

Wybrane aspekty analizy stateczności budowli infrastruktury kolejowej w ujęciu norm polskich i eurokodu w odniesieniu do technicznych specyfikacji interoperacyjności dotyczących infrastruktury

Janusz Ukleja, Sławomir Bukowski

Standardy dotyczące nośności istniejących budowli infrastruktury kolejowej w odniesieniu do budowli ziemnych stanowiących podtorze linii kolejowych od dawna były wzorowane i korelowane z regulacjami dotyczącymi większości krajów europejskich. Normy europejskie zawarte w Eurokodzie 1 oraz późniejsze regulacje dostosowujące normy polskie do standardów europejskich zawierają jednak pewne różnice, mogące wpływać na ocenę stateczności budowli ziemnych, stanowiących oparcie dla projektowanych i już istniejących linii kolejowych. Ponadto na skutek wydania przez Komisję Europejską Decyzji nr 2011/275/UE z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotyczącej technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” (TSI Infrastruktura) objęto harmonizacją techniczną transeuropejski system kolei konwencjonalnych. Jednym z istotnych elementów nowego podejścia do harmonizacji technicznej są warunki dopuszczalnych obciążeń użytkowych. Porównując wymagania TSI infrastruktura z zasadami stosowanymi przez polskich projektantów i zarządców infrastruktury można zauważyć, że powoduje to stosowanie niejednoznacznych warunków wyjściowych do wykonania obliczeń sprawdzających. Różnice te mają duże znaczenie zwłaszcza dla budowli istniejących w infrastrukturze kolejowej oraz od dawna użytkowanych. Zażądano zatem konieczności oceny wpływu różnicy wynikającej z nowych przepisów w odniesieniu do starej polskiej normy obciążeń. Wnioski oraz spostrzeżenia poparte przykładowymi wynikami obliczeń zostały przedstawione i opisane w artykule w odniesieniu do analizy istniejących obiektów infrastruktury kolejowej.



dr inż.
Janusz Ukleja
Transport Consulting Sp z o.o.
54-413 Wrocław
ul. Klecińska 125



dr. Inż.
Sławomir Bukowski
Transport Consulting Sp z o.o.
54-413 Wrocław
ul. Klecińska 125

Wstęp

Interoperacyjność systemu kolei to pojęcie dla uczestników procesu inwestycyjnego wciąż nowe, ale również z uwagi na skomplikowanie polskiego prawa trudne do zrozumienia i w efekcie trudne do praktycznego wdrożenia. Skutkiem takiej sytuacji jest traktowanie przez uczestników tego procesu zarówno nowych unijnych jak i polskich przepisów związanych z interoperacyjnością kolei jako zła koniecznego oraz wyrażanie niechęci do poznawania i stosowania tych przepisów. Podejście takie jest całkowicie zrozumiałe, jeśli wziąć pod uwagę brak spójności zarówno pomiędzy krajowym prawem

budowlanym i kolejowym oraz prawem unijnym, które w formie rozporządzeń i decyzji Komisji Europejskiej obowiązuje w Polsce, będącej członkiem Unii Europejskiej.

Zagadnienie przedstawione w niniejszym artykule dotyczy tylko małego fragmentu systemu kolejowego, jakim są budowle infrastruktury podtorza (budowle ziemne, mury oporowe, przepusty itd.), jednak wskazane problemy związane z różnymi, często odmiennymi wymaganiami prawnymi są jednym z wielu przykładów braku spójności prawa lub braku określenia zasad jego stosowania. Z problemami tymi muszą się zmierzyć zarówno projektanci infrastruktury kolejowej, jak i wykonawcy robót budowlanych oraz zarządcy infrastruktury. Kwestie te rodzą również problemy z oceną zgodności realizowaną poprzez jednostki notyfikowane. W konsekwencji stanowiąc mogą bariery w zachowaniu właściwych relacji między współpracującymi stronami, a nawet wpływać na jakość realizowanych prac i na pewność co do poprawności realizacji projektu. Momentem przełomowym było przyjęcie Dyrektywy 2008/57/WE w sprawie interoperacyjności systemu kolei w dniu 17 czerwca 2008 roku, która do polskiego prawa została częściowo wprowadzona dopiero 28 stycznia 2012 roku (a więc z prawie 4 letnim opóźnieniem) ustawą o zmianie ustawy o transporcie kolejowym z 16 września 2011 r. (Dz. U. 2011 nr 230 poz. 1372 ze zm.), a następnie wprowadzona w życie od 31 marca 2014 roku ustawą z 30 sierpnia 2013 r. o zmianie ustawy o transporcie kolejowym (dz. U. 2014, poz. 1152), czyli z pra-

