

Koleje dużych prędkości w Chinach – stan aktualny i perspektywy rozwoju

Janusz POLIŃSKI¹

Streszczenie

Artykuł przedstawia rozwój kolei dużych prędkości w Chinach. Długość linii chińskiej sieci kolei dużych prędkości (kdp) przewyższa długością sumę tego rodzaju linii w pozostałych państwach świata, które eksploatują ten środek transportu. W artykule opisano: rozwój sieci kdp w Chinach, infrastrukturę torową, stosowane rozwiązania torów bezpodsypekowych, pasażerski tabor przewoźny oraz dworce i stacje pasażerskie pod względem rozwiązań urbanistycznych wraz z infrastrukturą towarzyszącą. Zwrócono także uwagę na koszty budowy, zaplecze naukowo-badawcze i biznesowe, bez którego w Chinach nie byłby możliwy tak szybki rozwój tej gałęzi transportu. Wiedza z tego zakresu może pomóc przy planowanym w Polsce rozwoju kdp, związanym głównie z Centralnym Portem Komunikacyjnym.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, koleje dużych prędkości, kdp w Chinach

1. Wstęp

Najszybszy rozwój kolei dużych prędkości (kdp) ma miejsce w Chinach. Wobec projektów budowy takiej sieci w Polsce, warto przybliżyć te doświadczenia. Pod względem długości linii kdp, Chiny są obecnie światowym liderem. Sieć szybkiej kolei jest tam najdłuższa na świecie (rys. 1).



Rys. 1. Sieć kdp na świecie, według stanu z lutego 2020 [źródło: UIC, The Worldwide Railway Organization]

Celem artykułu jest opisanie rozwoju kdp w Chinach, przez pokazanie układu linii, a także zastosowanych standardów związanych z budową torów i dworców kolejowych, kosztów, a także działań naukowo-badawczych i ich ścisłego związku z przemysłem. Jest to istotne z punktu

widzenia rozwoju takiej sieci w Polsce, która planuje budowę Centralnego Portu Komunikacyjnego. Polskie linie kdp opracowują obecnie standardy ich budowy, które uwzględniają jedynie osiągnięcia kolei europejskich, warto zatem przedstawić niektóre kierunki działań największej sieci kdp na świecie.

2. Rozwój sieci kdp w Chinach

Rozwój kdp w Chinach rozpoczął się w latach 90. XX wieku. Był podyktowany koniecznością wzmocnienia kolejowego transportu pasażerskiego między głównymi miastami Chin. Kamieniem milowym dla rozwoju kdp było zatwierdzenie w 2004 roku średnioterminowego i długoterminowego planu kolejowego (MLTRP). W tym czasie wielkość przewozów pasażerskich szybko rosła, a mała prędkość pociągów konwencjonalnych, znacznie ograniczała ich konkurencyjność z transportem drogowym i lotniczym. Plan przewidywał, że do 2020 r. krajowa infrastruktura kolejowa wzrośnie do 100 000 km, z czego 12 000 km będą stanowiły linie kdp. Sieć będą tworzyły cztery poziome i cztery pionowe korytarze łączące wszystkie główne miasta [9]. Po zatwierdzeniu szczegółowych planów budowy linii, kolejnym krokiem było zapewnienie solidnego zaplecza technologicznego zarówno dla elementów infrastruktury, jak i dla taboru.

¹ Dr inż.; emerytowany pracownik Instytutu Kolejnictwa, e-mail: jpolin53@vp.pl.

W początkowym okresie, budowa była realizowana w ramach umów dotyczących transferu technologii z niektórych krajów europejskich, takich jak Niemcy i Francja, a także dostawców japońskich. Jednocześnie Chiny szybko dostosowały i ulepszyły projekty do użytku krajowego. W zakresie wymiany doświadczeń w tej dziedzinie Chiny nawiązały współpracę z Międzynarodowym Związkiem Kolejowym UIC, w celu opracowania norm i standardów budowy kdp. Realizacja prac odbywała się w ramach pięcioletnich planów rozwoju kolei (FYP), określających projekty, które miały być zrealizowane w każdym pięcioletnim cyklu, aż do 2020 roku. Do ważniejszych efektów realizacji planu należy zaliczyć [10]:

- otwarcie 01.08.2008 roku dla ruchu międzymiastowego linii Pekin – Tianjin, będącej pierwszą w Chinach szybką koleją z całkowicie niezależnymi prawami własności intelektualnej zastosowanych rozwiązań technicznych;
- uruchomienie 26.12.2009 roku linii szybkiej kolei Wuhan – Guangzhou, pierwszej w Chinach szybkiej kolei o najwyższej w tym czasie przepustowości linii;
- oddanie do eksploatacji 06.02.2010 roku linii Zhenzhou – Xi'an, dostosowanej do prędkości kursowania pociągów z prędkością 350 km/h. Była to pierwsza linia kolejowa na świecie budowana na dużym obszarze mokrego lessu, co stanowiło duże wyzwanie w zakresie konstrukcji toru i jego posadowienia;
- otwarcie 26.10.2010 roku linii Szanghaj – Hangzhou, na której uruchomiono nowe pociągi serii CRH380A, skonstruowane na bazie najnowszych, możliwych do zastosowania rozwiązań technicznych i technologicznych,
- otwarcie 30.06.2011 roku linii Pekin – Szanghaj o łącznej długości 1318 km, która połączyła chińską stolicę z metropolią Szanghaj.

Do stycznia 2011 roku Chiny ukończyły budowę 8358 km linii kdp, zajmując wówczas pierwsze miejsce na świecie. Jednocześnie na początku 2012 roku chiński rząd zdecydował o ponownym zainwestowaniu w szybką koleją, aby ożywić spowolnienie gospodarcze kraju. Jednocześnie zwiększono budżet ministerstwa związany z inwestycjami, który wzrósł z 643 miliardów dolarów do 965 miliardów dolarów [10].

Kolejnymi efektami związanymi z rozwojem kdp w Chinach było uruchomienie w 01.12.2012 roku pierwszej na świecie szybkiej linii kolejowej w rejonie „wysokiego zimna” – tzw. kolei Harbin. Do końca 2012 roku długość sieci kdp w Chinach wynosiła 9300 km.

W 2013 roku chińska kdp zwiększyła długość linii o 1107 km, powiększając sieć do długości 10 463 km. Przytaczając ważne daty w rozwoju chińskiej szybkiej kolei, należy wymienić 26.12.2014 rok, kiedy otwarto linię Lan-Xin (Lanzhou – Xinjiang), pierwszą chińską linię kdp, położoną w piaskowym rejonie pustyni Gobi [10].

Sieć kolei kdp do 2014 roku objęła 28 prowincji i dużych aglomeracji, łącząc ponad 160 miast na poziomie prefektur. Pod koniec 2015 roku uruchomiono linię otaczającą wyspę Hainan i całkowita długość sieci kdp przekroczyła 19 000 kilometrów [12]. Jednocześnie rząd aktywnie promował eksport technologii kolei dużych prędkości do takich krajów, jak Meksyk, Tajlandia, Wielka Brytania, Indie, Rosja i Turcja. W celu osiągnięcia większej konkurencji z zagranicznymi producentami pociągów, władze centralne połączyły dwóch głównych krajowych producentów taboru kolejowego dużych prędkości: CSR (*China South Locomotive & Rolling Stock Corporation Limited*) i CNR (*China Northern Locomotive & Rolling Stock Industry Corporation*), w CRRC (*China National Railway Locomotive & Rolling Stock Industry Corporation*) [11].

Szczegółowy przegląd zadań zrealizowanych w ramach dotychczasowych programów przeprowadzono w 2016 roku. Strukturę sieci rozszerzono z pierwotnych czterech pionowych i czterech poziomych korytarzy (4 + 4), do ośmiu pionowych i ośmiu poziomych korytarzy (8 + 8), które miały być uzupełnione dodatkowymi połączeniami regionalnymi i międzymiastowymi. Według stanu na wrzesień 2016 roku, całkowity przebieg chińskiej kolei dużych prędkości osiągnął 20 000 kilometrów, co stanowiło ponad 60% długości linii kdp na świecie [10].

Sieć 4 + 4 kdp składała się z ośmiu korytarzy kolei dużych prędkości, czterech biegnących z północy na południe i czterech ze wschodu na zachód. Jej długość wynosiła 12 000 km. Większość linii tego układu przebiega wzdłuż linii konwencjonalnych i jest przeznaczona wyłącznie dla ruchu pasażerskiego. Kilka odcinków sieci krajowej, zwłaszcza wzdłuż południowo-wschodniego korytarza przybrzeżnego, zbudowano w celu połączenia miast, które wcześniej nie miały połączeń kolejowych. Są to z reguły linie o ruchu mieszanym². Na tych liniach pociągi dużych prędkości mogą osiągać prędkość 300–350 km/h. Na liniach o ruchu mieszanym, pociągi pasażerskie mogą osiągać prędkość maksymalną 200–250 km/h. Ten ambitny, krajowy projekt sieci miał być zrealizowany do 2020 roku. Jednak dzięki przyspieszeniu wielu prac, sieć 4 + 4 zrealizowano do końca 2015 roku [12].

Według chińskiego Ministerstwa Transportu, nowy plan budowy sieci kdp oparto na szczegółowych analizach modeli ruchu, badań potrzeb podróży, utrzymujących się i rozwijanych trendów popartych konsultacjami społecznymi, których wyniki wdrażał do działań prognostyczno-projektowych specjalnie powołany ekspercki komitet doradczy.

Dzięki sieci 8 + 8 umożliwiono realizowanie ruchu okrężnego między sąsiednimi dużymi i średnimi miastami od jednej do czterech godzin oraz od pół godziny do czterech godzin, a dla centrów regionalnych od pół godziny do dwóch godzin. Układ sieci kdp, przewidywany do uzyskania w 2030 roku, zamieszczono na rysunku 2.

² Pod pojęciem ruchu mieszanego należy w tym przypadku rozumieć prowadzenie ruchu kdp wraz z pasażerskimi przewozami konwencjonalnymi, bez ruchu towarowego.



