



Urszula Motowidlak¹
Uniwersytet Łódzki

Monika Kujawa²
Uniwersytet Łódzki

Fot. Pexels.com

WPŁYW ZMIAN KLIMATU NA FUNKCJONOWANIE TRANSPORTU KOLEJOWEGO³

Wprowadzenie

Zmiany klimatu stwarzają umiarkowane zagrożenie dla obecnego zrównoważonego rozwoju transportu oraz poważne zagrożenie dla realizacji założeń przyszłych strategii tego rozwoju – głównie z powodu zwiększenia ryzyka braku bezpieczeństwa i obniżenia standardów funkcjonowania transportu. Proces identyfikacji skutków zmian klimatu dla transportu jest procesem wielopłaszczyznowym i bardzo złożonym. Konsekwencje tych zmian mogą występować w postaci efektów bezpośrednich lub pośrednich, i być mierzalne lub niemierzalne. Zmiany klimatu będą skutkowały m.in.: wzrostem poziomu oceanów, powodziami rzecznyymi, zmianą rozkładu opadów oraz ich intensywności, ekstremalnymi zjawiskami klimatycznymi. Wszystkie te skutki wzajemnie na siebie oddziałują tworząc trudny do przerwania łańcuch procesów, powodujący rozliczne problemy w zakresie funkcjonowania transportu, w tym szczególnie kolejowego. Badanie oddziaływania zmian klimatu na

systemy transportowe wskazuje na wystąpienie negatywnych efektów ekonomicznych, społecznych i przyrodniczych. Celem artykułu jest scharakteryzowanie wpływu zmian klimatu na rozwój i funkcjonowanie transportu kolejowego.

Skutki zmian klimatu dla transportu jako przedmiot badań naukowych

W zależności od scenariusza zmian klimatycznych, prognozowana do 2100 roku utrata PKB w Unii Europejskiej może wynosić co najmniej 190 mld euro rocznie, co stanowi 1,8% obecnego PKB UE. Największe straty poniosą południowe i południowo-środkowe rejony UE, na które przypadnie 70% unijnych strat finansowych spowodowanych zmianami klimatu. W najmniejszym stopniu globalne ocieplenie dotknie Europę Północną, której udział w tych stratach ogółem wyniesie ok. 1%. Natomiast Europa Północno-Środkowa, w tym Polska, poniesie 24% unijnych strat finansowych ogółem, spowodowanych zmianami klimatu⁴.

¹ Dr hab. U.Motowidlak – Katedra Logistyki, Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny, Uniwersytet Łódzki.

² M.Kujawa – SKN Login, Uniwersytet Łódzki.

³ Artykuł recenzowany.

⁴ *Climate impacts in Europe. The JRC PESETA II Project*, Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies, Luxembourg 2014.

Na podstawie analiz prowadzonych przez różne ośrodki badawcze można stwierdzić, że jednym z sektorów europejskiej gospodarki, który wykazuje cechy dużej wrażliwości na zmiany klimatu, jest transport⁵. Obszar oddziaływania zmian klimatu na ten dział gospodarki jest bardzo szeroki, ponieważ zdecydowana większość elementów infrastruktury transportowej oraz środków transportu jest narażonych na bezpośrednie oddziaływanie czynników klimatycznych. Analizując potencjalne skutki zmian klimatu dla transportu można prognozować, że niektóre z nich wpłyną pozytywnie na jego efektywność, np. zmniejszenie pokrywy lodowej mórz i rzek. Jednak większość następstw zmian klimatu negatywnie wpłynie na transport⁶.

Oceny potencjalnych ekonomicznych następstw zmian klimatu w transporcie stanowią stosunkowo nowy, jednak szybko rozwijający się obszar badań naukowych. Z analiz przeprowadzonych przez międzynarodowy zespół ekspertów w ramach projektów Weather⁷ i Ewent⁸ wynika, że z powodu ekstremalnych zjawisk pogodowych całkowite koszty ponoszone przez europejski transport mogą wzrosnąć od 3,5 do 15,0 mld euro rocznie – do 2070 roku, w stosunku do średniorocznych kosztów z okresu 1998-2010, tj. okresu bazowego. Negatywne skutki zmian klimatu dla wszystkich rodzajów transportu były prognozowane dla Skandynawii, Francji, krajów Europy Wschodniej oraz dla Wysp Brytyjskich. Z prognoz wynika, że największy wzrost kosztów dotknie transport kolejowy, szczególnie na terenach Wysp Brytyjskich i Skandynawii.