wie 6-letnim opóźnieniem. Od dnia wejścia w życie przepisów tej ustawy na wszystkie nowobudowane i modernizowane odcinki linii kolejowych wykonawcy robót powinni uzyskać od Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego zezwolenie na dopuszczenie do eksploatacji dla każdego podsystemu wchodzącego w skład odcinka linii kolejowej. Wcześniej jednak każdy podsystem strukturalny (infrastruktura, energia, sterowanie) musi być poddany weryfikacji WE, czyli sprawdzeniu zgodności z wymaganiami określonymi w odpowiednich Technicznych Specyfikacjach Interoperacyjności (TSI) lub w przepisach krajowych. Proces weryfikacji, dokonywany przez jednostki notyfikowane, powinien zostać zakończony wydaniem certyfikatu weryfikacji WE.

Jednak w niektórych aspektach TSI nie są dostatecznie klarowne, wymagają właściwych interpretacji (które można znaleźć w wydanych przez Europejską Agencję Kolejową przewodnikach), przez co współpraca między zaangażowanymi stronami (projektanci, wykonawcy robót, zarządcy infrastruktury i jednostki notyfikowane) jest utrudniona.

Wiele niejasności i nieporozumień budzą nie tylko zasady stosowania TSI lub przepisów krajowych, ale również określenie chociażby zakresu podsystemu i jego oceny, sposobu przeprowadzania procesu certyfikacji, wskazanie norm, które mogą i które muszą być zastosowane. Nie zostało również nigdzie jednoznacznie określone, jaki zakres informacji (wymiarów, rysunków, obliczeń, symulacji, opisów) powinien się znaleźć

Tabela 1. Klasyfikacja klas technicznych torów głównych [12]

Klasy torów	Dopuszczalna prędkość pociągów [km/h]	Dopuszczalny nacisk osi		Obciążenie przewozami [Tg/rok]
		lokomotywy [kN]	wagonów [kN]	
0	200	221	140	do 25
1	100	221	221	nie normowane
	120	210	205	
	140	210	190	
	160	205	140	
2	80	221	221	16-25
	100	210	205	
	120	205	190	
3	70	221	221	9-15
	80	210	205	
4	60	221	221	4-8
	70	210	205	
5	30	221	221	do 3
	40	210	205	

Decyzję o przyjęciu klasy torów podejmuje zarządca infrastruktury [8]

Tabela 2. Parametry techniczno-eksploatacyjne dla różnych kategorii linii kolejowych [12]

Lp	Kategoria linii kolejowej	Wartość parametrów techniczno-eksploatacyjnych			
		Obciążenie przewozami T [Tg/rok]	Prędkość poc. pasażerskiego v_{max} [km/h]	Prędkość poc. towarowego v_{tow} [km/h]	Dopuszczalne naciski osi P [kN]
1	Magistralna (0)	$T \geq 25$	$120 < v_{max} \leq 200$	$80 < v_{tow} \leq 120$	$P < 221$
2	Pierwszorzędna (1)	$10 \leq T < 25$	$80 < v_{max} \leq 120$	$60 < v_{tow} \leq 80$	$210 \leq P < 221$
3	Drugorzędna (2)	$3 \leq T < 10$	$60 < v_{max} \leq 80$	$50 < v_{tow} \leq 60$	$200 \leq P < 210$
4	Znaczenia miejscowego (3)	$T < 3$	$v_{max} \leq 60$	$v_{tow} \leq 50$	$P < 200$

Decyzję o przyjęciu kategorii odcinka linii kolejowej podejmuje zarządca infrastruktury [8]

Tabela 3. Kategorie linii wg TSI Infrastruktura i odpowiadające im parametry użytkowe [3].

Kategorie linii wg TSI		Skrajnia	Nacisk osi	Prędkość na linii [km/h]	Długość pociągu [m]
IV -	P	GC	22,5	200	400
	F	GC	25	140	750
	M	GC	25	200	750
V -	P	GB	22,5	160	300
	F	GB	22,5	100	600
	M	GB	22,5	160	600
VI -	P	GB	22,5	140	300
	F	GC	25	100	500
	M	GC	25	140	500
VII -	P	GA	20	120	250
	F	GA	20	100	500
	M	GA	20	120	500

gdzie: P - ruch pasażerski, F - ruch towarowy, M - ruch mieszany, skrajnie GA, GB, GC wg [5], załącznik C.

w dokumentacji projektowej, aby możliwa była jej ocena na zgodność z wymaganiami interoperacyjności.