Rys. 2. Mapa planowania kolei dużych prędkości w Chinach do 2030 r. – sieć 8 + 8 HSR [13]

Korytarze kdp na kierunku północ – południe [13]:

- Przejście przybrzeżne: korytarz kdp biegnący wzdłuż wschodniego wybrzeża Chin: rozpoczyna się od Dalian na północy do Fangchenggang na południu kraju i przebiega przez miasta Qinhuangdao, Tianjin, Dongying, Weifang, Qingdao, Lianyungang, Yancheng, Nantong, Szanghaj, Ningbo, Fuzhou, Xiamen, Shenzhen i Zhanjiang.
- Pekin – Szanghaj: linia kdp łącząca Pekin, stolicę Chin, z drugą metropolią – Szanghaj: przebiega przez miasta Pekin, Tianjing, Dongying, Weifang, Linyi, Yangzhou, Nantong i Szanghaj. Łączy aglomeracje miejskie w północnych i wschodnich Chinach, a także w regionie Pekin-Tianjin-Hebei i delcie rzeki Jangcy.
- Pekin – Hongkong (Tajpej): linia kdp składająca się z dwóch odgałęzień. Jedna gałąź przebiega przez miasta Beijing, Xiong'an, Hengshui, Heze, Shangqiu, Fuyang, Hefei, Jiujiang, Nanchang, Ganzhou, Shenzhen i ostatecznie kończy w Hongkongu. Druga gałąź rozdziela się na stacji Hefei, przechodząc przez Hefei, Fuzhou, a następnie zatrzymuje się w Tajpej.
- Harbin – Hongkong (Makau): szybka kdp łącząca miasto Harbin w prowincji Heilongjiang i inne główne miasta śródlądowe z Hongkongiem i Makau przez Pekin. Biegnie przez miasta Harbin, Changchun, Shenyang, Pekin, Shijiangzhuang, Zhengzhou, Wuhan, Changsha, Guangzhou, Shenzhen i Hongkong. Jedna część linii odgałęzia się na stacji Guangzhou i dochodzi do Zhuhai i Makau.
- Hohhot – Nanning: kdp łącząca północne Chiny, centralne równiny, środkowe Chiny i południowe Chiny. Biegnie od miejscowości Hohhot w Mongolii Wewnętrznej

do miasta Nanning w Guangxi, przechodząc przez miasta Datong, Taiyuan, Zhengzhou, Xiangyang, Changde, Yiyang, Shaoyang, Yongzhou, Guilin.

- Pekin – Kunming: kdp od Pekinu do Kunming. Główna trasa przebiega przez miasta: Xiong'an, Baoding, Xinzhou, Taiyuan, Xi'an, Chengdu i Chongqing. Oprócz głównej trasy, jedno odgałęzienie biegnie z Pekinu do Taiyuan przez Zhangjiakou i Datong, a drugie odgałęzienie łączy Chongqing z Kunming.
- Baotou (Yinchuan) – Hainan Passageway: szybka kolej rozciągająca się z Baotou do Haikou (Sanya); przechodzi przez miasta Yan'an, Xi'an, Chongqing, Guiyang, Nanning, Zhanjiang. Ten korytarz obejmuje linię z Yinchuan do Xi'an i linię kdp wokół wyspy Hainan.
- Lanzhou (Xining) – Guangzhou Passageway: kdp łącząca północno-zachodnie, południowo-zachodnie i południowe Chiny; przebiega przez miasta Lanzhou (Xining), Chengdu (Chongqing), Guiyang i Guangzhou. Korytarz ma dwa zakończenia w Lanzhou i Xining, które spotykają się w Chengdu w prowincji Syczuan. Z Chengdu korytarz przechodzi przez Guiyang, a następnie kończy się w Guangzhou.

Korytarze kdp na kierunku wschód – zachód [13]:

- Suifenhe – Manzhouli: szybka kolej położona w północno-wschodnich Chinach, rozciągająca się od Suifenhe w Heilongjiang do Manzhouli w Mongolii Wewnętrznej: przebiega przez miasta rzeki Mudan, Harbin, Tsitsihar i Hailar.
- Pekin – Lanzhou: kdp łącząca północne i północno-zachodnie Chiny; przebiega z Pekinu przez Hohhot i Yinchuan do Lanzhou.

- Qingdao – Yinchuan: linia szybkiej kolei zaczyna się w mieście Qingdao w nadmorskiej prowincji Shandong i prowadzi do miasta Yinchuan w prowincji Ningxia.
- Eurasia Continental Bridge Passage: szybka kolej łącząca Lianyungang w prowincji Jiangsu z miastem Urumqi w prowincji Xinjiang. Trasa przebiega przez miasta: Xuzhou, Zhengzhou, Xi'an, Lanzhou i Xining.
- Korytarz wzdłuż rzeki Jangcy: szybka kolej, która będzie kursowała w kierunku wschód-zachód łącząc miasta: Szanghaj, Nankin, Hefei, Wuhan, Chongqing i Chengdu.
- Szanghaj – Kunming Passageway: linia kolei dużych prędkości zbudowana etapami i ukończona 28 grudnia 2016 r.; rozpoczyna się w Szanghaju i kończy w mieście Kunming; przebiega przez miasta: Hangzhou, Nanchang, Changsha i Guiyang.
- Xiamen – Chongqing; kdp łącząca zachodnie wybrzeże Cieśniny Tajwańskiej, południowo-środkowe i południowo-zachodnie regiony Chin rozciągająca się od Xiamen do Chongqing; przebiega przez miasta: Longyan, Ganzhou, Changsha, Changde, Zhangjiajie i Qianjiang.
- Guangzhou – Kunming: kdp przebiegająca przez miasta Guangzhou, Nanning i Kunming. Składa się z istniejącej szybkiej kolei Nanning – Guangzhou oraz szybkiej kolei Nanning – Kunming. Funkcjonuje od 28 grudnia 2016 r.

W wyniku systematycznego rozwoju linii kdp w Chinach, łączna długość sieci kolejowej dużych prędkości w listopadzie 2020 roku osiągnęła długość 36 000 km. Zakłada się, że do 2030 roku sieć będzie rozbudowana do długości 45 000 km.

3. Infrastruktura torowa

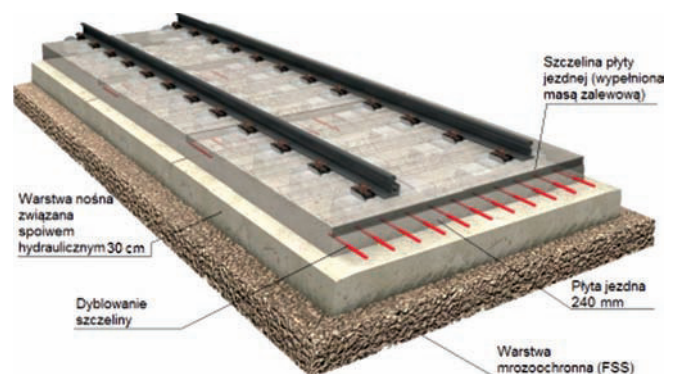
W aglomeracjach miejskich charakteryzujących się zwartą zabudową, koleje kdp korzystają z linii konwencjonalnych, po których poruszają się pociągi pasażerskie podmiejskie, a nawet towarowe. Są to tradycyjne linie z podsypką tłuczniewą (rys. 3). Na podstawie niemieckich doświadczeń panuje powszechny pogląd, że zwiększenie prędkości pociągów na linii kolejowej ze 160–200 km/h do 250–300 km/h powoduje konieczność dwukrotnego zwiększenia kosztów utrzymania nawierzchni kolejowej o klasycznej konstrukcji [4].

Proces budowy linii kolejowych przeznaczonych do przewozów pasażerskich, tzw. PDL (*Personal Dedicated Line*) rozpoczął się w latach 90. XX wieku w celu wzmocnienia transportu pasażerskiego między głównymi miastami w Chinach. W tym okresie koleje chińskie zainteresowały się systemami torów płytowych. Już wówczas uznano, że ten typ torów powinien stanowić podstawowe zainteresowanie projektantów nowych linii, które poprzedzały późniejszy rozwój kdp. Wiele linii przeznaczonych dla przewozów osobowych, już wówczas budowano lub modernizowano jako tory bezpodsypkowe, które umożliwiają płynniejszą jazdę pociągami przy większych prędkościach. W początkowym okresie technologia torów bezpodsypkowych była importowana z Niemiec (rys. 4). Wiązało się to

z wyższymi kosztami początkowymi, jednak w efekcie skutkowało niższymi kosztami utrzymania [14]. Wykaz typowych technologii torowych w początkowym okresie budowy kdp w Chinach, zamieszczono w tablicy 1.



Rys. 3. Pociąg kdp na konwencjonalnym torze na podsypce [15]



Rys. 4. Konstrukcja nawierzchni RHEDA 2000 bez zbrojenia ciągłego (następca rozwiązania RHEDA-Züblin) [4]

Tablica 1
Technologie rozwiązań nawierzchni torowych w pierwszym okresie budowy kdp w Chinach [14, 17]

Oznaczenie technologii	Rodzaj toru	Pochodzenie technologii	Linia
CRTS I	Tor płytowy	RTRI, Japonia	Hada PDL
CRTS II	Tor płytowy	Max Bögl, Niemcy	Jingjin ICL
CRTS IIIs	Tor płytowy	CRCC, Chiny	Chengguan PDL
CRTS IIb	Tor bez tłucznia	Züblin, Niemcy	Zhengxi PDL

Tory na płytach, umożliwiające jazdę z większymi prędkościami niż na tradycyjnych torach z podsypką, coraz bardziej inspirowały konstruktorów. Jednak zastosowanie toru płytowego w Chinach jest ograniczone ze względu na mosty lub krótkie tunele. Do praktycznego zastosowania, brano pod uwagę tylko trzy typy systemów toru płytowego: system prefabrykowanych płyt, system monolityczny (klasyczny „Rheda”) i tzw. system podkładów dwublokowych. Tory płytowe po raz pierwszy zastosowano w 1999 roku na

długich mostach, na linii kolejowej Qin-Shen – kdp między Qinhuangdao-Shenyang (rys. 5).



