego się po wspomnianej pętli (ciąg linii kolejowych nr 8, 95, 91) dwukierunkowo, przelotowo, bez dłuższego zatrzymywania (kończenia biegu pociągu).

Połączenie to zostało roboczo nazwane SKA4, przy czym wyróżniono dwie relacje:

- SKA4A – poruszającą się po pętli w prawo zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara, czyli Kraków Główny – Kraków Batowice – Kraków Przylasek – Kraków Płaszów – Kraków Główny;
- SKA4B – poruszającą się po pętli w lewo, w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, czyli Kraków Główny – Kraków Płaszów – Kraków Przylasek – Kraków Batowice – Kraków Główny.

Zostały one przedstawione schematycznie na rysunku 2.



Rysunek 2. Przyjęte kierunki połączenia SKA4

Figure 2. Assumed service directions of the SKA4 line

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Dla zaproponowanej koncepcji połączenia okrężnego opracowano założenia dotyczące rozkładu jazdy, organizacji pracy taboru i drużyn pociągowych, a także zarządzania opóźnieniami i innymi kwestiami operacyjnymi, które przedstawiono w dalszych punktach artykułu. Przyjęte założenia miały na celu możliwie efektywne wykorzystanie istniejącej infrastruktury i taboru zgodnie z założeniami Lean Management.

### *Czas przejazdu połączenia*

W przygotowanym wariantcie obsługi przebiegu analizowanej obwodnicy w formie połączenia okrężnego uwzględniono stan obecny, czyli bez zmian infrastrukturalnych (np. budowy nowych przystanków). Przeanalizowano możliwość uruchomienia połączenia praktycznie „od zaraz”, bez żadnych inwestycji.

W związku z powyższym czasy przejazdów konkretnych odcinków zostały przyjęte na podstawie aktualnych czasów rozkładowych pociągów regionalnych. Dla odcinka Kraków Przylasek – Węgrzce Wielkie (łącznicy nieużywanej liniowo) czas przejazdu oszacowano na 6 min, uwzględniając odległości, parametry linii kolejowych oraz przeciętny czas przejazdu przyjmowany dla porównywalnych odcinków, z uwzględnieniem bezpiecznej rezerwy. W tabeli 2 podano charakterystykę proponowanej trasy linii SKA4A (obsługa w kierunku prawym, zgodnie z ruchem wskazówek zegara). Wyłuszczone czas przejazdu na odcinku pomiędzy przystankami Kraków Przylasek i Węgrzce Wielkie, który nie jest obsługiwany przez pociągi regionalne jeżdżące liniowo i został oszacowany na potrzeby analizy.

Tabela 2. Charakterystyka przebiegu linii SKA4

Table 2. Route characteristics of the SKA4 line

| Lp. | Nazwa przystanku   | Odległość całkowita [km] | Odległość od poprzedniego przystanku [km] | Czas przejazdu od początku trasy [min] | Czas przejazdu od poprzedniego przystanku [min] |
|-----|--------------------|--------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1   | Kraków Główny      | 0                        | 0,0                                       | 0                                      | 0                                               |
| 2   | Kraków Batowice    | 6,2                      | 6,2                                       | 6                                      | 6                                               |
| 3   | Kraków Piastów     | 7,5                      | 1,3                                       | 9                                      | 3                                               |
| 4   | Kraków Lubocza     | 12,5                     | 5,0                                       | 15                                     | 6                                               |
| 5   | Kraków Nowa Huta   | 16,5                     | 4,0                                       | 20                                     | 5                                               |
| 6   | Kraków Kościelniki | 20,2                     | 3,7                                       | 25                                     | 5                                               |
| 7   | Kraków Przylasek   | 24,2                     | 4,0                                       | 29                                     | 4                                               |
| 8   | Węgrzce Wielkie    | 30,7                     | 6,5                                       | 35                                     | 6                                               |
| 9   | Kokotów            | 33,4                     | 2,7                                       | 37                                     | 2                                               |
| 10  | Kraków Złocien     | 34,7                     | 1,3                                       | 40                                     | 3                                               |
| 11  | Kraków Bieżanów    | 36,3                     | 1,6                                       | 42                                     | 2                                               |
| 12  | Kraków Prokocim    | 38,6                     | 2,3                                       | 44                                     | 2                                               |
| 13  | Kraków Płaszów     | 40,6                     | 2,0                                       | 46                                     | 2                                               |
| 14  | Kraków Zabłocie    | 42,6                     | 2,0                                       | 49                                     | 3                                               |
| 15  | Kraków Grzegórzki  | 43,7                     | 1,1                                       | 51                                     | 2                                               |
| 16  | Kraków Główny      | 45                       | 1,3                                       | 54                                     | 3                                               |

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Na analizowanej trasie 45-kilometrowej pętli znalazło się 15 przystanków. Średnia odległość międzyprzystankowa wynosi 3 km, przy czym największa wynosi aż 6,5 km, a najmniejsza 1,1 km (w centrum Krakowa).

Po przeanalizowaniu czasu jazdy można zauważyć, że przejazd pełnego odcinka pętli, od stacji Kraków Główny z powrotem na stację Kraków Główny, zajął 54 min. Jest to bardzo korzystna sytuacja – jeśli przyjmiemy, że czas obsługi stacji Kraków Główny wynosi 6 min, kolejny kurs danej brygady obsłuży wszystkie przystanki linii dokładnie godzinę później. Założyć więc można obsługę trasy w co najmniej godzinny takt o równych interwałach, ze stałymi końcówkami minutowymi godzin odjazdów. Pozwala to zwiększyć czytelność rozkładów jazdy i jest uważane przez pasażerów za dodatkowy atut [Pitka i in. 2024].