Sygnalizowane powyżej kwestie, jak również wiele innych dotąd nieregulowanych, wymagają dokładnego rozpoznania i ustalenia sposobu ich rozwiązania. Jednak podstawową, najpilniejszą sprawą i pierwszym krokiem jaki należałoby wykonać, jest wskazanie i uświadomienie wszystkim stronom procesu inwestycyjnego na czym polegają poszczególne problemy. W artykule naświetlono jeden z takich problemów, dotyczący nośności istniejących budowli infrastruktury.

Ogólne wymagania dotyczące warunków technicznych jakim powinny odpowiadać tory i linie kolejowe i w Polsce

W Polsce na podstawie przepisów z 1988 r. [12] wszystkie tory znajdujące się na szlaku oraz w obrębie stacji kwalifikuje się do jednej z sześciu klas technicznych (patrz tab.1) w zależności od :

- dopuszczalnej prędkości pociągu określonego rodzaju,
- nacisku osi lokomotywy w pociągu, dla którego przyjęto dopuszczalną prędkość,
- nacisku osi wagonów w pociągu, dla którego przyjęto dopuszczalną prędkość,
- obciążenia przewozami.

Przy czym dopuszczalne naciski osi taboru zawarte w tab.1 odnoszą się do wytrzymałości nawierzchni o standardzie odpowiadającym danej klasie torów, ale nie mają zastosowania do obiektów inżynierskich.

Ponadto linie kolejowe dzielą się na cztery kategorie o ściśle określonych parametrach techniczno eksploatacyjnych określonych w tab.2. Aby zakwalifikować linię do danej kategorii musi ona spełniać przynajmniej jeden z parametrów techniczno-eksploatacyjnych podanych w tablicy 2.

Natomiast w ustaleniach Komisji Europejskiej zawartych w TSI Infrastruktura dla poszczególnych linii kolejowych [3] określono cztery kategorie z rozbiem na ruch pasażerski, towarowy i mieszany (patrz tab.3), w odniesieniu do następujących parametrów użytkowych: skrajni kolejowej, nacisku na pojedynczą oś pojazdu, prędkości określonej dla danej linii, długości pociągu poruszającego się po linii kolejowej.

Kryteria doboru modelu obciążeń projektowych budowli dla infrastruktury kolejowej

Dla wszystkich klas torów oraz kategorii (klas) linii kolejowych, zgodnie ze starą normą obciążeń nazwaną dalej „PN” z 1985 roku [11] i normą nazwaną dalej „EN” zawartą Eu-

rozkładzie 1 z 2007 r. [6] obowiązuje w Polsce ujednolicony schemat obciążeń oddziaływania ruchomego taboru kolejowego na elementy infrastruktury opracowany dla obiektów mostowych. Z powodu braku innych ustaleń normatywnych schemat ten uznany został za obowiązujący dla wszelkich elementów infrastruktury kolejowej w zakresie podtorza, obiektów inżynierskich i budowli ziemnych.

W tym zakresie wg PN obowiązują dwa schematy obciążeń:

- a. schemat podstawowy obciążenia taborem kolejowym (rys.1a),
- b. schemat obciążeń zastępczych (rys.1 b).

Oddziaływanie ruchu taboru kolejowego wg EN określone zostało w [6] dla następujących pięciu modeli obliczeniowych:

- a. model 71 stosowany dla obiektów ciągłych (rys.1 c),
- b. model SW/0 stosowany dla obiektów ciągłych (rys.1 d),
- c. model SW/2 stosowany do określenia efektów globalnych wywołanych ciężkim ruchem kolejowym (rys.1e),
- d. model obciążenia pociągiem pozbawionego ładunku (pionowe obciążenie równomierne rozłożone o wartości 10 kN/m),
- e. model zastępczy obciążenia dynamicznego HSLM w dwóch wersjach A i B od pociągu pasażerskiego dla prędkości maksymalnej powyżej 200km/h.

Przy czym podstawowym obciążeniem w przypadku EN jest model 71, odpowiadający dokładnie schematowi podstawowego obciążenia taborem wg normy PN [11] pokazanego na rys.1a., występującego również w ekwiwalentnej formie zastępczej pokazanej na rys. 1 b).