Rys. 5. Nawierzchnia z płyt na moście Guohe w Qin-Shen [16]

Linie o długości 404 km, zaprojektowaną dla maksymalnej prędkości 200 km/h, otwarto w 2003 roku. Była to pierwsza, nowo wybudowana linia kolei dużych prędkości w Chinach. Podczas eksploatacji stwierdzono awarie, takie jak: luźne łączniki i pęknięcie warstwy zaprawy z betonu asfaltowego. W celu wdrożenia budowy torów na płytach, chińscy inżynierowie kolejowi przeprowadzili wiele badań. Podczas rozbudowy tej linii dokonano optymalizacji w celu ograniczenia tych awarii, jednak nadal brakowało doświadczenia w budowaniu torów płytowych.

W celu przyspieszenia budowy sieci kdp, od 2005 roku do budowy nowych linii zaczęto stosować technologię zakupioną w Niemczech i Japonii, gdzie stosowanie torów płytowych miało już wieloletnie doświadczenie. Zaadoptowano cztery układy torów płytowych z dwiema formami

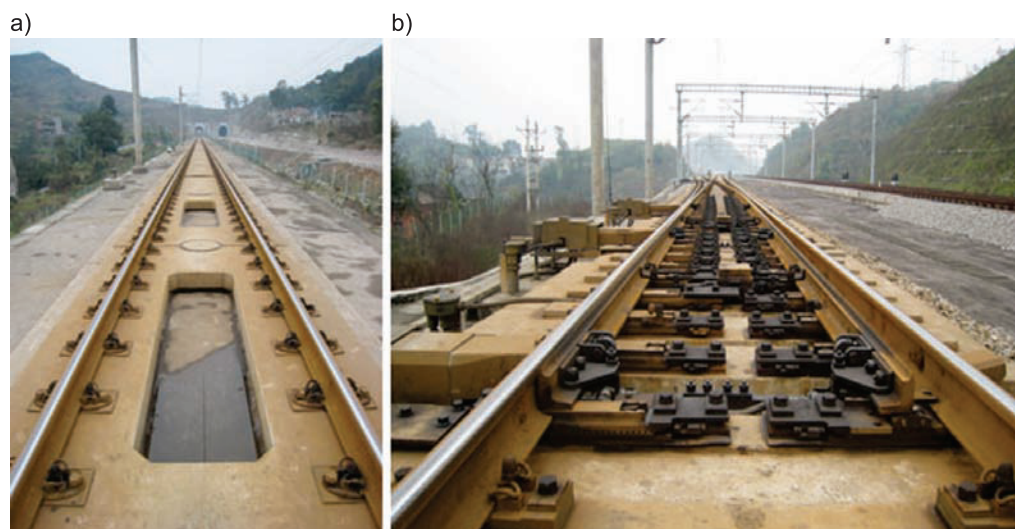
podstawowymi (prefabrykowane tory płytowe i tory z podkładami dwublokowymi). Na tej podstawie narodziły się dwa chińskie typy torów: CRTS I oraz CRTS II. System torów płytowych CRTS I przeniesiono z japońskiego systemu torów z płyt prefabrykowanych, a system torów podkładowych z podwójnymi blokami CRTS I przeniesiono z niemieckiego rozwiązania „Rheda 2000”. Tor płytowy CRTS II oparto na rozwiązaniu z prefabrykowanymi płytami firmy Max Bögl (Niemcy), natomiast system podwójnych podkładów betonowych CRTS II został przeniesiony z niemieckiego rozwiązania „Züblin”. Pierwszą linię testową zbudowano z sześciu typów torów płytowych, tj. z płyt:

- prefabrykowanych (niezwiązanych),
- prefabrykowanych z matą elastyczną,
- ramowych prefabrykowanych (niezwiązanych),
- prefabrykowanych ze złączem wzdłużnym,
- z podkładów betonowych dwupłytowych oraz jednoblokowych sprężonych.

W pilotażowym projekcie zrealizowano nie tylko eksploatację tych sześciu typów torów płytowych i różnego typu rozjazdów, a także wykonano tory płytowe na mostach o rozpiętości powyżej 80 metrów. Budowę linii testowej zakończono w 2006 roku. Dopuszczalna prędkość na linii testowej wynosiła 200 km/h dla pociągów pasażerskich i 140 km/h dla pociągów towarowych. Fragment linii pokazano na rysunku 6. Do 2007 roku prędkość maksymalną na tej linii zwiększono do 250 km/h, a w następnych latach linię zmodernizowano do prędkości 300 km/h.

Zebrane doświadczenia podczas budowy oraz montażu układów torowych i rozjazdów, a także metod kontroli i pomiarów podczas eksploatacji określono jako kamień milowy w historii budowy kdp w Chinach [9]. Strategia „uczenia się przez budowanie”, która była praktykowana w Niemczech i Japonii od ponad 40 lat, nie była jednak zgodna z chińskimi wymaganiami.

Opierając się na przekazanych technologiach i eksperymentach zebranych podczas budowy linii Sui-Yu i Wu-Guang,



Rys. 6. Prefabrykowane płyty [16]: (a) ramowe na torze, (b) płyty pod rozjazdami

chińskie Ministerstwo Transportu zażądało opracowania programu badawczego dotyczącego udoskonalenia toru bez podsypki. Program rozpoczęty w 2007 roku miał na celu poprawę teorii projektowania, technologii budowy nowych linii, koncepcji i rozwiązań sprzętu budowlanego, nowych technologii prowadzenia instalacji oraz technologii utrzymania i konserwacji linii kdp. W trakcie realizacji projektu opracowano nowe systemy torów płytowych, które miały sprostać chińskim wymaganiom. Badaniami objęto także stosowaną w rozwiązaniach płytowych zaprawę cementowo-asfaltową, która stała się centralnym punktem tych badań. W wyniku wcześniejszych prac, które rozszerzono w 2009 r., opracowano nowy system torów płytowych CRTS III, który charakteryzuje się następującymi właściwościami [16]:

- W trakcie wykonywania płyt, za pomocą specjalnych desek szalunkowych umożliwiono regulację położenia siedzisk szynowych w kierunku poprzecznym i pionowym (rys. 7).
- Podczas produkcji można ustawić przechyłkę i łuki. Regulacja desek szalunkowych jest wspomagana przez

specjalny program komputerowy, który może obliczyć dokładne położenie siedzeń szyn. Precyzyjną regulację zapewnia zastosowany system mocowania WJ-8C, który dodatkowo zapewnia równość szyny.

- Brak łączenia płyt na mostach. Konstrukcja nośna i pozostała część konstrukcji są oddzielone warstwą ślizgową składającą się z dwóch warstw geowłókniny i wodoodpornej folii. Zadaniem tej warstwy jest powstrzymanie rozszerzania się i kurczenia płyt bez ograniczeń ze strony konstrukcji nośnej. Ułatwione są prace konserwacyjne i naprawcze.
- Zastosowano wzdłużne łączenie płyt na robotach ziemnych oraz w tunelach: tor płytowy łączy się w kierunku wzdłużnym, aby poprawić komfort jazdy i zmniejszyć efekt dynamiczny.

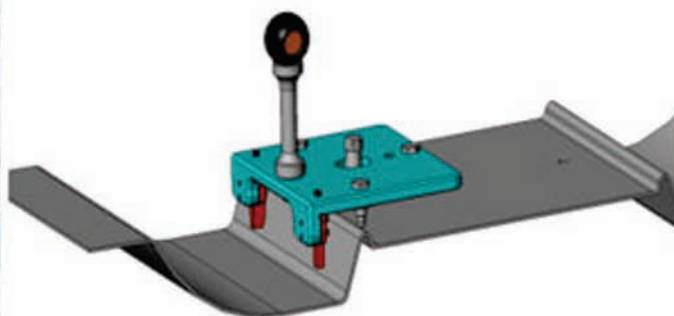
Zestawienie podstawowych informacji dotyczących rozwiązań torów płytowych stosowanych w Chinach zamieszczono w tablicy 2, natomiast przykład budowy toru z zastosowaniem technologii CRTS III pokazano na rysunku 8.

Tablica 2

Charakterystyka podstawowych rozwiązań torów płytowych w Chinach [16]

Rodzaj toru płytowego	CRTS I	CRTS II	CRTS III
Typ szyny	CN 60	CN 60	CN 60
System mocowania	WJ-7	Vossloh 300	WJ-8 C
Wymiary płyty [mm]	4962 × 2400 × 190	6450 × 2550 × 200	5350 × 2500 × 190
Warstwa łącząca	Zaprawa cementowo-asfaltowa (standardowa grubość 50 mm)	Zaprawa cementowo-asfaltowa (standardowa grubość 30 mm)	Beton samozagęszczalny (standardowa grubość 100 mm)
Stan podłużny płyt	Nie połączone	Połączone wzdłużnie	Wzdłużnie sprzęgane na ziemi, ale nie na moście
Koszt 1 km pojedynczego toru w CNY ¹⁾	5 600 000 – 5 800 000 chiński yuan	6 300 000 – 6 500 000 chiński yuan	4 800 000 – 5 000 000 chiński yuan

¹⁾ Według danych z grudnia 2020: 1 yuan = 0,57 zł.



Rys. 7. Regulowane deski szalunkowe w systemie CRTS III i szczegół regulowanego siedzenia szynowego [16]



Rys. 8. Budowa linii kolejowej Cheng-Guang [16]

Opisując tory płytowe warto zauważyć, że chińskie kdp zbudowano na bardzo zimnych obszarach, płaskowyżach, subtropikalnych obszarach przybrzeżnych i obszarach z silnym wiatrem, suszą i dużą różnicą temperatur. Pod wpływem obciążenia dynamicznego o wysokiej częstotliwości, spowodowanego przejazdem pociągów dużych prędkości i wielu czynników środowiskowych, stosowanie tradycyjnego betonu kolejowego jest niekorzystne z powodu jego krótkiej trwałości zmęczeniowej, dużego skurczu i pęcznienia oraz słabej trwałości. Właściwości takiego betonu uniemożliwiają opracowanie konstrukcji zapewniającej utrzymanie i ograniczone naprawy.

W celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji kdp, stosowany beton powinien mieć wysokie właściwości użytkowe, takie jak np. stabilne dynamiczne właściwości mechaniczne i stały układ geometryczny wykonanego wyrobu. Aby to osiągnąć, oprócz ustalenia składu betonu, opracowano:

- system dynamicznej kontroli proporcji mieszanki betonowej oparty na monitorowaniu parametrów surowca w czasie rzeczywistym,
- zorientowaną na trwałość metodę szybkiego badania kluczowych parametrów świeżego betonu (metodę wprowadzono do stosowania),
- charakterystyczne wskaźniki zapewniające jakość konstrukcyjną betonu (opracowano system standardów technicznych dla materiałów betonowych, projektowania, budowy i odbioru wyrobów przeznaczonych dla linii kdp).

Te działania zapewniły odpowiednią jakość betonu wykorzystywanego w różnych regionach kraju, w zmieniającym się klimacie i w różnych środowiskach. Tak opracowaną technologię obecnie stosuje się we wszystkich projektach kdp w Chinach.

4. Dworce i stacje pasażerskie

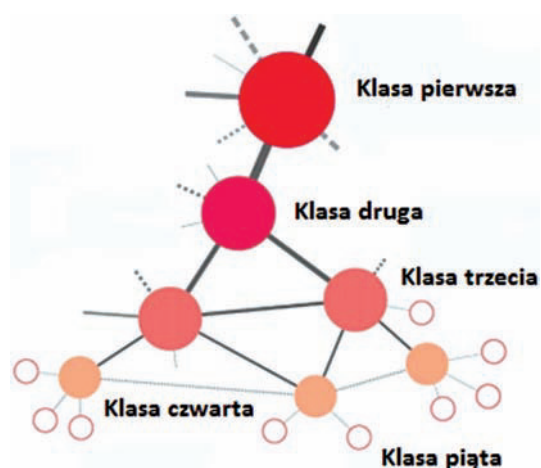
Rozwój kolei dużych prędkości wiązał się z koniecznością budowy dużej liczby stacji. Według opracowania Azjatyckiego Banku Rozwoju [2], stacje kolejowe w Chinach można podzielić na pięć klas, tj.:

- Klasa pierwsza (Super Hub, mega dworzec, stacja główna): dworzec w „subprowincjonalnym mieście”,

administrowanym centralnie głównym mieście prowincji i w innych ważnych miastach. Budynek dworca ma z reguły wielkość stadionu piłkarskiego. Pełni rolę charakterystycznego punktu miasta, z dobrze zaprojektowanym otoczeniem, konstrukcją o wysokim standardzie i najnowszymi udogodnieniami dla podróżnych. Przykładowo: dworzec kolejowy Guangzhou South, położony 17 km na południe od centrum miasta, ma 500 m długości i 450 m szerokości, przy zadanej powierzchni 486 000 m².

- Klasa druga (duże centrum): lokalizacja w podstawowych miastach prowincji i dużych miastach na poziomie prefektur.
- Klasa trzecia (średnie centrum): lokalizacja w podstawowych miastach na poziomie prefektur.
- Klasa czwarta (małe centrum): lokalizacja w miastach na poziomie hrabstwa.
- Klasa piąta (podstawowe węzły) – w pozostałych miastach, wybudowane według planów samorządów lokalnych i ich potrzeb.

Podział stacji kdp na klasy przedstawia rysunek 9.



Rys. 9. Klasy stacji kdp w Chinach [2]

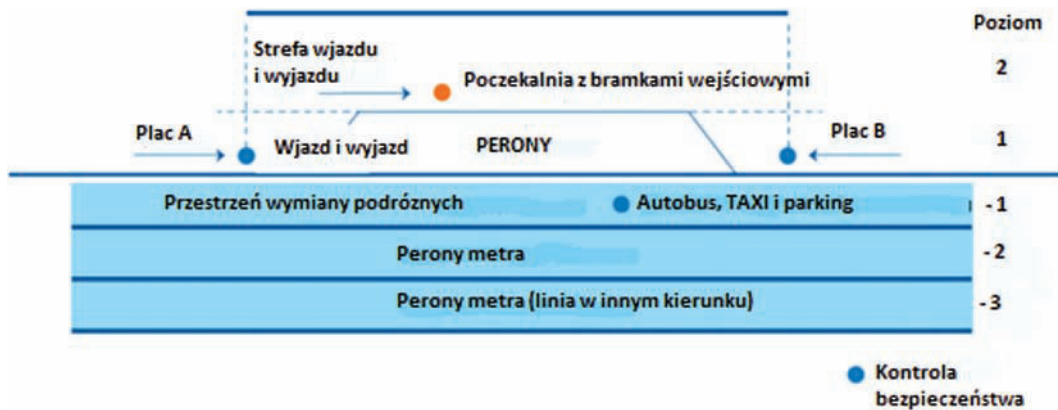
Główne kryteria podziału opierają się na zdolności przewozowej osób i bagażu, lokalizacji stacji itp. Z punktu widzenia przewozów pasażerskich, stacja klasy głównej może obsługiwać w ciągu doby około 60 000 podróżnych, klasa pierwsza – 15 000, klasa druga – 5 000, a klasa trzecia – 2 000 podróżnych [23].

Zgodnie z chińskim standardem GB/T 51149-2016 (standardowy plan parkowania w ChRL), wszystkie stacje kolejowe powinny zapewnić jedno miejsce parkingowe na stu pasażerów potoku podróżnych korzystających z dworca w godzinach szczytu. Na przykład, dla dworca klasy pierwszej Guangzhou South Railway Station zbudowano parking dla 2300 pojazdów. Tej samej klasy dworzec w Szanghaju ma miejsca parkingowe dla 3000 pojazdów [2]. Wielopoziomowa infrastruktura może łączyć wiele środków transportu, takich jak samochody prywatne, metro, taksówki i autobusy międzymiastowe.

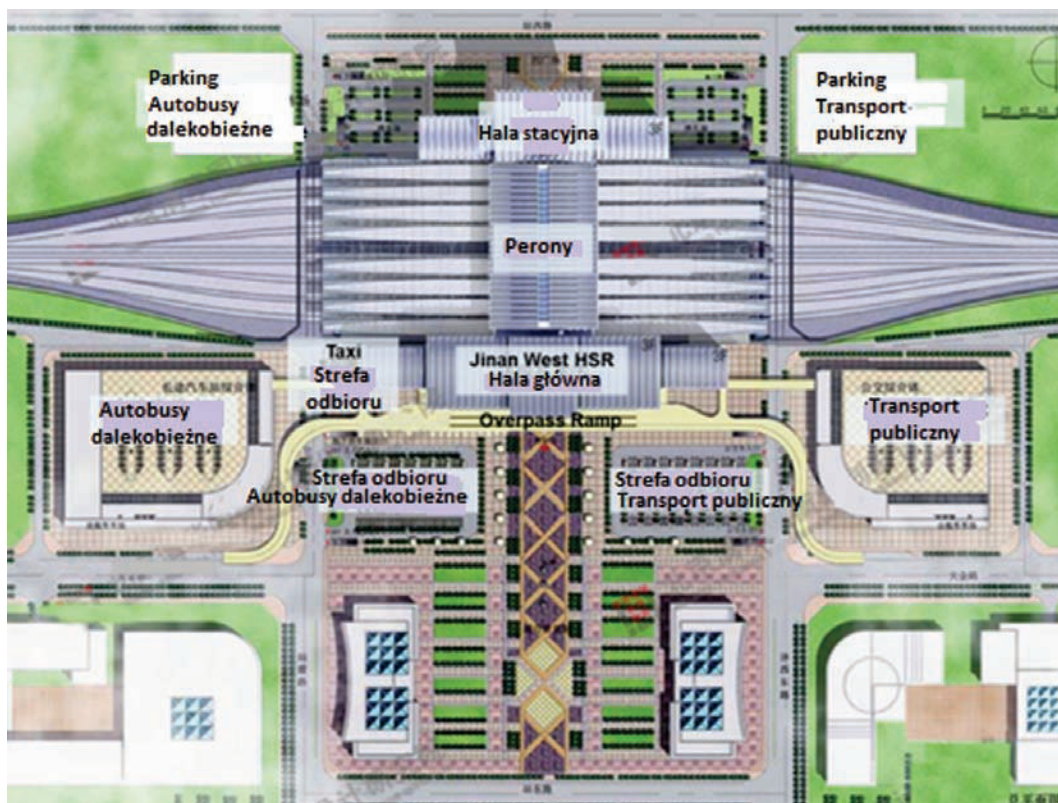
Ponieważ w Chinach taksówki odgrywają zasadniczą rolę w przepływie podróżnych z dworców lub do dworców kolejowych, oddzielone od siebie strefy dowozu/odwozu podróżnych znajdują się zazwyczaj na obu bokach hali głównej stacji kdp. Wielowymiarowa organizacja ruchu charakteryzuje węzły multimodalne, w których przez różne piętra możliwe jest przemieszczanie podróżnych do poszczególnych środków transportu, co pokazano na rysunku 10 i 11. Stacje metra w różnych kierunkach znajdują się na poziomie „-2” i „-3”. Poruszanie się podróżnych pomiędzy różnymi poziomami umożliwiają liczne schody ruchome.

Przejście podróżnych do pociągów kdp jest złożone. Podróżny z odpowiednim biletem na pociąg musi przejść kontrolę bezpieczeństwa przed wejściem do poczekalni, gdzie oczekuje

na pociąg. Zaleca się, aby przejście podróżnego przez automaty do sprawdzania biletów odbywało się kwadrans przed odjazdem pociągu. Oczekiwanie na pociąg odbywa się w bardzo dużych, klimatyzowanych poczekalniach, które są obiektami o konstrukcji zamkniętej (można z nich przedostać się jedynie na odpowiednie perony). Punktualność pociągów jest bliska 100%, a każde minutowe opóźnienie jest wyświetlane na bardzo dużych wyświetlaczach i jest przekazywane na telefony komórkowe. Wyświetlane są także numery bramek do odpowiednich pociągów (przejdź na konkretne perony), jak również miejsce postoju określonego wagonu pociągu na peronie. Dzięki poczekalni znajdującej się na drugim piętrze (rys. 11), podróżni przyjeżdżający transportem indywidualnym, mogą wejść na stację wiaduktem, bezpośrednio z drugiego piętra.