Zmiany klimatu a funkcjonowanie transportu kolejowego

Klimat to ogół zjawisk pogodowych, jakie występują w dłuższym okresie czasu na danym terenie. Mogą być one opisywane za pomocą parametrów, charakteryzujących jego najważniejsze cechy. Są one ustalane na podstawie obserwacji prowadzonych przez przynajmniej kilka lat, chociaż najczęściej jest to okres obejmujący przedział czasu nie krótszy, niż 20 lat.

Zmiany klimatu w istotny sposób wpływają na funkcjonowanie transportu kolejowego. Są one zdefiniowane w obszarze zarządzania kryzysowego. W przypadku transportu kolejowego, do zagrożeń powodujących zakłócenia w jego funkcjonowaniu zalicza się m.in.: powódź, mrozy i wiatr⁹.

Powódź to przejściowe zjawisko hydrologiczne, które polega na wezbraniu wody w ciekach wodnych, zbiornikach lub morzu. Skutkuje ono przekroczeniem przez nagromadzoną wodę stanu brzegowego, prowadząc w konsekwencji do zatopienia obszarów łąkowych, dolin rzecznych, terenów nadbrzeżnych i depresyjnych. Powódź prowadzi do zniszczenia:

- budynków infrastruktury kolejowej
- linii kolejowych
- urządzeń energetycznych i telekomunikacyjnych.

Mrozy charakteryzują się występowaniem bardzo niskich temperatur powietrza, co w połączeniu z ewentualnymi obfitymi opadami śniegu może doprowadzić do sparaliżowania całej korytarzy transportowych. W związku z dużymi mrozami, połączonymi z opadami śniegu, mogą wystąpić uszkodzenia infrastruktury kolejowej, takie jak:

- pęknięcia szyn
- awarie węzłów kolejowych
- łamanie się słupów trakcyjnych
- obniżenie drutów trakcyjnych.

Wiatr, czyli gwałtowny porywisty wiatr o prędkości między 29 a 32 m/s, jest w stanie spowodować zniszczenie zabudowań infrastruktury technicznej oraz zerwanie odcinków linii energetycznych. W przypadku huraganów, a więc gdy siła wiatru waha się od 33 do 55 m/s, może dochodzić do:

- zerwania poszycia dachów budynków
- zniszczenia urządzeń i linii przesyłowych
- niszczenia konstrukcji budowlanych infrastruktury kolejowej
- uszkodzeń linii wysokiego napięcia i sieci trakcyjnych.

Wszystko to może prowadzić do istotnych zakłóceń komunikacyjnych na danym obszarze. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dla transportu kolejowego zagrożenia o charakterze kryzysowym. Zaliczono do nich:¹⁰

- powódź oraz intensywne opady deszczu
- intensywne opady śniegu
- silne mrozy
- huragany
- pożary.

Przedstawione w tabeli 1 zagrożenia stanowią potencjalny łańcuch zagrożeń dla funkcjonowania transportu kolejowego, biorąc pod uwagę jego sprawność oraz bezpieczeństwo. Oddziałują one na różne czynniki związane z tą gałęzią transportu – od wpływu na infrastrukturę liniową (szyny), infrastrukturę punktową (budynki) i samo przemieszczanie się składów kolejowych.

⁵ B. Pawłowska, *Zrównoważony rozwój transportu na tle współczesnych stosunków społeczno-gospodarczych*, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013, s. 304-306.

⁶ M. J. Koetse, and P. Rietveld, *The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings*, Transportation Research Part D: "Transport and Environment" 2009, no. 14(3), s. 205-221.

⁷ <http://www.weather-project.eu>, (dostęp: 12.09.2018).

⁸ <http://ewent.vtt.fi>, (dostęp: 09.09.2018).

⁹ B. Rymśa, *Opracowanie wskaźników wrażliwości sektora transportu na zmiany klimatu. Wybór kluczowych elementów systemu transportu (infrastruktura, środki transportu, warunki ruchu) szczególnie wrażliwych na zjawiska klimatyczne wraz z oceną wpływu*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2010, s. 20-21.

¹⁰ Tamże, s. 22.

Tab. 1. Zagrożenia o charakterze kryzysowym spowodowane czynnikami klimatycznymi w transporcie kolejowym.