Zgodnie z dotychczasową normą PN, jak i nową normą EN obciążenia, dla różnych kategorii linii obciążenia dla każdego schematu podlegają zróżnicowaniu poprzez zastosowanie współczynnika α . Polega to na pomnożeniu wartości sił modelu podstawowego z rys. 1 c przez współczynnik α uzyskując wielkości obciążeń charakterystycznych zgodnie z (1) i (2).

$$Q_c = \alpha \cdot Q_{vk} \quad (1)$$

$$q_c = \alpha \cdot q_{vk} \quad (2)$$

gdzie:

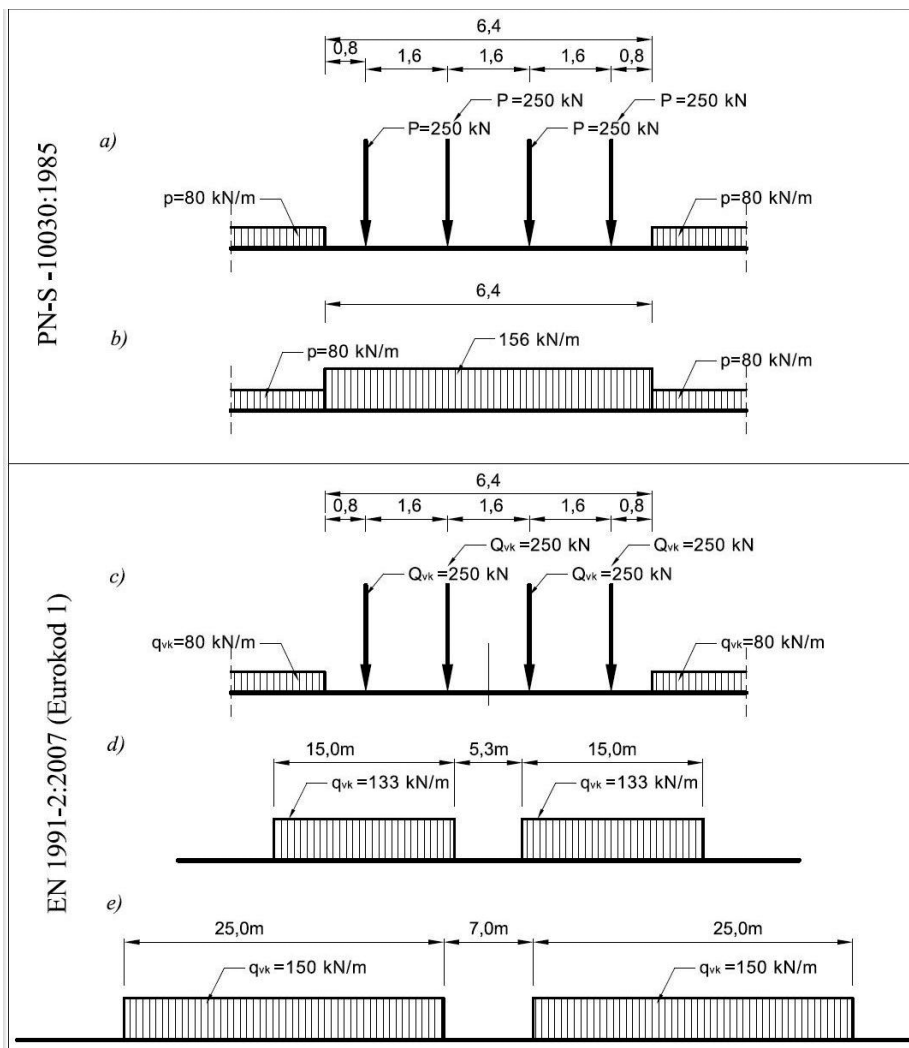
Q_c - wartość charakterystyczna siły skupionej,

Q_{vk} - wartość siły skupionej z modelu 71,

q_c - wartość charakterystyczna siły równomiernie rozłożonej,

q_{vk} - wartość siły równomiernie rozłożonej z modelu 71,

α - współczynnik, którego wartość należy przyjmować jako najbardziej niekorzystną



1. Schematy modeli obliczeniowych rozkładu podłużnego obciążeń od taboru kolejowego: a) Model podstawowy wg [11]; b) Model zastępczy wg [11]; c) Model 71 wg [6], d) Model SW/0 wg [6]; e) Model SW/2 wg [6]

Tabela 4. Wartości współczynników klasyfikacyjnych α_{EC} wg Eurokodu1 - PN-EN 1991-2

Współczynnik	Wartości przyjmowanych współczynników obciążeń α							
α_{EC}	0,75	0,83	0,91	1,00	1,10	1,21	1,33	1,46
Na liniach międzynarodowych zalecane jest przyjmowanie $\alpha_{EC} \geq 1,0$.								