Rys. 10. Zintegrowane środki transportu w hali głównej stacji kdp [2]



Rys. 11. Rozmieszczenie poszczególnych elementów infrastruktury pasażerskiej dworca Jinan West [Źródło: Projekt sieci drogowej w sąsiedztwie stacji Jinan West <http://www.thupdi.com>]

Chińskie dworce kolejowe, bez względu na ich wielkość, pełnią podwójną rolę. Zgodnie ze strategią rozwoju transportu stanowią główne węzły multimodalne, a także są ważnymi elementami ośrodków miejskich. Wiele starszych obiektów jest zabytkami architektury, odzwierciedlającymi lokalne dziedzictwo kulturowe. Na tego typu obiektach opanowano ważną sztukę architektoniczną zachowując z jednej strony walory historyczne obiektów, z drugiej zaś dostosowując je do współczesnych wymagań transportu.

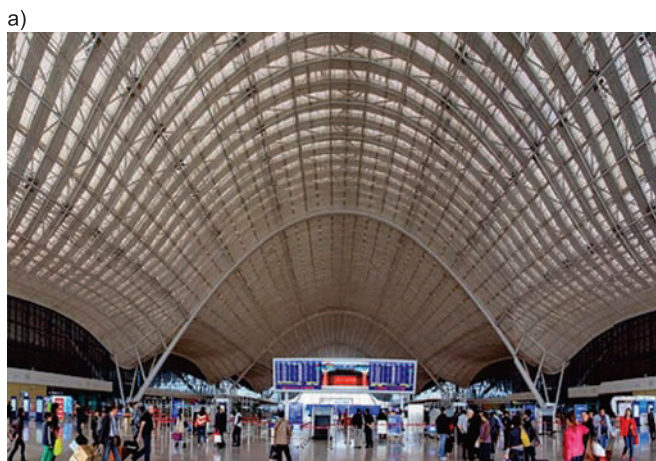
Wielkość potoków podróżnych na poszczególnych obiektach jest różna. Z tej przyczyny koszty związane z budową tych obiektów różnią się między sobą. Budynek dworca o powierzchni 3000 m² kosztuje około 40 mln yuanów, podczas gdy duże dworce, np. lotniskowe, mogą kosztować nawet powyżej 10 mld yuanów³ [3].

Projektując nawet największe obiekty, przywiązuje się dużą wagę do miejscowych tradycji, otaczającej architektury i lokalnej kultury. Z tego względu Dworzec Południowy

w Pekinie przypomina Świątynię Nieba, dworzec Wuhan przypomina ptaka rozwijającego skrzydła, co jest wynikiem zainspirowania Żółtym Żurawiem, symbolem tego miasta. Budynek tego dworca składa się z dziewięciu oddzielnych części, które symbolizują dziewięć chińskich prowincji oraz centralną arterię komunikacyjną. Przykład tego dworca pokazano na rysunku 12, natomiast poczekalnię innego dworca na rysunku 13.

Megadworce są drogie w budowie, lecz bardzo szybko zapełniają się podróżnymi, przez co równie szybko zwracają się zainwestowane środki. Ten typ obiektu ma od trzech do pięciu poziomów, a będąc jednocześnie węzłem multimodalnym, zapewnia szybkie przesiadki między koleją oraz innymi środkami transportu – głównie metrem.

Dworce w Chinach są budowane z uwzględnieniem wytycznych w krajowych normach i standardach dla kolejnictwa. Normy i standardy są dostępne na stronie internetowej [20], natomiast BIM standard China na stronie internetowej [21].



Rys. 12. (a) Hala główna dworca Wuhan [19], (b) perony dworca Wuhan [18]



Rys. 13. Poczekalnia na południowej stacji HSR w Kantonie [2]

³ Dla przykładu: stacja Pekin Południowy o powierzchni 310 000 m² kosztowała 6,3 mld Yuanów (około 1,0 mld USD); Wuhan o powierzchni 114 000 m² – 4,1 mld Yuanów (około 0,70 mld USD); Guangzhou South o powierzchni 486 000 m² – 13 mld Yuanów (2,1 mld USD); Zhengzhou East o powierzchni 412 000 m² – 9,5 mld Yuanów (około 1,5 mld USD) [informacje pobrane z internetowej strony Chińskiego Ministerstwa Transportu /中华人民共和国交通运输部/ z 2017 roku].

W Chinach, usytuowanie stacji kdp w stosunku do obszaru miasta można podzielić na trzy następujące kategorie [22]:

- typ 1: stacja kdp zlokalizowana w centrum miasta,
- typ 2: stacja kdp zlokalizowana na peryferiach miasta,
- typ 3: stacja kdp zlokalizowana w miejscu pod nową dzielnicę lub miasto (np. projektowany w Polsce dworzec CPK w Baranowie).

W zależności od położenia geograficznego i funkcji, chińskie stacje kolejowe można podzielić na sześć klas, tj.: klasę główną, pierwszą, drugą, trzecią, czwartą i piątą. Asygnowanie dużych środków w inwestycje dworcowe jest zawsze poprzedzone rozpoznaniem dotyczącym spełnienia warunków związanych z wykorzystaniem kdp do pobudzenia gospodarczego regionu oraz zrównoważonego rozwoju konkretnego obszaru i w tym celu według [23] rozpatruje się:

- **Lokalizację stacji** – analizy pozwalają określić, jak dynamiczne są nowe dzielnice; w dużej mierze zależy od tego, jak skutecznie można pozyskać firmy, pracowników i deweloperów. W wielu jednak przypadkach, na decyzje o lokalizacji budowy nowych stacji wpływają czynniki polityczne. Na przykład duże chińskie miasta z większymi siłami przetargowymi są w stanie negocjować z China Railway Company (CR), aby umieścić stacje KDP bliżej centrów miast, podczas gdy mniejsze miasta mogą mieć stacje położone dalej, czasem ponad 20 km. Mniej atrakcyjne będą stacje oddalone od centrum miasta, ze słabymi połączeniami komunikacyjnymi. Ponadto, postępujący rozwój może przyczynić się do niekontrolowanej ekspansji i redukcji produktywnych gruntów rolnych na peryferiach miast). W ChRL model „nowego miasta kdp” zdominował planowanie rządowe związane z lokalizacją nowych stacji obsługujących pociągi dużych prędkości. Stacje takie inicjują rozwój nowych miast. W kategoriach zachodnich byłyby to dzielnice metropolitalne, gdyż taka lokalizacja zakłada pobudzenie lokalnej gospodarki przez oferowanie atrakcyjnej, alternatywnej lokalizacji dla zatłoczonych centrów istniejących miast.
- **Koordinację rozwoju regionalnego** – ważne jest skoordynowane planowanie między miastami w celu uniknięcia konkurencji między nimi. Miasta obsługiwane przez kdp często aspirują do roli regionalnych ośrodków wzrostu. Jednak ostra konkurencja o inwestycje może w rzeczywistości hamować wzrost gospodarczy, dlatego konieczna jest lepsza koordynacja planowania krajowego i regionalnego, aby zapewnić równomierny rozwój miast.
- **Nowe modele finansowania** – w najbardziej udanych przypadkach lokalizacji dużych stacji kdp, przedsiębiorstwo kolejowe jest właścicielem terenu otaczającego stacje. Inwestycje w nieruchomości otaczające stacje, takie jak np. centra handlowe, umożliwiają kolei finansować utrzymanie dworców, ich rozwój i nowocześniejsze, co znacznie redukuje dotacje państwowe dla kolei. Z tym modelem, sukces odniosły także prywatne koleje japońskie.

Obecnie realizowany program budowy i modernizacji linii kdp jest związany z eksploatacją nowoczesnych dworców kolejowych. Na liniach modernizowanych pod względem zwiększenia dopuszczalnej prędkości pociągów, modernizacja bardzo często dotyczy również obiektów dworcowych. W odniesieniu do obiektów modernizowanych i budowanych od podstaw, sformułowano wiele wytycznych, które muszą być uwzględniane już w fazie projektów wstępnych. Sprowadzają się one do pięciu następujących zagadnień [24]:

Modernizacja kolei i poprawa bezpieczeństwa

Należy korzystać z innowacyjnych technologii, produktów i usług. W przypadku rozwiązań zagranicznych, muszą one przejść fazę sprawdzenia i badania przez chińskie instytucje. W zakresie informacji dla podróżnych wskazuje się na konieczność rozwijania inteligentnej informacji kolejowej oraz stosowania najnowszych rozwiązań technicznych i technologicznych. W zakresie gwarancji bezpieczeństwa należy stosować najnowsze rozwiązania umożliwiające szybkie reagowanie w sytuacjach awaryjnych, aby nie podważać systematycznego promowania kolei, jako bardzo bezpiecznej gałęzi transportu.

Wykorzystywanie w projektach najnowszych rozwiązań technologicznych

Dworzec, jako ważny element inteligentnej i szybkiej kolei, w bieżącej eksploatacji powinien wykorzystywać zaawansowane rozwiązania technologiczne, takie jak: przetwarzanie wielu informacji dotyczących eksploatacji umieszczanych w chmurze, korzystanie z dużych zbiorów danych w czasie rzeczywistym, Internet rzeczy, Internet mobilny szerokopasmowy dla podróżnych, sztuczną inteligencję, cyfryzację oraz metodykę BIM podczas projektowania i utrzymania eksploatowanych obiektów. Umożliwi to staranne opracowanie projektów, skoncentrowane się na jakości budynku, w którym uwzględniono jego podstawowe funkcje i wyposażenie.

Promowanie niskoemisyjnych, energooszczędnych i bezpiecznych technologii dla środowiska naturalnego

W trakcie projektowania należy oszczędzać istniejące zasoby, jak: grunty, istniejącą infrastrukturę oraz promując takie rozwiązania dworców, które efektywnie wykorzystają zajęty teren i zagospodarują tereny przyległe. Nowe lub zmodernizowane obiekty powinny propagować ochronę środowiska naturalnego i tworzyć narzędzia wspierające ten proces przez systematyczne doskonalenie norm technicznych, systemów oceny i certyfikacji. Stąd, celem budowy powinno być zapewnienie maksymalnej oszczędności energii przez stosowanie rozwiązań technicznych zmniejszającej jej zużycie. Z tym procesem jest związane stosowanie nowych materiałów i technologii opartej na foltowoltaice, jak również wprowadzanie rozwiązań skutecznego zapobiegania hałasowi i drganiom zarówno na dworcach, jak i wzdłuż linii kolejowych.