Konieczność sześciominutowego postoju na stacji Kraków Główny może się wydawać pasażerom tranzytowym nieatrakcyjnym wydłużeniem podróży. Jest on jednak istotny, ponieważ znajdzie odzwierciedlenie w poprawie punktualności linii – jest to jedyne miejsce na trasie, gdzie pociąg może próbować wyrównać powstałe opóźnienia (w klasycznych liniach jest to stacja początkowo-końcowa). Dłuższy czas obsługi stacji (czas wyrównawczy) warto zaplanować właśnie na Krakowie Głównym – to największa stacja linii oraz całego krakowskiego węzła kolejowego. W przypadku większości pociągów przyjmuje

się dłuższe czasy postoju na tej stacji, uwzględniające potencjalne utrudnienia wjazdu lub wyjazdu oraz możliwość przedłużania się wymiany pasażerskiej. Dzięki temu, że czas przejazdu po pełnej pętli wynosi równą godzinę, odjazdy z przystanków będą ułożone w równych taktach, ze stałymi końcówkami minutowymi w ciągu doby.

### *Układ kursów*

Jak wspomniano, w opisywanej koncepcji w ciągu całego okresu funkcjonowania połączenia pociągi będą pojawiać się na przystankach równo co godzinę w obu kierunkach. Założenie to wynika z ograniczonej przepustowości newralgicznych punktów krakowskiego węzła kolejowego oraz nieznanego popytu na przewozy w ramach analizowanej relacji. W przyszłości nie wyklucza się zagęszczenia odjazdów, np. do taktu 30-minutowego w godzinach szczytu – wymagałoby to jednak z pewnością szczegółowej analizy przepustowości poszczególnych odcinków sieci.

W celu stworzenia rozkładu jazdy niezbędne było określenie wzajemnego przesunięcia odjazdów pojazdów w różnych kierunkach (równoznaczne z określeniem stałych miejsc krzyżowania się brygad). Ze względu na brak poważnych ograniczeń dotyczących krzyżowania pociągów na trasie (ciągłość linii dwutorowych) rozkład starano się ułożyć, uwzględniając przede wszystkim potrzeby pasażerów.

Na podstawie wyników ankietowych [Ciastoń-Ciulkin i in. 2024] oraz ogólnych schematów przytaczanych w literaturze [Suzuki i in. 2013; European Commission 2023] założono, że najpopularniejszymi stacjami będą Kraków Główny i Kraków Grzegórzki, zlokalizowane w centrum miasta.

Z charakterystyki linii okrężnej wynika, że czas przejazdu pomiędzy przeciwległymi stacjami w pętli jest zbliżony w przypadku połączeń w obu kierunkach. Rozkłady ułożono pod kątem atrakcyjnego dojazdu pasażerów do centrum miasta z przeciwległego końca linii, a więc stacji: Kraków Przylasek, Kraków Kościelniki oraz Kraków Nowa Huta. W przypadku wszystkich trzech przystanków proponowana linia byłaby najprawdopodobniej jedynym dostępnym połączeniem regionalnym. W miarę możliwości starano się ułożyć naprzemiennie odjazdy linii z powyższych przystanków, zapewniając skoordynowane połączenia do i z centrum (na stacje Kraków Główny i przystanek Kraków Grzegórzki), z wykorzystaniem trasy przez Kraków Batowice naprzemiennie z trasą przez Kraków Płaszów. Odjazdy z Krakowa Głównego ułożone zostały z wzajemnym przesunięciem naprzemiennie 29 i 31 min w celu zapewnienia dobrej koordynacji dla przystanków po wschodniej stronie pętli i z innymi liniami. Przy przyjętych odsunięciach czasowych kursów pociągi linii SKA4A i SKA4B rozkładowo krzyżować się będą pomiędzy przystankami Kraków Piastów i Kraków Lubocza, a drugi raz pomiędzy przystankami Kraków Złocień i Kraków Bieżanów.

Odjazdy (stałe końcówki minutowe w ciągu doby) dla powyższych stacji przedstawiono w tabeli 3.

Fragmencie rozkładu jazdy potencjalnie interesujących połączeń, w odniesieniu do których zadbano o wzajemną koordynację, na podstawie wybranych relacji przedstawiono w tabelach 4 i 5. To jedynie niewielki wycinek, jednak obrazuje analogie występujące przez cały dobowy okres kursowania linii i naprzemiennie kursy pozwalające dojechać do centrum Krakowa alternatywnymi trasami.

Tabela 3. Końcówki minutowe odjazdów z poszczególnych przystanków

Table 3. Scheduled departure minutes at individual stops

| Przystanek         | ↓ SKA4A ↓ |    |
|--------------------|-----------|----|
| Kraków Główny      | 54        | 17 |
| Kraków Batowice    | 0         | 11 |
| Kraków Piastów     | 3         | 8  |
| Kraków Lubocza     | 9         | 2  |
| Kraków Nowa Huta   | 14        | 57 |
| Kraków Kościelniki | 19        | 52 |
| Kraków Przylasek   | 23        | 48 |
| Węgrzce Wielkie    | 29        | 42 |
| Kokotów            | 31        | 40 |
| Kraków Złocień     | 34        | 37 |
| Kraków Biezanów    | 36        | 35 |
| Kraków Prokocim    | 38        | 33 |
| Kraków Płaszów     | 40        | 31 |
| Kraków Zabłocie    | 43        | 28 |
| Kraków Grzegórzki  | 45        | 26 |
| Kraków Główny      | 48        | 23 |
| ↑ SKA4B ↑          |           |    |

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Tabela 4. Połączenia w relacji Kraków Nowa Huta – Kraków Grzegórzki

Table 4. Rail connections between Kraków Nowa Huta and Kraków Grzegórzki

| Trasa Kraków Nowa Huta – Kraków Grzegórzki |        |          |                  |                                        |
|--------------------------------------------|--------|----------|------------------|----------------------------------------|
| Połączenie                                 | Odjazd | Przyjazd | Czas jazdy [min] | Przez stacje:                          |
| SKA4B                                      | 10:14  | 10:45    | 31               | Kraków Kościelniki, Kraków Biezanów... |
| SKA4A                                      | 10:57  | 11:26    | 29               | Kraków Lubocza, Kraków Piastów...      |
| SKA4B                                      | 11:14  | 11:45    | 31               | Kraków Kościelniki, Kraków Biezanów... |
| SKA4A                                      | 11:57  | 12:26    | 29               | Kraków Lubocza, Kraków Piastów...      |