Tabela 5. Wartości współczynników klasyfikacyjnych α_{PN} wg PN-85/10030

Współczynnik	Bocznice	Prowizoryczne i tymczasowe mosty	Linie znac. miejscowego (kat.3)	Linie drugorzędne (kat.2)	Linie magistralne i pierwszorzędne oraz wszystkie zelektryfikowane (kat. 0 i 1)
k	-1	0	0	+1	+2
α_{PN}	0,90	1,00	1,00	1,10	1,21

Tabela 6. Wartości współczynników klasyfikacyjnych α_{TSI} wg TSI

Współczynnik	Nowe linie podstawowe siedTEN (IV)	Zmodernizowane linie podstawowe siedTEN (V)	Nowe pozostałe linie siedTEN (VI)	Zmodernizowane pozostałe linie sieci TEN (VII-P)*	Zmodernizowane pozostałe linie sieci TEN (VII-F, VII-M)*
α_{TSI}	$\geq 1,1$	$\geq 1,0$	$\geq 1,1$	$\geq 0,83$	$\geq 0,91$

* P - ruch pasażerski; F - ruch towarowy; M - ruch mieszany

spośród wyznaczonych wielkości α_{EC} , α_{PN} i α_{TSI} opisanych w tab.4-6.

Wartości występującego w (1) i (2) współczynnika α są określane w zależności od rodzaju, ważności i sposobu użytkowania linii. Inne wartości określają w tym względzie zarówno Eurokod, norma PN i ustalenia TSI, które zestawiono w tab.4-6.

Należy zaznaczyć, że przy wykonywaniu obliczeń sprawdzających współczynnik α jest jedynie współczynnikiem korygującym dla obciążeń charakterystycznych i aby właściwie określić wartości obciążeń obliczeniowych należy obciążenia charakterystyczne pomnożyć dodatkowo przez odpowiedni współczynnik obciążeń γ_f dla stanów granicznych nośności oraz przez współczynnik dynamiczny (φ_2 lub φ_3), określony w zależności od jakości utrzymania toru:

- w przypadku starannie utrzymywanego toru:

$$\varphi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\varphi - 0,2}} + 0,82$$

wtedy $1,00 \leq \varphi_2 \leq 1,67$ (3)

- w przypadku standardowego utrzymywania toru:

$$\varphi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\varphi - 0,2}} + 0,73$$

wtedy $1,00 \leq \varphi_3 \leq 2,00$ (4)

gdzie:

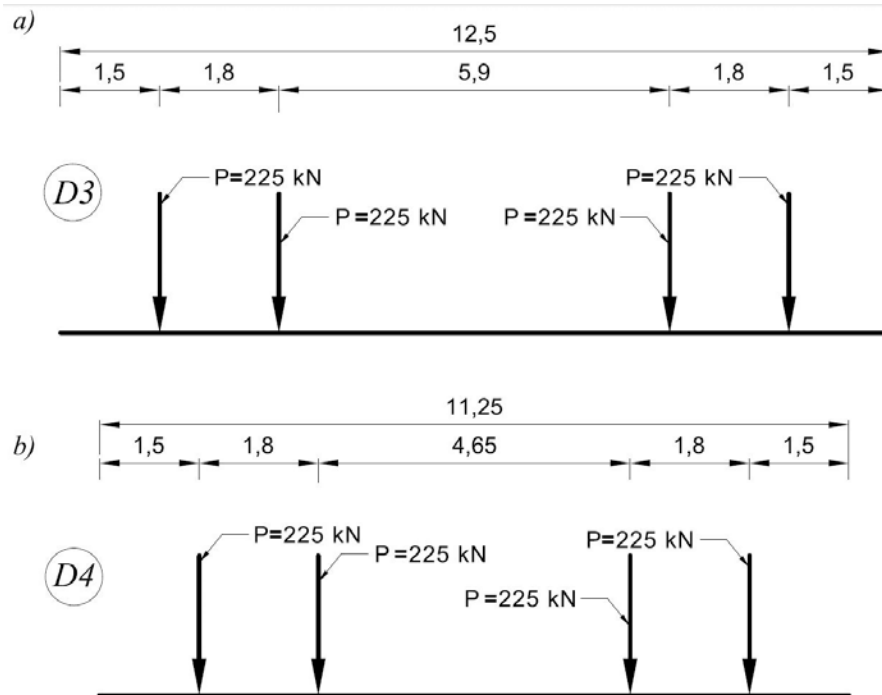
L_φ - długość miarodajna określona w [6] w tab.6.2.