W procesie budowy inteligentnej kolei, należy promować ekologiczne sposoby podróżowania, w pełni wykorzystać rolę transportu szynowego i przyspieszać budowę kolejowego systemu transportowego jako kręgosłupa systemu transportowego państwa. Ma to na celu wzmocnienie zarządzania ochroną środowiska na kolei, niezbędnego do ustalenia i doskonalenia kolejowych standardów technicznych ochrony środowiska, oceny i certyfikacji stosowanych rozwiązań infrastrukturalnych. Należy promować także inteligentne wykorzystywanie i oszczędzanie energii.

Działania zorientowane na podróżnych

Oferowane kolejowe usługi przewozowe powinny współdziałać z innymi gałęziami transportu, co można zrealizować przez dworce kolejowe, traktowane jako węzły multimodalne. Na tych obiektach musi funkcjonować współpraca przewoźników, a nie konkurencja. Istniejące chińskie prawo kolejowe od niedawna pozwala karać za wszelkie przejawy takiej konkurencji. W zakresie dostępności biletów rozwijana jest oferta biletów sieciowych, możliwość ich zakupu przez Internet, aplikacje mobilne na smartfony, tablety itp. W zakresie eksploatacji najważniejsza jest punktualność pociągów pasażerskich, z czym wiąże się liczba osób oczekujących na pociągi w odpowiednich warunkach (duża powierzchnia z wyposażeniem odpowiedniej infrastruktury), a następnie jakość podróżowania.

Elastyczność, poprawa jakości i wydajności

Konieczne jest szybkie reagowanie na popyt przez elastyczny rozkład jazdy przy pełnej informacji o wprowadzanych korektach i zmianach, co należy osiągnąć m.in. przez zwiększenie efektywności operacyjnej personelu. Zakłada się, że te procesy wzmocni integracja z innymi środkami transportu i nowoczesna logistyka, wydłużanie łańcucha usług oraz zwiększenie środków finansowych na zrównoważony rozwój transportu.

5. Pasażerski tabor przewozowy

Według [25], na chińskim rynku eksploatuje się trzy następujące klasy pociągów kdp:

- **Pociągi klasy C** – pociągi rodzaju „Chengji Dongche”, Intercity EMU Train, 城际动车), to pociągi kdp, które zazwyczaj kursują między sąsiednimi miastami lub tylko między miastami w jednej prowincji, które zaprojektowano do poruszania się z prędkością do 200 km/h.
- **Pociągi klasy D** – rodzaju „Dongche”, EMU Train, 动车 należą do drugiej grupy pociągów kdp, które zwykle poruszają się z prędkością od 200 km/h do 250 km/h. Jest to wcześniejsza generacja pociągów CRH (China Railway High-speed), używana głównie na popularnych liniach kolejowych łączących więcej stacji i miast pośrednich. Pociągi tego typu kursują zarówno w ciągu dnia, jak i w nocy.
- **Pociągi klasy G** – to najszybsze pociągi kdp, opracowane w najnowocześniejszej technologii produkcji

pasażerskiego taboru kolejowego, poruszające się z prędkościami od 250 km/h do 400 km/h. Należą do nich takie pociągi, jak „Gaosu Dongche”, szybki pociąg EMU, 高速动车. Pociągi klasy G jeżdżą po torach bez podsypki. Kursują zwykle między głównymi i popularnymi miastami w Chinach jedynie w ciągu dnia. Pociągi klasy G obejmują typy CRH i CR, takie jak CRH2C, CRH3C, CRH380, CR400AF, CR400BF itp. Składy są w różnych kolorach i kształtach. W tej grupie znajdują się następujące pociągi:

- **Pociąg typu CRH2C** – jest pierwszym pociągiem dużych prędkości poruszającym się po torze bez podsypki z prędkością 330 km/h i najwyższą prędkością 350 km/h. Jest eksploatowany na trasie Pekin – Tianjin oraz Wuhan – Guangzhou.
- **Pociąg typu CRH3C** – jest wersją szybkiego pociągu Siemens Velaro używanego w Chinach na kolei międzymiastowej Pekin – Tianjin, Wuhan – Guangzhou, Zhengzhou – Xian i połączeniu Intercity Szanghaj – Nanjing. Jest to zestaw ośmiu wagonów, jeżdżących z maksymalną prędkością 350 km/h.
- **Pociągi typu CRH380** obejmują serię szybkich pociągów typu: CRH380A, CRH380AL, CRH380B, CRH380C i CRH380D. Pociągi o maksymalnej prędkości 380 km/h kursują na liniach przeznaczonych do kursowania kdp z prędkością 350 km/h w relacjach: Szanghaj – Hangzhou, Wuhan – Guangzhou i linii Szanghaj – Nanjing.
- **Pociągi typu CR400** – to pojazdy kursujące z maksymalną prędkością 400 km/h. W tej grupie występują pociągi typów: CR400AF i CR400BF. Pociągi typu CR400AF mają przydomek „Niebiesko-czerwony Delfin”, natomiast pociągi typu CR400BF są nazywane „Złotym Feniksem”. Obecnie, pociągi tego typu kursują na liniach: Pekin – Szanghaj, Pekin – Chengdu, Pekin – Kanton, Hangzhou – Shenzhen oraz kolej Shanghai – Kunming.

Zdjęcia najczęściej kursujących pociągów na chińskich liniach kdp zamieszczono na rysunku 14. Wykorzystywane są w przewozach regionalnych i dalekobieżnych. Te dwie usługi charakteryzują się różnymi częstotliwościami ich kursowania. Pociągi regionalne kursują na średnich i krótkich dystansach, po gęsto zaludnionych aglomeracjach miejskich lub pasach miejskich łączących główne miasta i ośrodki gospodarcze. W takich relacjach pociągi kursują z dużą częstotliwością. Przykładowo, podróż koleją regionalną między Pekinem i Tianjin, gdzie każde miasto ma ponad 1 mln ludności, trwa około 35 minut. Częstotliwość kursowania w chwili otwarcia linii wynosiła 47 par poc./dobę. Obecnie na tej trasie kursuje 100 par poc./dobę, przy częstotliwości kursowania w godzinach szczytu co 10 min i 25 min poza szczytem. Wiele innych miast obsługuje co najmniej 60 par poc./dobę (częstotliwość kursowania co 15 min w każdym kierunku).



Rys. 14. Przykładowe rodzaje pociągów kdp w Chinach [25]

Pociągi dalekobieżne poruszają się po liniach, na których kursują również pociągi regionalne. Dla przykładu, linia Pekin – Szanghaj o długości 1318 km łączy 11 miast. Na całej trasie, na której znajdują się 23 duże dworce (z czego 18 wybudowano poza miastami), w listopadzie 2019 roku (przed pandemią) kursowały 44 pary poc./dobę dalekobieżnych. Jednak wraz z tymi pociągami po części linii kursowały pociągi regionalne. Było to 248 par pociągów kdp. W dowolnym odcinku linii całkowita liczba pociągów w rozkładzie jazdy waha się od 110 do 144 par poc./dobę. Najszybszy pociąg na tej trasie zatrzymuje się na 2 stacjach, a czas przejazdu wynosi 4 godziny i 24 minuty. Najwolniejszy pociąg zatrzymuje się na 10 stacjach, a podróż trwa 6 godzin i 12 minut. Ten typ pociągów jest skomunikowany z pociągami kursującymi „poprzecznie” do tej linii. Na uwagę zasługują badania przeprowadzane wśród klientów tych pociągów. Zmiana rozkładu jazdy jest zazwyczaj wynikiem badań opinii podróżnych, a nie tak jak w Europie, ze stałymi terminami zmian w ciągu roku. Nie przywiązuje się uwagi

do cykliczności rozkładu jazdy, chociaż prawdopodobnie przez przypadek, na niektórych liniach taka cykliczność występuje. Takie podejście ma na celu zintegrowanie klienta z usługą i jej stałe doskonalenie z uwzględnieniem potrzeb klienta.

Od 2018 roku są prowadzone prace dotyczące automatycznego prowadzenia pociągów kdp z zainstalowanym system ATO (ang. *Automatic Train Operation*)⁴ (rys. 15). Testy automatycznego systemu jazdy pociągu odbywały się przez 94 dni na odcinku Pekin – Shenyang. Wdrożenie tego sposobu prowadzenia pociągów kdp podzielono na dwie fazy. W pierwszej fazie, planowanej do 2028 roku, w kabinach maszynisty będzie przebywał maszynista. Będzie on reagował w przypadku, gdyby system ATO uległ awarii. Jednocześnie, system będzie doskonalony pod względem zapewnienia bezpieczeństwa z uwzględnieniem wprowadzonych uwag z nadzorowanej eksploatacji „inteligentnych pociągów kdp”. Po tym okresie wszystkie pociągi kdp będą prowadzone automatycznie. Zakłada się, że automatyczny

⁴ System ATO, czyli system automatycznej jazdy pociągu, który realizuje zadania automatycznej obsługi urządzeń zapewniających rozkładowy czas przejazdu pomiędzy stacjami, precyzyjne zatrzymanie na stacji oraz energooszczędne zużycie energii.

system jazdy może znacznie poprawić bezpieczeństwo pociągów kdp w porównaniu z ich prowadzeniem przez maszynistów, którzy mogą mieć np. nagłe problemy zdrowotne lub lekceważyć środki ostrożności podczas jazdy [28].