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Tabela 5. Połączenia w relacji Kraków Przylasek – Kraków Główny

Table 5. Rail connections between Kraków Przylasek and Kraków Główny

| Trasa Kraków Przylasek – Kraków Główny |        |          |                  |                                       |
|----------------------------------------|--------|----------|------------------|---------------------------------------|
| Połączenie                             | Odjazd | Przyjazd | Czas jazdy [min] | Przez stacje:                         |
| SKA4B                                  | 10:23  | 10:48    | 25               | Węgrzce Wielkie, Kraków Biezanów...   |
| SKA4A                                  | 10:48  | 11:17    | 29               | Kraków Kościelniki, Kraków Piastów... |
| SKA4B                                  | 11:23  | 11:48    | 25               | Węgrzce Wielkie, Kraków Biezanów...   |
| SKA4A                                  | 11:48  | 12:17    | 29               | Kraków Kościelniki, Kraków Piastów... |

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Istotnym aspektem tworzenia rozkładów jazdy jest uwzględnienie koordynacji pomiędzy liniami na wspólnie obsługiwanych ciągach [Nash i Canzler 2014; Pitka i in. 2024]. W analizowanym przypadku krakowskiego węzła kolejowego przy obecnym rozkładzie jazdy koordynacja taka jest zwykle niemożliwa – zdecydowana większość połączeń regionalnych kursuje w nieuporządkowanych odstępach czasowych, bez taktów i stałych końcówek minutowych odjazdów [PKP PLK 2025b]. Wyjątkiem jest linia SKA1 (Wieliczka Rynek-Kopalnia – Kraków Lotnisko) kursująca w takcie 30-minutowym przez większość doby, z którą trasa linii SKA4 pokrywa się na odcinku Kraków Główny – Kraków Bieżanów, gdzie podjęto próbę koordynacji odjazdów obydwu połączeń. Ze względu na częstotliwości ich kursowania możliwe było wyłącznie połowiczne skoordynowanie proponowanej linii SKA4 pomiędzy dwoma kursami SKA1 jako wypełnienie co drugiego interwału – sumaryczne odjazdy odbywają się w takcie 15, 15, 30 min w ciągu godziny.

### *Rozkład jazdy połączenia*

Podobnie jak w przypadku niektórych innych połączeń kolejowych przyjęto obowiązywanie identycznego rozkładu jazdy przez cały tydzień – dlatego pociągi proponowanej linii SKA4 odjeżdżać będą równo co godzinę we wszystkie dni tygodnia.

Do stworzenia pełnego rozkładu jazdy konieczne jest określenie godzin funkcjonowania linii w ciągu doby. Na podstawie analizy przeciętnych godzin kursowania pociągów kolei regionalnych oraz pozostałych pojazdów komunikacji publicznej w Krakowie (tramwaje, autobusy miejskie, autobusy aglomeracyjne, autobusy zamiejskie) stwierdzono, że proponowana linia SKA4 powinna operować w przybliżonych godzinach 4–24. Warto podkreślić, że na znacznej części trasy będzie ona najprawdopodobniej pełnić funkcję jedyne go dostępnego połączenia, dlatego zakres godzinowy powinien być jak najszerszy.

Aby dobrać szczegółowe godziny kursowania linii okrężnej, niezbędne jest określenie miejsca rozpoczęcia i zakończenia liniowego kursowania przez dany pojazd. W przypadku organizacji połączenia okrężnego jest to szczególnie istotne – są to jedyne planowe kursy niefunkcjonujące w zamkniętej pętli. Wybrany miejscem jest dworzec Kraków Główny – punkt dobrze zlokalizowany, zapewniający zaplecze socjalne podczas przerw oraz dogodny dojazd dla pracowników. Przy założeniu obsługi połączenia przez Koleje Małopolskie dodatkowym aspektem jest lokalizacja najbliższej zaplecza taborowego przewoźnika w Krakowie przy ul. Składowej (przy linii kolejowej nr 133).

Przyjęto, że pierwszy kurs relacji SKA4A z Krakowa Głównego w kierunku stacji Kraków Batowice powinien odjechać o godzinie 3:54, a SKA4B w kierunku stacji Kraków Płaszów o godzinie 4:23. Ostatni kurs do Krakowa Głównego ze stacji Kraków Batowice przyjedzie o godzinie 23:17, a ze stacji Kraków Płaszów o 23:48. Zgodnie z tym rozkładem linia SKA4A wykonuje dziennie 20 kursów, a linia SKA4B 19 kursów, co daje łącznie 39 kursów oraz 1755 wozokilometrów pracy przewozowej. Rozkład jazdy przedstawiono szczegółowo w formie odjazdów z przykładowego przystanku Kraków Piastów na rysunku 3. Ze względu na miejski charakter linii rozkład zaprezentowano, wzorując się na wzorze tabliczek przystankowych wykorzystywanym na co dzień przez Zarząd Transportu Publicznego w Krakowie.