Podane w zależności (3) i (4) określenia współczynnika dynamicznego odnoszą się do określeń EN, natomiast w normie PN podany jest tylko wzór (3) z zastrzeżeniem że dotyczy zakresu $3,6m \leq L_\varphi \leq 65,0m$, a w pozostałych przypadkach:

- dla $L_\varphi \leq 3,6m$ należy przyjmować $\varphi = 1,67$,
- dla $L_\varphi \geq 65,0m$ należy przyjmować $\varphi = 1,00$.

Zatem określenie współczynnika dynamicznego wg PN w EN zostało rozszerzone o uwzględnienie stanu utrzymania torów, dając wartości tożsame dla starannego utrzymania i bezpieczniejsze w przypadku toru gorzej utrzymanego. Można zatem uznać, że EN jest bardziej odpowiednie do określania wielkości współczynnika dynamicznego, gdyż uwzględnia więcej czynników mających na niego wpływ.

W przypadku budowy istniejących często wartości obliczeniowe sił wewnętrznych przekraczają wielkości dopuszczalne przy sprawdzeniu nowych warunków użytkowania zgodnie z nowymi przepisami. W takiej sytuacji zgodnie z pkt. 7.4 [11] można zastosować zależność (5) do wyznaczenia obniżonego współczynnika dynamicznego jak dla obciążenia wyjątkowego, stosując rów-



2. Modele obciążeń wg [4] przypisane kategorii V-M: a) schemat D3, b) schemat D4

nocześnie wartość współczynnika obciążeń równą 1,15 zamiast wartości 1,5 właściwej dla układu podstawowego.

$$\varphi_{mv} = 1 + \frac{\varphi - 1,0}{70} (v - 10) \quad (5)$$

Charakterystyczne w tym przypadku jest to, że współczynnik dynamiczny zależy od przewidywanej prędkości poruszania się taboru v . Może mieć to szczególne znaczenie w odniesieniu do odcinków linii lub obiekt inżynierski podlegających programowemu ograniczeniu prędkości. Jednak taka sytuacja jest możliwa gdy maksymalne obciążenia występują sporadycznie przy akceptacji administracji zarządcy.

Obliczenia stateczności budowli w odniesieniu do istniejących norm i rozporządzeń

Omówione powyżej warunki określania maksymalnych wielkości obciążeń użytkowych w oparciu o normę PN [11], nową normę EN [6] i dodatkowo wymagania obowiązujących już od czerwca 2011 r. zawarte w TSI Infrastruktura [3] stały się bardziej skomplikowane i mogą powodować wiele wątpliwości. Obszary i zakresy obowiązywania wymagań dotyczących infrastruktury kolejowej nakładają się na siebie, tworząc skomplikowany system oceny pod względem zachowania wyżej wymienionych wymogów. Prowadzi to do pewnych sprzeczności i niejednoznaczności.

Jest to szczególnie widoczne gdy należy określić, który z modeli obciążeń ustalony jest dla konkretnego odcinka linii kolejowej przypisanej do odpowiedniej jednostki kla-

syfikacyjnej. Zarządca infrastruktury kolejowej ustala swoje zasady w oparciu o obowiązujące normy i przepisy, ale niekiedy nie rozpatruje ich kompleksowo, a jedynie stosuje wybiórczo te, które uzna za stosowne. W takiej sytuacji może dochodzić do nieścisłości, które mogą wpływać na bezpieczeństwo, zwłaszcza w sytuacji gdy przypisane, maksymalne wartości obciążeń są zaniżone.