Rys. 15. Pierwszy pociąg sterowany systemem ATO bez maszynisty [29]

6. Koszty budowy kdp w Chinach

Koszty budowy KDP w Chinach są zwykle niższe niż w innych krajach. Opierając się na doświadczeniach z projektami wspieranymi przez Bank Światowy, koszt budowy linii kolejowej (w tym roboty budowlane, roboty torowe, stałe stacje, place, sygnalizacja, sterowanie i łączność, zasilanie i inne elementy nawierzchni; bez kosztów planowania, kosztów gruntów, niektórych megastacji, taboru i odsetek w trakcie budowy) stanowi około 82% wszystkich wspomnianych wcześniej kosztów projektu. Chińskie pociągi kdp z maksymalną prędkością 350 km/h mają typowy koszt jednostkowy infrastruktury wynoszący około 17–21 mln USD/km, przy wysokim współczynniku znajdujących się na linii wiaduktów i tuneli. Szacuje się, że koszt budowy kdp w Europie, z prędkością projektową 300 km/h lub wyższą, wyniesie 25–39 USD/km. Koszty budowy kdp (bez gruntu, taboru i odsetek od kredytów płaconych w trakcie budowy), np. w Kalifornii osiągały wartość 52 mln USD/km, a koszt jednostkowy czterech linii kdp wybudowanych we Francji w 2013 roku wahał się od 24,8 do 35,2 mln USD [3].

Oprócz mniejszego kosztu siły roboczej, na niższą cenę kosztu jednostkowego wpłynęły także inne czynniki. Wraz z ogłoszeniem średniookresowego planu budowy pierwszych 10 000 km kdp w okresie 6–7 lat, pobudzono społeczność budowlaną oraz przemysł dostawczy sprzętu budowlanego i transportowego do wdrażania innowacyjnych technik, aby sprostać zakładanym planom budowy. Doprowadziło to do obniżenia kosztów jednostkowych w wyniku mechanizacji wielu czynności i angażowania do budowy mostów, tuneli i robót ziemnych lokalnych firm budowlanych. Wpłynęły na to także stosunkowo niskie koszty nabycia gruntów i przesiedleń ludności, a także standaryzacja projektów nasypów, torów, wiaduktów, elektryfikacji, systemów sygnalizacyjnych i rozwiązań komunikacyjnych.

Zrezygnowano z importu płyt torowych z Niemiec na rzecz chińskich, które były tańsze o przeszło 30%. Chińska technologia budowy tuneli, zaowocowała niskim kosztem jednostkowym oraz szybkością budowy, wynoszącą od 5 do 10 m dziennie. Koszt budowy tunelu dla kdp w Chinach (około 10–15 mln USD za km) jest ułamkiem kosztów poniesionych w innych krajach. Na koszty tuneli duży wpływ mają niskie koszty prac geologicznych i koszty pracy.

7. Zaplecze badawcze i badania biznesowe

Wraz z budową kdp, Chiny rozwinęły system uniwersytetów technicznych i instytutów badawczych do ścisłej współpracy z dostawcami produktów dla kolei, w celu ich systematycznego ulepszania. Kiedy w 2008 roku przystąpiono do opracowania składu pociągu „Fuxing” do prędkości 350 km/h, Ministerstwo Nauki i Techniki i Ministerstwo Kolei podpisało wspólny plan działania na rzecz innowacji, skutkujący ulepszeniem zasobów naukowych i przemysłowych Chin w celu opracowania systemu kolei dużych prędkości. Do tego planu włączono sześć kluczowych firm z różnych dziedzin techniki, 25 uniwersytetów technicznych, 11 instytutów naukowo-badawczych i 51 krajowych laboratoriów. Zespół techniczny zajmujący się projektowaniem wspomnianego pociągu składał się z 68 naukowców związanych z przemysłem kolejowym, 500 profesorów i ponad 10 000 inżynierów i techników. Takie podejście umożliwiło Chinom analizę dotychczasowego postępu w tej dziedzinie, zaawansowanych technologii i wprowadzenie do produkcji własnych rozwiązań składających się na udane rozwiązanie krajowego elektrycznego zespołu trakcyjnego kdp [27]. Zespoły ekspertów pracowały również nad nowymi rozwiązaniami technicznymi budowy linii kdp. Efektem tych działań było opracowanie wielu maszyn i pojazdów poprawiających budowę nowych linii, a przykładem może być przedstawiony na rysunku 16 specjalny pojazd do przewozu przęseł mostowych.

Zgodnie z umową, wspólny plan działania Chin na rzecz poprawy obsługi pociągów i infrastruktury składał się z czterech elementów:

- opracowania kluczowych technologii w celu stworzenia sieci zdolnej do obsługi pociągów o prędkości 350 km/h i większych,
- ustanowienia praw własności intelektualnej i międzynarodowej konkurencyjności,
- ścisłej współpracy Ministerstwa Nauki i Ministerstwa Kolei w celu wzmocnienia sojuszy przemysłu i ośrodków naukowo-badawczych prowadzących do innowacyjnych rozwiązań technicznych,
- promocji krajowych dostawców materiałów i sprzętu techniczno-technologicznego.

Równocześnie z planem rozwoju techniki, prowadzono zakrojone na wysoką skalę badania biznesowe. W czterech miastach z nowo zbudowaną kdp (Changchun, Jilin, Jinan i Tianjin) wraz z regionalnymi ośrodkami gospodarczo-przemysłowymi,



Rys. 16. Pojazd do przewozu przęseł mostowych [7]

zadano pytanie pracownikom firm i osobom fizycznym, czy korzystają z kdp i jak ten fakt zmienił ich wzorce pracy oraz życia codziennego i biznesowego podejmowania decyzji. Kluczowe punkty z wywiadów objęły następujące elementy [2, 5, 6]:

Wybór lokalizacji według przedsiębiorstw

Przedsiębiorstwa nie uznają kdp za istotny czynnik w wyborze miejsca lokalizacji. Kluczowymi czynnikami dla przemysłu są preferencyjne elementy polityki rządu, dostępność gruntów i oferowane warunki, np. finansowe i podatkowe, zachęcające do przenoszenia się do nowych stref ekonomicznych. Niektóre mniejsze przedsiębiorstwa, zajmujące się usługami profesjonalnymi i logistyką, brały pod uwagę wygodę podróży międzymiastowych, ale ogólnie wpływ lokalizacji kdp przez przedsiębiorstwa został uznany za stosunkowo niski.

Działalność gospodarcza

Przedsiębiorstwa uznały, że kdp znacząco wpłynęło na podróże służbowe, ponieważ obniżyły się koszty podróży, zaobserwowano oszczędność czasu, co przełożyło się na poprawę wydajności. Sprzedawcy, zaopatrzeniowcy i pracownicy profesjonalnego serwisu są teraz w dużym stopniu zależni od kdp. Miesięcznie odbywają od trzech do sześciu podróży służbowych szybką koleją. Dzięki niej firmy usługowe mogą obsługiwać sąsiednie centra w prostszy sposób, poprawiając alokację personelu, poszerzanie zakresu działania i szybszą realizację zadań.

Życie osobiste

Pociągi kdp zintensyfikowały integrację między miastami. Rodzinne i społeczne interakcje stały się częstsze przynosząc nowe możliwości biznesowe. W wielu miastach (np. Tianjin Zachód i Zhengzhou Wschód) nastąpiło otwarcie nowych stacji, które zapoczątkowały rozwój nowych dzielnic mieszkaniowych.

Lokalna branża turystyczna i rekreacyjna

Linie kdp przynoszą turystyce korzyści na trzy sposoby. Po pierwsze, bilety są stosunkowo łatwe do kupienia, dzięki czemu łatwiej zorganizować nowe trasy turystyczne. Po drugie, kdp znacznie skraca czas spędzony w podróży, pozwalając np. na weekendowe wyjazdy, które wcześniej nie były możliwe. Po trzecie, kdp oferuje ekologiczną i wygodną jazdę, która sprawia, że kolej jest pierwszym wyborem na wycieczki krótsze niż 500 km.

8. Podsumowanie

Analiza materiałów przestudiowanych do niniejszego artykułu [1, 2, 5, 6, 7, 8, 11, 26], umożliwiła autorowi sformułowanie wielu wniosków dotyczących budowy i eksploatacji kdp w Chinach. W ciągu ostatniej dekady (2011–2020) w Chinach oddano do użytku 25 000 km linii kdp, co przewyższało budowę takich kolei w pozostałych krajach na świecie. Warto zauważyć, że Chiny były pierwszym krajem o produkcie krajowym brutto na mieszkańca mniejszym niż 7 000 USD, który zainwestował w rozwój sieci kdp.

Chiny są wyjątkowe pod wieloma względami. W państwie o powierzchni 9,6 mln km² i znacznej gęstości zaludnienia wynoszącej 141 osób/km², jest wiele średnich i dużych miast. Od 2000 roku do 2010 roku, kiedy zaczęto realizować program rozwoju kdp, liczba chińskich miast z populacją przewyższającą ćwierć miliona, wzrosła z 376 do 451 milionów, a liczba miast powyżej 5 mln osób wzrosła z 59 do 82. Ten wzrost spowodował potrzebę inwestycji w połączenie transportu międzymiastowego i wymagał rozbudowy sieci szybkiego transportu kolejowego. Warto zwrócić uwagę na kilka zagadnień, które mogą być przydatne tam, gdzie sieć kdp jest planowana do realizacji.

Podstawowym warunkiem realizacji tego zamiaru jest staranne planowanie i konsekwentne wdrażanie założonego programu infrastrukturalnego. Opracowanie dobrze przeanalizowanego planu długoterminowego w Chinach, zapewniło jasne i spójne ramy działania. Rząd zapewnił silne poparcie dla planu, a wprowadzane jego zmiany były minimalne. Władze wychodzą z założenia, że wszelkie zmiany przyjętych wcześniej rozwiązań, to marnowanie środków i wydłużenie procesu materializowania koncepcji.

Ze względu na ogromną skalę programu inwestycyjnego opracowano cały system projektowania z systematycznym wdrażaniem metodyki BIM oraz programem dostaw materiałów i sprzętu dla budowy infrastruktury oraz dostaw taboru przewozowego. W trakcie projektowania infrastruktury, dużą uwagę skierowano na modułowe rozwiązania wielu komponentów kdp. Znalazło to odzwierciedlenie w kosztach budowy infrastruktury, które stały się o około 30% niższe niż w Europie.