| <div> <div>SKA4A</div>  </div> |                    | Kraków Piastów                                                                                                                                        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
| LINIA OKRĘŻNA                                                                                                   |                    | TRASA: Kraków Główny - Kraków Batowice - Kraków Piastów<br>- Kraków Nowa Huta - Kraków Przylasek - Kraków Biechanów<br>Kraków Płaszów - Kraków Główny |        |        |
| Czas* Przystanek:                                                                                               |                    | Dzień powszedni                                                                                                                                       | Soboty | Święta |
| 0                                                                                                               | Kraków Piastów     | 4 03                                                                                                                                                  | 4 03   | 4 03   |
| 6                                                                                                               | Kraków Lubocza     | 5 03                                                                                                                                                  | 5 03   | 5 03   |
| 11                                                                                                              | Kraków Nowa Huta   | 6 03                                                                                                                                                  | 6 03   | 6 03   |
| 16                                                                                                              | Kraków Kościelniki | 7 03                                                                                                                                                  | 7 03   | 7 03   |
| 20                                                                                                              | Kraków Przylasek   | 8 03                                                                                                                                                  | 8 03   | 8 03   |
| 26                                                                                                              | Węgrzce Wielkie    | 9 03                                                                                                                                                  | 9 03   | 9 03   |
| 28                                                                                                              | Kokotów            | 10 03                                                                                                                                                 | 10 03  | 10 03  |
| 31                                                                                                              | Kraków Złocień     | 11 03                                                                                                                                                 | 11 03  | 11 03  |
| 33                                                                                                              | Kraków Biechanów   | 12 03                                                                                                                                                 | 12 03  | 12 03  |
| 35                                                                                                              | Kraków Prokocim    | 13 03                                                                                                                                                 | 13 03  | 13 03  |
| 37                                                                                                              | Kraków Płaszów     | 14 03                                                                                                                                                 | 14 03  | 14 03  |
| 40                                                                                                              | Kraków Zabłocie    | 15 03                                                                                                                                                 | 15 03  | 15 03  |
| 42                                                                                                              | Kraków Grzegórzki  | 16 03                                                                                                                                                 | 16 03  | 16 03  |
| 45                                                                                                              | Kraków Główny      | 17 03                                                                                                                                                 | 17 03  | 17 03  |
| 57                                                                                                              | Kraków Batowice    | 18 03                                                                                                                                                 | 18 03  | 18 03  |
| 60                                                                                                              | Kraków Piastów     | 19 03                                                                                                                                                 | 19 03  | 19 03  |
| ...                                                                                                             |                    | 20 03                                                                                                                                                 | 20 03  | 20 03  |
| *czas przejazdu w minutach                                                                                      |                    | 21 03                                                                                                                                                 | 21 03  | 21 03  |
|                                                                                                                 |                    | 22 03                                                                                                                                                 | 22 03  | 22 03  |
|                                                                                                                 |                    | 23 03A                                                                                                                                                | 23 03A | 23 03A |
|                                                                                                                 |                    | A - kurs skrócony do stacji Kraków Główny                                                                                                             |        |        |

Rysunek 3. Rozkład jazdy linii SKA4A na przystanku Kraków Piastów

Figure 3. Timetable of the SKA4A line at Kraków Piastów station

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

### Przydział taboru i obsługi

Obsługa trasy mającej formę zamkniętej, ciągłej pętli wymaga zawsze użycia co najmniej dwóch pojazdów – każdy porusza się po pętli w innym kierunku (zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara i przeciwnie do nich, jako relacje SKA4A i SKA4B). Koncepcja zakłada „wchłonięcie” przez proponowaną linię SKA4 obecnych kursów realizowanego połączenia K63 i zwiększenie efektywności ich wozokilometrów oraz przypisanych pojazdów trakcyjnych.

Stałą obsługę połączenia zapewnią dwa pojazdy (brygady) w ciągu dnia. Pojazdy, w przeciwieństwie do ludzi, nie wymagają żadnej przerwy na odpoczynek i mogą być w ruchu praktycznie bez przerwy, co czyni połączenie bardzo wydajnym w myśl Lean Management (realizując proces w sposób ciągły). Osiągnięty zostanie dzięki temu maksymalnie wysoki wskaźnik wykorzystania taboru (brak przerw wyrównawczych w ciągu dnia), dlatego istotne jest, aby do obsługi połączenia wykorzystywane były jednostki charakteryzujące się wysoką sprawnością operacyjną. Przy nieprzerwanym wykorzystaniu pojazdów w ciągu dnia dla dobra pasażerów istotne jest zapewnienie gotowości pojazdu rezerwowego (analogicznie jak w przypadku komunikacji miejskiej). Jego dyspozycyjności nie należy uwzględniać w ramach brygad wymaganych

do obsługi połączenia – pociąg rezerwowý może jednocześnie pełnić funkcję zapasu dla większej liczby połączeń, np. wszystkich przewozów w rejonie krakowskiego węzła kolejowego.

Oprócz przydziału taboru należy zaplanować także przydział pracowników do obsługi połączenia. Ze względu na nieustanną pracę taboru w zamkniętej pętli (konsekwencja organizacji połączenia w formie linii okrężnej) konieczne było rozdzielenie harmonogramu pojazdów od harmonogramu pracowników, aby zapewnić tym ostatnim niezbędne przerwy. Harmonogram pracy drużyny trakcyjnej (maszynisty) oraz drużyny konduktorskiej jest tożsamy – wszyscy pracownicy drużyny pociągowej muszą mieć zapewnione przerwy w pracy. W zaproponowanym rozwiązaniu podczas obsługi zasadniczej pracują jednocześnie trzy zespoły obsługujące dwie brygady pociągowe naprzemiennie. Zmiany przewidziane są na stacji Kraków Główny, gdzie każdy kurs odbywa wydłużony do 6 min planowy postój. Na stacji znajduje się także niezbędne zaplecze socjalne, z którego pracownicy mogą korzystać podczas przerw w oczekiwaniu na przyjazd następnego kursu. Do całoninowej obsługi połączenia niezbędne jest sześć zespołów pracowników (oznaczonych cyframi 1–6) pracujących w systemie 8–9-godzinnych zmian. Pełny rozkład jazdy z uwzględnieniem zespołów przypisanych do obsługi poszczególnych kursów przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Obsługa połączeń linii SKA4 przez drużyny pociągowe