Przyczyna wystąpienia	Potencjalne miejsca wystąpienia zagrożenia w funkcjonowaniu transportu kolejowego
Powódź, intensywne opady deszczu	Linie kolejowe zlokalizowane na terenach górskich oraz w pobliżu rzek i zbiorników wodnych: zniszczenia bądź wyłączenie z funkcjonowania odcinków linii kolejowych, obiektów infrastruktury kolejowej, a także urządzeń sterowania ruchem kolejowym.
Intensywne opady śniegu	Cała sieć: zasypanie szlaków komunikacyjnych, wstrzymanie ruchu.
Silne mrozy	Cała sieć: pęknięcia szyn, awarie węzłów kolejowych, łamanie się słupów trakcyjnych, obniżenie lub całkowite zerwanie trakerji w skutek oblodzenia drutów trakcyjnych.
Huragany	Sieci kolejowe w rejonach, w którym występuje huragan: uszkodzenia sieci trakcyjnych, brak możliwości prowadzenia ruchu, zaplątanie się pociągów w sieć trakcyjną, uszkodzenia lokomotyw oraz torów, a także urządzeń sterowania ruchem kolejowym.
Pożary	Budynki zaplecza technicznego oraz ich obsługi, węzły telekomunikacyjne i tereny do nich przyległe.

Źródło: B. Rymśza, *Opracowanie wskaźników wrażliwości sektora transportu na zmiany klimatu. Wybór kluczowych elementów systemu transportu (infrastruktura, środki transportu, warunki ruchu) szczególnie wrażliwych na zjawiska klimatyczne wraz z oceną wpływu*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2010, s. 22.

Przejawy i efekty oddziaływania czynników klimatycznych na transport kolejowy

Do głównych, negatywnych skutków zmian klimatycznych i pogodowych wpływających na infrastrukturę kolejową, należy zaliczyć w szczególności potencjalne zniszczenia infrastruktury, utratę połączeń komunikacyjnych oraz zmniejszenie dostępności terenu i sieci kolejowej (tabela 2).

W literaturze przedmiotu najczęściej wymienia się czterostopniową skalę, w której „0” oznacza warunki neutralne dla sektora transportowego, zaś „3” całkowicie uniemożliwiające jego działanie. W tabeli 3 przedstawiony został podział na skale wrażliwości sektora transportowego na oddziaływanie klimatu.

Należy jednak zauważyć, że każdy z analizowanych czynników z innym natężeniem wpływa na funkcjonowanie sektora transportowego. W tabeli 4 przedstawiono skalę oddziaływania kategorii klimatu na poszczególne elementy transportu kolejowego.

Zdecydowanie największe negatywne oddziaływanie na transport kolejowy mają nadmierne mrozy oraz opady śniegu. W przypadku infrastruktury kolejowej oba czynniki posiadają najwyższy stopień zagrożenia, co oznacza, że są one w stanie zupełnie uniemożliwić funkcjonowanie tej gałęzi transportu. Podobny wpływ posiadają opady deszczu oraz silne

wiatry. W przypadku upałów, stopień oddziaływania został określony na „2”, bowiem obecnie wyposażenie pociągów transportowych w odpowiedni system chłodzenia nie stanowi problemu. Oczywiście, dopóki urządzenia te funkcjonują we właściwy sposób.

W przypadku oddziaływania na pociąg jako środek transportu, wpływ posiadają jedynie mrozy oraz opady śniegu, jednak ich stopień jest niski („1”). Mogą one utrudniać funkcjonowanie tej gałęzi w tym aspekcie, ale nie całkowicie uniemożliwić.

Biorąc pod uwagę aspekt komfortu, to najmniej korzystne oddziaływanie zostało przypisane mgie, która może w znaczący sposób utrudnić widoczność maszyniście i stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa. W mniejszym zakresie wpływ posiadają: mróz, śnieg, deszcz oraz upały. Zdaniem B. Rymśzy, udział wiatru pozostaje bez znaczenia.

Podsumowanie

Transport kolejowy jest wrażliwy, szczególnie na incydentalne zjawiska klimatyczne. Silne wiatry i huragany oraz ulewne deszcze, które powodują podtopienia i osuwiska, których częstotliwość występowania będzie się nasilała, mogą uszkadzać elementy infrastruktury kolejowej. Wraz z postępującym procesem ocieplania wzrosnąć mogą przypadki deformacji torów oraz pożarów zaplecza kolejowego, a jednocześnie pogorszą się warunki pracy oraz komfort podróżowania.