Przed przystąpieniem do budowy przeprowadzono skrupulatne rozpoznanie istniejących systemów kdp na świecie. Zbadano technologie oraz rozwiązania i określono

obszary startu dla własnych rozwiązań techniczno-technologicznych. Zainwestowano również w szkolenia z zakresu technologii inżynierskich i stworzono system instytutów projektowych, uniwersytetów, grup zdolnych wykonawców i zdolnych pracowników kolei do wdrożenia programu. Planowano przy tym położyć duży nacisk na rozwój, a także wykorzystanie w realizacji przedsięwzięcia lokalnego partnerstwa. Założono, że współpraca z samorządami przyniesie korzyści programowi budowy kdp, także przez udział w finansowaniu realizacji projektów.

Szczególną uwagę zwrócono na terminowość realizacji zarówno prac projektowych, jak i budowlanych, co wynikało z zastosowanego systemu zarządzania z jasnym zakresem odpowiedzialności. Wprowadzono zasadę: stali menedżerowie przez cały czas trwania projektu, silna logistyka projektu i znaczne wynagrodzenia motywacyjne dla menedżerów.

Następnym elementem tak szybkiego budowania kdp w Chinach jest rygorystyczny system bezpieczeństwa. Rozwinięto system, który zarządza bezpieczeństwem przez cały cykl życia projektu, zapewniając odpowiednią technologię na etapie projektowania, konstrukcję wysokiej jakości na etapie budowy oraz dokładną kontrolę i konserwację w fazie eksploatacji. Ten rygorystyczny reżim bezpieczeństwa można powtórzyć w każdym kraju, pod warunkiem stosowania zaawansowanej metodyki BIM.

Aby koleje kdp przynosiły zysk, muszą być konkurencyjne z innymi gałęziami transportu. Zdaniem chińskich specjalistów osiąga się to przez punktualność pociągów, dużą częstotliwość kursowania w ciągu doby i dużą prędkość. W Chinach, punktualność pociągów kdp na odjazdach wynosi 98%, a na przybyciu 95%. Ich minimalna częstotliwość, to usługi co godzinę pomiędzy godziną 7 rano a północą. Na trasach o dużym potoku podróżnych uruchomiono ponad 70 par poc./dobę. Prędkość na poszczególnych liniach waha się od 200 do 350 km/h. Zależy ona od rangi linii na sieci kdp, popytu rynkowego i warunków inżynierskich na określonym terenie, pociągających określone koszty inwestycji. Atrakcyjność usług wzrasta przez organizowanie na sieci kdp węzłów multimodalnych z udziałem kolejowych przewoźników konwencjonalnych, umożliwiających podróżnym dotrzeć do wielu miejsc kolejną. Rygorystycznie przestrzega się zasady, aby pociągi kdp o mniejszej prędkości konstrukcyjnej nie kursowały po liniach o większej dopuszczalnej prędkości, jak również pociągi najszybsze nie kursowały po liniach z mniejszą prędkością, uznając takie przypadki za nieefektywne ekonomicznie. Nie dotyczy to przejazdów przez centra dużych aglomeracji miejskich.

Uznano, że kdp są odpowiednie dla rynków podróży na średnie odległości z bardzo wysokim popytem. W Chinach kdp są bardzo konkurencyjne w stosunku do innych gałęzi transportu na odległość 150–800 km (około trzech do czterech godzin podróży), a usługa 350 km/h jest konkurencyjna do odległości 1200 km. W przypadku mniejszych odległości, klienci preferują autobus i prywatny samochód, a na dłuższych dystansach – samolot. Osiągnięcie rozsądnego obłożenia każdej linii przy minimalnym poziomie

usług (kurs co godzinę między 7:00 i 00:00) wymaga minimum 4 mln podróżnych/rok, a osiągnięcie rentowności finansowej po chińskich kosztach i taryfach wymaga 40 mln podróżnych/rok. Stąd też kdp nie są odpowiednie dla linii o małym potoku podróżnych (mało obciążonych).

Kdp są bardziej atrakcyjne dla klientów, kiedy komunikacyjnie są dobrze połączone z obsługiwanymi miastami. W Chinach stacje kdp są często budowane poza granicami centrów miast ze względu na koszty oraz ingerowanie w istniejącą urbanistykę. Takie miejsca zwiększają koszt dla klientów kdp (czas i pieniądze) oraz zmniejszają jego konkurencyjność. Poprawa połączeń z systemem transportu miejskiego może pomóc pokonać tę wadę. Zintegrowany rozwój miejski wokół nowych stacji przynosi korzyści ekonomiczne dla lokalnej społeczności.

Zdaniem chińskich specjalistów od marketingu transportowego, ceny biletów na pociągi kdp należy ustalać na poziomach konkurencyjnych w stosunku do innych rozwiązań komunikacyjnych i przystępnych cenowo dla ludności. W Chinach ceny biletów na pociągi kdp są o około jedną czwartą niższe niż w Europie, ale są trzy do czterech razy wyższe niż ceny na pociągi konwencjonalne. Silny wzrost ruchu pociągów kdp wskazuje, że wielu konsumentów w Chinach jest skłonnych zapłacić znacznie więcej za usługi o wyższej jakości. Linie kdp w Chinach generują dochody z biletów wystarczające do opłacenia wydatków eksploatacyjnych, utrzymania, a także obsługi zadłużenia przy cenie 0,0075 USD za pasażerokilometr i potoku ruchu ponad 40 mln podróżnych/rok. Jeżeli z różnych względów linia ma niższą rangę, wówczas konieczne jest zapewnienie większego potoku podróżnych w celu pokrycia kosztów. Od dłuższego czasu jest realizowana strategia elastyczności cenowej, maksymalizującej generowanie przychodów w celu pokrycia kosztów.

Usługi związane z kdp przyniosły użytkownikom znaczne korzyści w postaci ograniczenia czasu podróży i lepszą jakość usług. Korzyści ekonomiczne pojawiły się także w innych obszarach. Dzięki jakości oferowanych usług, do kdp coraz częściej przesiadają się pasażerowie samolotów i użytkownicy samochodów. Dzięki temu są systematycznie ograniczane koszty zewnętrzne transportu spowodowane wypadkami oraz zatorami drogowymi, a także emisją gazów cieplarnianych, przy innych korzyściach związanych z zapewnieniem lepszej komunikacji regionalnej. Z tego względu wiele wdrożonych rozwiązań chińskiego podejścia do budowy i eksploatacji kdp może być wzorcem dla innych, stojących przed wizją budowy takiej kolei.

Bibliografia

1. Gao Ge: *China Railway BIM and Standards*, Tsinghua University, 2018.
2. Gao Ya, Pan Haixiao: *Development of high-speed rail in the People's Republic of China*, Asian Development Bank Institute, No. 959, May 2019.

3. Gerald Ollivier, Jitendra Sondhi, Nanyan Zhou: *High-Speed Railways in China: A Look at Construction Costs*, China Transport Topics, No. 9, July 2014.
4. Grulkowski S. et.al.: *Drogi szynowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2013.
5. Ping TAN et.al.: *Sustainability development strategy of China's high speed rail*. Journal of Zhejiang University 2016 17(12): 923-932.
6. Shanshan Li: *High Speed Railways – Case of China*, Regional EST Training Course at United Nations University, 2018.
7. Lawrence M., Bullock R., Liu Z.: *China's High-Speed Rail Development*, International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2019.
8. Shaofu Lin, Yafang Jia, Sibin Xia: *Research and Analysis on the Top Design of Smart Railway*, Beijing University of Technology, Beijing, China, WWW <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1187/5/052053/pdf> [dostęp 12.11.2020].
9. <https://news.cgtn.com/news/2020-10-01/From-nobody-to-somebody-China-s-high-speed-rail-in-numbers-Udm6mE3qqA/index.html> [dostęp 12.11.2020].
10. <https://www.topchinatravel.com/china-high-speed-train/china-high-speed-rail-history-and-development.htm> [dostęp 12.11.2020].
11. <https://www.businessinsider.com/afp-china-rolls-ahead-with-train-makers-merger-2014-12?IR=T> [dostęp 12.11.2020].
12. https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_China [dostęp 12.11.2020].
13. <https://www.topchinatravel.com/china-high-speed-train/china-high-speed-rail-planning-map.htm> [dostęp 12.11.2020].
14. https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_China#8+8_HSR_Grid [dostęp 24.11.2020].
15. https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_China#/media/File:CRH3-CRH380BL.JPG [dostęp 24.11.2020].
16. <https://www.globalrailwayreview.com/article/5039/the-development-of-high-speed-railways-in-china-and-its-impact-on-the-chinese-economy/> [dostęp 24.11.2020].
17. https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_China#CITEREFNational_Development_and_Reform_Commission2016 [dostęp 15.12.2020].
18. <http://en.people.cn/90001/90778/90860/6853920.html> [dostęp 16.12.2020].
19. http://en.hubei.gov.cn/photo_gallery/architecture/201609/t20160902_892755.shtml [dostęp 16.12.2020].
20. https://www.gbstandards.org/index/Standards_Search.asp?word=Railway [dostęp 16.12.2020].
21. <https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/09/bSI-SPEC-Rail.pdf> [dostęp 16.12.2020].
22. <https://www.rc21.org/en/wp-content/uploads/2014/12/F1-HongSUN.pdf> [dostęp 16.12.2020].
23. <https://www.travelchinaguide.com/china-trains/railway/infrastructure.htm> [dostęp 29.12.2020].
24. <https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/how-china-can-leverage-high-speed-rail-compact-urban-development/1074871/> [dostęp 29.12.2020].
25. <https://www.chinadiscovery.com/china-trains/g-high-speed-train.html> [dostęp 29.12.2020].
26. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/933411559841476316/pdf/Chinas-High-Speed-Rail-Development.pdf> [dostęp 29.12.2020].
27. <https://medium.com/wonk-bridge/chinas-high-speed-rail-evolution-the-past-present-and-future-71864eba0651> [dostęp 16.12.2020].
28. <https://www.globaltimes.cn/content/1134434.shtml> [dostęp 03.01.2021].
29. <https://silverbirdtv.com/technology/67348/worlds-first-driverless-bullet-train-unveiled-china/> [dostęp 03.01.2021].