Table 6. Assignment of train crews to SKA4 services

| Oznaczenie kursu       | A1    | B1    | A2    | B2    | A3    | B3    | A4    | B4    | A5    | B5    | A6    | B6    |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Początek               | 3:54  | 4:23  | 4:54  | 5:23  | 5:54  | 6:23  | 6:54  | 7:23  | 7:54  | 8:23  | 8:54  | 9:23  |
| Koniec                 | 4:48  | 5:17  | 5:48  | 6:17  | 6:48  | 7:17  | 7:48  | 8:17  | 8:48  | 9:17  | 9:48  | 10:17 |
| Nr zespołu pracowników | 1     | 2     | 1     | 2     | 3     | 1     | 2     | 3     | 1     | 2     | 3     | 1     |
| Oznaczenie kursu       | B7    | A8    | B8    | A9    | B9    | A10   | B10   | A11   | B11   | A12   | B12   | A13   |
| Początek               | 10:23 | 10:54 | 11:23 | 11:54 | 12:23 | 12:54 | 13:23 | 13:54 | 14:23 | 14:54 | 15:23 | 15:54 |
| Koniec                 | 11:17 | 11:48 | 12:17 | 12:48 | 13:17 | 13:48 | 14:17 | 14:48 | 15:17 | 15:48 | 16:17 | 16:48 |
| Nr zespołu pracowników | 3     | 1     | 2     | 3     | 1     | 2     | 3     | 4     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| Oznaczenie kursu       | A14   | B14   | A15   | B15   | A16   | B16   | A17   | B17   | A18   | B18   | A19   | B19   |
| Początek               | 16:54 | 17:23 | 17:54 | 18:23 | 18:54 | 19:23 | 19:54 | 20:23 | 20:54 | 21:23 | 21:54 | 22:23 |
| Koniec                 | 17:48 | 18:17 | 18:48 | 19:17 | 19:48 | 20:17 | 20:48 | 21:17 | 21:48 | 22:17 | 22:48 | 23:17 |
| Nr zespołu pracowników | 5     | 6     | 4     | 5     | 6     | 4     | 5     | 6     | 4     | 5     | 6     | 5     |

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Długość czasu pracy wszystkich sześciu drużyn pociągowych mieści się w bezpiecznych normach. Szczegóły przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Czas pracy poszczególnych drużyn pociągowych

Table 7. Train crew working times

| Nr zespołu | Początek pracy | Koniec pracy | Czas pracy | Liczba kursów | Czas w ruchu | Czas przerw |
|------------|----------------|--------------|------------|---------------|--------------|-------------|
| 1          | 3:54           | 13:17        | 9:23       | 7             | 06:24        | 2:59        |
| 2          | 4:23           | 13:48        | 9:25       | 7             | 06:24        | 3:01        |
| 3          | 5:54           | 15:17        | 9:23       | 7             | 06:24        | 2:59        |
| 4          | 13:54          | 21:48        | 7:54       | 6             | 05:30        | 2:24        |
| 5          | 15:23          | 23:17        | 7:54       | 6             | 05:30        | 2:24        |
| 6          | 15:54          | 23:48        | 7:54       | 6             | 05:30        | 2:24        |

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Przykładowy rozkład pracy jednej z drużyn pociągowych (zespołu nr 1) przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Dzienny harmonogram pracy zespołu nr 1

Table 8. Daily work schedule of train crew no. 1

| Zadanie | Początek    | Koniec       | Czas |
|---------|-------------|--------------|------|
| Kurs A1 | <b>3:54</b> | 4:48         | 0:54 |
| Kurs A2 | 4:54        | 5:48         | 0:54 |
| Przerwa | 5:48        | 6:23         | 0:35 |
| Kurs B3 | 6:23        | 7:17         | 0:54 |
| Przerwa | 7:17        | 7:54         | 0:37 |
| Kurs A5 | 7:54        | 8:48         | 0:54 |
| Przerwa | 8:48        | 9:23         | 0:35 |
| Kurs B6 | 9:23        | 10:17        | 0:54 |
| Przerwa | 10:17       | 10:54        | 0:37 |
| Kurs A8 | 10:54       | 11:48        | 0:54 |
| Przerwa | 11:48       | 12:23        | 0:35 |
| Kurs B9 | 12:23       | <b>13:17</b> | 0:54 |

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Harmonogram można uznać za odpowiedni i zgodny z normami – nieprzerwany czas pracy nie przekracza 2 godz., a w ciągu zmiany zazwyczaj po godzinie pracy następuje ok. 30 min przerwy. Dzięki rozdzieleniu harmonogramu eksploatacji taboru i pracy obsługi zapewnione zostały długie przerwy dla pracowników przy jednoczesnym maksymalnym wykorzystaniu taboru.

W przypadku Krakowa maksymalizacja efektywności wykorzystania taboru jest szczególnie istotna w obliczu ograniczeń sprzętowych i stale rosnącego zapotrzebowania na przewozy regionalne, aglomeracyjne i miejskie. Zaproponowana strategia powinna się przyczynić do wzmocnienia roli kolei w układzie transportowym miasta zgodnie ze strategiami rozwoju mobilności [European Commission 2023].

## Specyfika funkcjonowania linii okrężnej

Opisany w poprzednim rozdziale wariant zakłada kursowanie pociągów w zamkniętej pętli typu A-B-C-D-A, czyli linię okrężną będącą rozwiązaniem nowatorskim w realiach polskiej kolei. Wymaga ono dodatkowego omówienia kilku istotnych aspektów, które wzięto pod uwagę na etapie koncepcyjnym projektu.

### Porównanie linii SKA4 z innymi liniami okrężnymi

Na świecie z powodzeniem funkcjonuje kilkanaście systemów okrężnych linii kolejowych [Liebchen i in. 2022]. W tabeli 9 zestawione zostały wybrane parametry dotyczące funkcjonowania linii istniejących i proponowanej linii SKA4.

Tabela 9. Zestawianie parametrów linii SKA4 z połączeniami okrężnymi funkcjonującymi na świecie  
Table 9. Comparison of SKA4 line parameters with circular railway services around the world