Tab. 2. Wpływ zmian klimatu na infrastrukturę transportu kolejowego.

Czynniki klimatyczne/ przejawy ich oddziaływania	Efekt oddziaływania	Typowe przejawy negatywnego wpływu czynników klimatycznych na infrastrukturę i usługi transportu kolejowego
Temperatura		
Wysokie temperatury i fale upałów	przegrzanie	niszczenie (krótsza żywotność) infrastruktury kolejowej osłabienie niezawodności elektronicznych komponentów infrastruktury i środków transportu kolejowego niestabilność zboczy w rejonach górskich
Nagłe zmiany temperatury	napięcia materiałowe, przegrzanie	wyboczenia torów kolejowych pożary zboczy
Intensywne światło słoneczne		problemy z sygnalizacją
Zmiana cykli zamrażania i rozmrażania gleby	erozja gleb	uszkodzenia nasypów konieczność prowadzenia robót ziemnych
Opady		
Intensywne opady deszczu	erozja gleb, osuwiska, powódzie ¹	uszkodzenia nasypów spadek bezpieczeństwa ruchu w transporcie opóźnienia realizacji usług transportowych wzrost liczby przeglądów tuneli, mostów, itd.
Dłuższe okresy deszczowe	wolniejszy drenaż, erozja gleb	niszczenie aktywów infrastruktury kolejowej zakłócenia w funkcjonowaniu infrastruktury kolejowej
Śnieg i lód	obfite opady śniegu, lawiny	zakłócenia w ruchu pociągów spadek bezpieczeństwa ruchu w transporcie opóźnienia realizacji usług transportowych
Wiatr		
Burze i wichury (na lądzie)	duża siła wiatru	uszkodzenia sieci trakcyjnej zakłócenia i spadek bezpieczeństwa ruchu w transporcie
	powalone drzewa	ograniczenia w ruchu pociągów zakłócenia i spadek bezpieczeństwa ruchu w transporcie
Wyladowania atmosferyczne	przepięcia	uszkodzenia sieci trakcyjnej zakłócenia w pracy systemów kontroli ruchu w transporcie kolejowym

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012; An indicator-based report*, European Environmental Agency, Report no. 12/2012, Copenhagen 2012, s. 205-206.

Tab. 3. Skala wrażliwości sektora transportu na oddziaływanie klimatu.

Stopień	Warunki	Charakterystyka oddziaływania
0	Neutralne	Warunki obojętne lub korzystne dla transportu
1	Utrudniające	Warunki utrudniające funkcjonowanie, występują odczuwalne utrudnienia w funkcjonowaniu sektora transportowego
2	Ograniczające	Warunki bardzo uciążliwe, obok utrudnień występują również szkody, powodujące ograniczenie w funkcjonowaniu sektora transportowego
3	Uniemożliwiające	Warunki całkowicie uniemożliwiające funkcjonowanie wskazanego sektora transportowego

Źródło: B. Rymśza, *Wpływ zmian klimatu na bezpieczeństwo infrastruktury kolejowej*, „Problemy Kolejnictwa”, nr 158, 2013, s. 7.

Tab. 4. Skala oddziaływania poszczególnych kategorii klimatu na transport kolejowy.

Umowne kategorie klimatu	Infrastruktura	Środek transportu	Komfort socjalny
mróz	3	1	1
śnieg	3	1	1
deszcz	3	0	1
wiatr	3	0	0
upał	2	0	1
mgła	0	0	2

Źródło: B. Rymśa, *Wpływ zmian klimatu na bezpieczeństwo infrastruktury kolejowej*, „Problemy Kolejnictwa”, nr 158, 2013, s. 7.

Zrozumienie istoty problemu skłoniło niektóre kraje UE do przeprowadzenia analiz przewidywanych zmian i konieczności określenia niezbędnych działań adaptacyjnych w projektowaniu, budowie i eksploatacji infrastruktury transportowej¹¹. W przyjętej strategii UE uznała bowiem za niezbędne opracowanie w poszczególnych sektorach gospodarki i przez podmioty gospodarcze szacunków kosztów działań adaptacyjnych, tak, aby mogły one zostać uwzględnione w przyszłych decyzjach finansowych¹². Prognozowane zakłócenia w funkcjonowaniu transportu kolejowego, będące następstwem zmian klimatu, będą bowiem pośrednio oddziaływać negatywnie na funkcjonowanie pozostałych sektorów gospodarki. Konieczność włączenia zagadnień związanych z adaptacją do zmian klimatu do poszczególnych dziedzin życia społeczno-gospodarczego jest istotna dla UE. Poważne konsekwencje społeczne i gospodarcze zmian klimatu wyznaczają więc nowe obszary badań pozwalające ocenić stopień wrażliwości, podatności na zagrożenia i adaptacyjności transportu kolejowego.