| Miasto    | Linia  | Długość [km] | Liczba stacji | Śr. odl. między stacjami [m] | Czas jazdy [min] | Prędkość średnia [km/h] | Prędkość maksymalna [km/h] | Inne linie na trasie | Szczytowy interwał [min] |
|-----------|--------|--------------|---------------|------------------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|
| Pekin     | 2      | 23,1         | 18            | 1280                         | 45               | 31,5                    | 80                         |                      | 2,5                      |
| Pekin     | 10     | 57,1         | 45            | 1270                         | 104              | 32,9                    | 80                         |                      | 2                        |
| Berlin    | S41/42 | 37,1         | 27            | 1370                         | 60               | 37,1                    | 80                         | +                    | 5                        |
| Chengdu   | 7      | 38,6         | 31            | 1250                         | 66               | 35,1                    | 80                         |                      | 3,5                      |
| Kopenhaga | M3     | 15,5         | 17            | 910                          | 30               | 31,0                    | 80                         | +                    | 3                        |
| Glasgow   | N/A    | 10,5         | 15            | 700                          | 24               | 26,3                    | 54                         |                      | 4                        |
| Hamburg   | U3     | 17,5         | 23            | 760                          | 40               | 26,3                    | 70                         | +                    | 2; 3; 5                  |
| Madryt    | 6      | 23,5         | 28            | 840                          | 52               | 27,1                    | 80                         |                      | 3                        |
| Moskwa    | 5      | 19,4         | 12            | 1620                         | 28               | 41,6                    | 80                         |                      | 1,75                     |
| Seul      | 2      | 48,8         | 43            | 1130                         | 84               | 34,9                    | 80                         | +                    | 2,33                     |
| Kraków    | SKA4   | 45,0         | 15            | 3000                         | 60               | 45                      | 100                        | +                    | 60                       |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Liebchen i in. 2022]

Source: own elaboration based on [Liebchen et al. 2022]

Wszystkie wyszczególnione linie pełnią odmienne funkcje niż zaproponowane połączenie okrężne prowadzone po dużej obwodnicy kolejowej Krakowa. Linia SKA4 miałaby się poruszać po tradycyjnej sieci kolejowej z małym zagęszczeniem stacji. Trasa linii nie przebiega przez gęsto zaludnione tereny, dlatego najprawdopodobniej nie przewiezie ona porównywalnego wolumenu pasażerów, a częstotliwość jej kursowania będzie wyraźnie niższa.

Zestawienie parametrów pokazuje, że linia SKA4 wyraźnie wyróżnia się na tle pozostałych linii okrężnych. Są to przede wszystkim wydajne systemy linii metra lub kolei miejskiej kursujące bardzo często, a linia SKA4 łączy o wiele słabiej zaludnione tereny, przystanki są położone od siebie dalej, prędkości większe, a pociągi pojawiają się na przystankach nieporównywalnie rzadziej. Z uwagi na te różnice organizacja połączenia SKA4 może wymagać zastosowania innowacyjnych strategii, np. w zakresie sposobów zarządzania opóźnieniami.

### **Reagowanie w razie opóźnień i awarii**

Okrężny charakter linii SKA4 wymaga niekonwencjonalnych strategii zarządzania opóźnieniami pojazdów będących praktycznie w nieustannym ruchu. Linie okrężne, tak jak wszystkie pozostałe linie komunikacyjne, narażone są na powstawanie opóźnień o różnej genezie. Ze względu na brak czasu wyrównawczego na końcu trasy (jak w przypadku klasycznych linii) zarządzanie opóźnieniami jest wyraźnie trudniejsze.

Do znanych z literatury sposobów reagowania w sytuacji opóźnień należą:

- przyspieszenie opóźnionego pojazdu – pominięcie przystanku, przejazd skrótem;
- spowolnienie pozostałych pojazdów w danym kierunku;
- włączenie pociągu rezerwowego do obsługi linii;
- włączenie pociągu z innego zadania przewozowego (np. linii okrężnej w drugim kierunku bądź odrębnej linii).

Jednak nie wszystkie te sposoby są adekwatne do specyfiki proponowanej linii SKA4, istotnie różniącej się od funkcjonujących systemów linii okrężnych na świecie. Z góry odrzucono przyspieszanie oraz opóźnianie kursów – przy zbyt niskiej częstotliwości kursowania pojazdów odstępstwa od rozkładu jazdy nie są możliwe. Odrzucono także możliwość włączenia do obsługi linii pociągu wykonującego inną pracę przewozową – w warunkach krakowskich każdy pojedynczy kurs jest istotny, ponieważ połączenia nie są ze sobą skoordynowane i nie oferują atrakcyjnych interwałów kursowania.

Jedynym wziętym pod uwagę pomysłem jest włączenie do obsługi pociągu rezerwowego. Przy opóźnieniu przekraczającym kilkanaście minut, a więc niemożliwym do nadrobienia na stacji Kraków Główny (gdzie odbywa się dłuższy postój wyrównawczy), zaleca się uruchomienie składu rezerwowego, który zostanie włączony do obsługi liniowej połączenia zgodnie z rozkładem jazdy najbliższego kursu. Opóźniony skład powinien dokończyć swój kurs liniowy tak, aby zapewnić pasażerom znajdującym się na pokładzie możliwość dotarcia do założonych celów podróży. Włączenie dodatkowego składu ograniczy nakładanie się opóźnień na następne połączenia.

Przy obsłudze linii SKA4 założono bardzo wysokie wykorzystanie taboru, który z racji specyfiki linii okrężnej pracuje nieustannie przez większość doby, aż do nocej przerwy technicznej przeznaczonej na mycie, sprzątanie oraz ewentualne naprawy. Przy planowaniu linii komunikacyjnej należy się liczyć z potencjalną awarią taboru. Poniżej omówiono dwa możliwe typy awarii występujące w ciągu dnia pracy.

#### **Awaria umożliwiająca dokończenie kursu**

W przypadku, w którym konieczna jest podmiana taboru, gdy może on dokończyć kurs liniowo, należy ją zaplanować w jak najwygodniejszy dla pasażerów sposób, mając na uwadze ciągłość odbywanych po obwodnicy podróży. W tym celu sugeruje się jej przeprowadzanie na stacji Kraków Główny, gdzie przewidziano kilkuminutowe przerwy. Podmiana powinna odbyć się w obrębie jednego peronu, przy którym pasażerowie odpowiednio poinformowani przesiadą się do czekającego składu rezerwowego bez konieczności pokonywania różnic poziomów na dworcu. Zabezpieczona rezerwa czasowa na stacji Kraków Główny pozwoli rozpocząć kolejny kurs bez niepotrzebnego opóźnienia, a sytuacja nie będzie dotkliwa dla pozostałych pasażerów.

#### Awaria niepozwalająca dokończyć kursu

Przygotowano także scenariusz na wypadek awarii uniemożliwiającej dokończenie kursu przez pojazd. Jest to sytuacja niekorzystna dla pasażerów, ponieważ skutkuje opóźnieniami lub koniecznością zmiany sposobu realizacji podróży. Zaletą okrężnego charakteru linii jest możliwość wyboru alternatywnej trasy przejazdu w przypadku wystąpienia zakłóceń w ruchu. Dla wielu podróżnych korzystnym rozwiązaniem może być skorzystanie z połączenia linii SKA4 kursującego w przeciwnym kierunku – rozkład jazdy został zaprojektowany w taki sposób, aby zapewnić atrakcyjną ofertę naprzemiennych odjazdów na kluczowych relacjach. Dodatkowo z wielu stacji obsługiwanych przez linię SKA4 kursują również inne pociągi regionalne, które mogą pełnić funkcję połączeń zastępczych. Częstotliwość kursowania linii SKA4 powoduje, że w przypadku awaryjnego odwołania kursu pasażerowie w najgorszym przypadku oczekują na odjazd maksymalnie godzinę. W wielu przypadkach możliwe będzie jednak szybsze odbycie podróży dzięki wyborowi alternatywnych połączeń.

W razie konieczności podmiany taboru zasadne wydaje się włączenie pojazdu rezerwowego do ruchu liniowego jako najbliższego możliwego kursu zgodnego z rozkładem jazdy. Pozwala to ograniczyć propagację opóźnień na kolejne kursy i sprawia, że skutki awarii dotyczą głównie pasażerów kursu, na którym wystąpiła usterka.

#### Systemy informacji pasażerskiej

Połączenia realizowane w formie linii okrężnej nie były dotąd stosowane w Polsce, dlatego konieczne jest stworzenie dobrego, czytelnego systemu informacji pasażerskiej (SIP). SIP przygotowany dla linii okrężnej musi różnić się od informacji przedstawianych w przypadku klasycznych linii. System powinien być zaprojektowany tak, aby pasażer wiedział, że dany kurs nie kończy biegu na żadnej ze stacji pośrednich. Należy uwzględnić fakt, że charakter linii może być dla niezorientowanego pasażera początkowo niezrozumiały.

Zgodnie ze stanem prawnym [MTBiGM 2013] w ramach SIP przewozów kolejowych konieczne jest przygotowanie tablicy kierunkowej zawierającej stacje początkową, końcową, stacje pośrednie oraz nazwę połączenia. Przykładową tablicę przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Tablica kierunkowa linii SKA4A

Figure 4. Destination board of the SKA4A line

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Zwrócono również uwagę na potrzebę podkreślenia okrężnego charakteru linii w ramach SIP wewnątrz pojazdów, na przystankach oraz na schematach. Zaleca się używanie w tym celu symbolu domkniętej pętli, np. w jeden ze sposobów przedstawionych na rysunku 5.



Rysunek 5. Graficzne sposoby podkreślenia okrężnego charakteru linii SKA4

Figure 5. Visual emphasis of the circular character of the SKA4 line

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Istotne jest także zwrócenie uwagi na odpowiednie oznaczenie kursów kończących bieg (bez kontynuacji pętli). Mogą to być kursy, przy których nastąpiła konieczność wymiany taboru i w konsekwencji przesiadki pasażerów do drugiego pojazdu w obrębie jednego peronu – w tej sytuacji niezbędne jest skuteczne informowanie pasażerów za pomocą odpowiednich komunikatów głosowych. Także w przypadku kończenia biegu pociągu, który rozkładowo nie kontynuuje jazdy w pętli (np. ostatniego kursu linii w ciągu doby), szczególnie ważne jest informowanie pasażerów z wyprzedzeniem oraz specjalne oznaczenie kursu w rozkładzie jazdy.

## Podsumowanie i wnioski

Linie okrężne stanowią interesujące i stosunkowo rzadko wykorzystywane rozwiązanie organizacyjne w transporcie kolejowym. Systemy tego typu funkcjonują z powodzeniem w wielu aglomeracjach świata, szczególnie jako element wydajnych systemów kolei miejskiej i metra. Ich główną cechą jest organizacja ruchu w formie zamkniętej pętli, bez klasycznej stacji początkowo-końcowej, co prowadzi do odmiennego sposobu planowania pracy przewozowej, zarządzania taboru oraz organizacji ruchu.

Przeprowadzona analiza potwierdziła, że linie okrężne mogą oferować szereg korzyści niedostępnych dla klasycznych połączeń radialnych. Szczególnie istotny jest bardzo wysoki poziom wykorzystania taboru – dzięki eliminacji postojów technicznych i ograniczeniu czasu potrzebnego na zmianę kierunku jazdy możliwe staje się zwiększenie efektywności funkcjonowania systemu transportowego bez konieczności proporcjonalnego zwiększania zasobów. Zwłaszcza w tym aspekcie widoczne jest powiązanie linii okrężnych z filozofią Lean Management. Organizacja połączeń w formie zamkniętej pętli pozwala ograniczyć część zjawisk uznawanych za marnotrawstwo w systemach

transportowych. Linie okrężne mogą więc stanowić przykład praktycznego wykorzystania założeń Lean w transporcie publicznym poprzez dążenie do maksymalizacji wartości dostarczanej pasażerom przy możliwie efektywnym wykorzystaniu infrastruktury, taboru i pracy ludzkiej.

Jednocześnie analiza wykazała, że systemy okrężne wymagają bardzo sprawnego zarządzania operacyjnego. Ograniczenie rezerw czasowych oraz brak klasycznych stacji końcowych utrudniają reagowanie na zakłócenia w ruchu pojazdów, a opóźnienia mogą łatwo przenosić się na kolejne kursy. Konieczne jest więc stosowanie odpowiednich procedur reagowania oraz utrzymywanie rezerwy taborowej. Istotne jest także przygotowanie pasażerów do korzystania z połączenia o nietypowym charakterze, które w warunkach polskich pozostaje rozwiązaniem praktycznie niespotykanym.