Streszczenie

Większości elementów transportu kolejowego narażonych jest na bezpośrednie oddziaływanie czynników klimatycznych. Zwłaszcza infrastruktura narażona jest na bezpośredni kontakt czynników atmosferycznych, które mogą powodować zakłócenia w jej funkcjonowaniu. Do wdrożenia efektywnych działań adaptacyjnych i zapobiegawczych niezbędna jest ocena wrażliwości infrastruktury transportowej na czynniki klimatyczne, będąca efektem analizy danych klimatycznych i pogodowych oraz ich wpływu na stan infrastruktury, co stanowiło przedmiot rozważań podjętych w artykule.

Słowa kluczowe: transport, transport kolejowy, czynniki klimatyczne, infrastruktura transportowa.

¹¹ The United Kingdom: *Preparing for climate change: Adapting local transport*, UK Climate Impacts Programme, Oxford 2011, <http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wpcontent/PDFs/UKCIP-Adapting-Transport.pdf>, (dostęp: 04.08.2018).

¹² KE dążąc do realizacji ambitnych planów redukcji emisji CO₂ w UE, przyjęła 16.04.2013 r. *Strategię w sprawie adaptacji do zmian klimatu* (COM 2013, 216). Przyjęcie tej strategii poprzedziło opracowanie *Białej księgi Adaptacja do zmian klimatu. Europejskie ramy działania* (COM 2009, 147) oraz utworzenie europejskiej platformy internetowej poświęconej kwestiom adaptacji do zmian klimatu (Climate-ADAPT).

Impact of climate change on rail transport operations

Summary

Most elements of rail transport are exposed to direct exposure to climatic factors. Infrastructure in particular is exposed to direct contact with atmospheric factors that can cause disruption to its functioning. In order to implement effective adaptation and prevention measures, it is necessary to assess the sensitivity of transport infrastructure to climatic factors, resulting from the analysis of climatic and weather data and their impact on the condition of infrastructure, which was the subject of considerations undertaken in the article.

Keywords: transport, rail transport, climate change, transport infrastructure.

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

- [1] *Adaptacja do zmian klimatu. Europejskie ramy działania* (COM 2009, 147), Bruksela 2009.
- [2] *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012; An indicator-based report*, European Environmental Agency, Report no. 12/2012, Copenhagen 2012.
- [3] *Climate impacts in Europe. The JRC PESETA II Project*, Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies, Luxembourg 2014.
- [4] <http://ewent.vtt.fi>, (dostęp: 09.09.2018).
- [5] <http://www.weather-project.eu>, (dostęp: 12.09.2018).
- [6] Koetse M. J., and Rietveld P., *The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings*, Transportation Research Part D: "Transport and Environment" 2009, no. 14(3), s. 205–221.
- [7] Pawłowska B., *Zrównoważony rozwój transportu na tle współczesnych stosunków społeczno-gospodarczych*, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013, s. 304-306.
- [8] Rymśa B., *Opracowanie wskaźników wrażliwości sektora transportu na zmiany klimatu. Wybór kluczowych elementów systemu transportu (infrastruktura, środki transportu, warunki ruchu) szczególnie wrażliwych na zjawiska klimatyczne wraz z oceną wpływu*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2010.
- [9] Rymśa B., *Wpływ zmian klimatu na bezpieczeństwo infrastruktury kolejowej*, „Problemy Kolejnictwa”, nr 158, 2013.
- [10] *Strategię w sprawie adaptacji do zmian klimatu* (COM 2013, 216), Bruksela 2013.
- [11] *The United Kingdom: Preparing for climate change: Adapting local transport*, UK Climate Impacts Programme, Oxford 2011, <http://www.ukcip.org.uk/wordpress/wpcontent/PDFs/UKCIP-Adapting-Transport.pdf>, (dostęp: 04.08.2018).