Przeprowadzone studium przypadku wykazało, że uruchomienie linii okrężnej SKA4 prowadzonej po dużej obwodnicy kolejowej Krakowa jest możliwe przy wykorzystaniu istniejącej infrastruktury, bez konieczności realizacji dodatkowych inwestycji. Opracowana koncepcja pozwoliła wytyczyć 45-kilometrową pętlę obsługiwaną w dwóch kierunkach, dla której czas przejazdu pełnego obiegu wynosi 54 minuty. Parametr ten umożliwia skonstruowanie czytelnego, godzinnego rozkładu jazdy z równymi odstępami między kursami.

Do całodzienniej obsługi linii wystarczają dwa pojazdy będące praktycznie nieprzerwanie w ruchu. Pozwala to ograniczyć postoje nieprodukcyjne, wyeliminować konieczność zmiany kierunku jazdy oraz zwiększyć stopień wykorzystania taboru, co jest zgodne z założeniami Lean Management dotyczącymi eliminacji marnotrawstwa.

Opracowany rozkład przewiduje realizację 39 kursów oraz ok. 1755 wozokilometrów pracy przewozowej dziennie. Dzięki dwukierunkowej obsłudze pętli pasażerowie uzyskują możliwość wyboru alternatywnych tras przejazdu, a liczba dostępnych relacji bezpośrednich ulega zwiększeniu. W ramach niniejszej pracy przygotowano szczegółowe założenia funkcjonowania połączenia, obejmujące m.in. organizację obiegów taboru i harmonogram pracy drużyn pociągowych. Jednocześnie potwierdzono, że głównym ograniczeniem funkcjonowania linii okrężnych pozostaje zarządzanie zakłóceniami ruchowymi. W warunkach krakowskich najbardziej efektywną strategią reagowania na opóźnienia i awarie wydaje się wykorzystanie pojazdu rezerwowego, umożliwiające ograniczenie skutków zakłóceń do pojedynczych kursów.

Zaproponowane rozwiązanie mogłoby poprawić dostępność komunikacyjną części miasta, a także zwiększyć atrakcyjność podróży wewnątrzmięjskich realizowanych za pomocą kolei. Linia SKA4 mogłaby także pełnić funkcję czynnika stymulującego rozwój przestrzenny terenów położonych w jej sąsiedztwie.

Opracowanie nie wyczerpuje w pełni tematyki linii okrężnych oraz ich potencjalnego zastosowania. Dla krakowskiego poligonu zasadne byłoby przeprowadzenie w przyszłości modelowania potoków pasażerskich, szczegółowej analizy przepustowości infrastruktury czy symulacji odporności systemu na zakłócenia ruchowe pozwalającej wypracować optymalną strategię w zakresie zarządzania opóźnieniami.

Koncepcja kolejowych połączeń okrężnych pozostaje niewątpliwie ciekawym, wartym dalszego rozwijania zagadnieniem. Przeprowadzona analiza wskazuje, że odpowiednio zaprojektowane linie okrężne mogą przynieść liczne korzyści dla systemów transportowych w Polsce i na świecie.

## **Bibliografia**

- Ciastoń-Ciulkin A., Puławska-Obiedowska S., Trzebunia A., 2024: Badanie znaczenia kolei w podróżach wewnątrzmijskich na przykładzie rejonu osiedla Złocien w Krakowie, *Transport Miejski i Regionalny* 1, 20–24.
- European Commission, 2023: Topic Guide – Planning for attractive public transport, [https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-11/planning\\_for\\_attractive\\_public\\_transport.pdf](https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-11/planning_for_attractive_public_transport.pdf) [dostęp: 08.05.2026].
- Liebchen C., Dutsch S., Jin S., Tomii N., Wang Y., 2022: The ring never relieves – Response rules for metro circle lines, *Journal of Rail Transport Planning & Management* 23, 100331.
- Madrjas J., 2016: Do 100 km/h po kolejowej obwodnicy Krakowa, *Rynek Kolejowy*, <https://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/do-100-kmh-po-kolejowej-obwodnicy-krakowa-79460.html> [dostęp: 08.05.2026].
- MTBiGM, 2013: Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 3 stycznia 2013 r. w sprawie sposobu prowadzenia rejestru oraz sposobu oznakowania pojazdów kolejowych, *DzU* 2013, poz. 211.
- Nash A., Canzler M., 2014: Timetable planning and coordination, *International Association of Public Transport (UITP)*, Bruksela.
- Ohno T., 1988: *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, Portland, OR.
- Pitka P., Simeunović M., Miličić M. i in., 2024: Planning level optimisation of headway regularity, *Applied Sciences* 14(13), 5706.
- PKP PLK, 2025a: Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1, [https://www.plk-sa.pl/files/public/user\\_upload/pdf/Akty\\_prawne\\_i\\_przepisy/Instrukcje/Wydruk/Ir/Instrukcja\\_Ir-1\\_od\\_29\\_05\\_2025\\_WCAG..pdf](https://www.plk-sa.pl/files/public/user_upload/pdf/Akty_prawne_i_przepisy/Instrukcje/Wydruk/Ir/Instrukcja_Ir-1_od_29_05_2025_WCAG..pdf) [dostęp: 08.05.2026].
- PKP PLK, 2025b: Sieciowy rozkład jazdy pociągów – ważny od 26.10.2025 r. do 13.12.2025 r., <https://portalpasazera.pl/Tablice> [dostęp: 10.12.2025].
- Polregio, 2025: Małopolska – schemat linii komunikacyjnych, <https://polregio.pl/media/26608/schemat-linii-komunikacyjnych.pdf> [dostęp: 08.05.2026].
- Suzuki H., Cervero R., Iuchi K., 2013: Transforming cities with transit: Transit and land use integration for sustainable urban development, *World Bank Publications*, Waszyngton, DC.
- Tirachini A., Godachevich A., Cats O., Muñoz J.C., Soza Parra A., 2021: Headway variability in public transport: A review, *Transport Reviews* 42(3), 337–361.
- Zhou Y., Wang Y., Liebchen C., Zhu S., Li B., Zhou D., 2024: Train rescheduling for a metro circle line: a comparison of different response rules, *Transportmetrica B: Transport Dynamics* 12(1), 2336041.