Sytuacja taka miała miejsce w przypadku modernizacji (remontu) linii kolejowej nr 273 Wrocław Główny – Szczecin Główny na odcinku Głogów – Zielona Góra – Rzepin – Dolna Odra [9], należącej do PKP PLK S.A. Objęty projektem odcinek został sklasyfikowany w [7] jako ważna międzynarodowa linia transportu kombinowanego o schemacie obciążeń D3 wg [6], bez zdeterminowanej maksymalnej prędkości dopuszczalnej.

Tymczasem ta sama linia została sklasyfikowana jako należąca do transeuropejskiej sieci transportowej TEN-T o kategorii wg TSI jako V-M, a więc zgodnie TSI (załącznik E) powinien mieć dla niej zastosowanie schemat D4 i maksymalna prędkość dopuszczalna 100 km/h dla wagonów towarowych jako najniekorzystniejsze obciążenie. Ponadto biorąc pod uwagę, że dla schematu D4 obowiązuje maksymalna prędkość dopuszczalna 120 km/h, zachodzi konieczność przyjęcia tej najwyższej prędkości jako obowiązującej. Zatem, podane przez PLK wymogi co do klasyfikacji obciążeń dopuszczalnych zaniżają schemat, z bardziej niekorzystnego D4 (Rys. 2 b) do bardziej korzystnego D3 (Rys. 2 b), co działa ujemnie na bezpieczeństwo. Natomiast prędkość



3. Mur oporowy w linii nr 276 Wrocław-Międzyzlesie: a) Widok od strony torowiska, b) Strona odpowietrzana kamiennego muru oporowego [14]

maksymalna jest sprzeczna w TSI i PN i należałoby jako najbezpieczniejszą przyjąć największą tj. 120km/h.

Ponieważ wymogi TSI obowiązują od niedawna, zarówno zarządcy linii jak i projektanci nie zauważają tego problemu. Jednak ta nieścisłość wymaga aby poświęcić jej należytą uwagę. Dlatego aby określić wagę problemu przeprowadzono symulacyjne obliczenia sprawdzające dla pojedynczego przykładu, którego wyniki opisano w następnym rozdziale niniejszej publikacji.

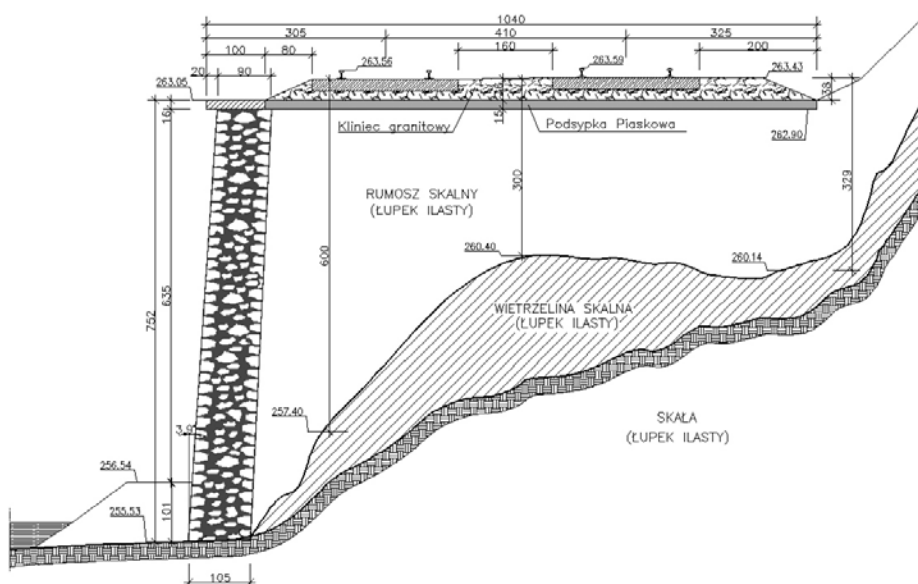
Analiza porównawcza na przykładzie badań stateczności muru oporowego

Stabilizacja obiektów zagrożonych osuwiskami lub wykonanych w trudnych górskich warunkach posadowienia stwarzało zawsze wiele problemów z zapewnieniem stabilności obiektów inżynierskich [13]. Analizowany przykład oparto na badaniach sprawdzających stateczność dla rzeczywistego przypadku opisanego w [1, 2, 14 i 15] (rys. 3). Dotyczyły one budowy inżynierskiej jaką jest kamienny, ponad stuletni mur oporowy, który uległ degradacji podczas użytkowania. W celu określenia jego stateczności wykonane zostały obliczenia sprawdzające zgodnie z założeniami PN, a następnie wykonano te same obliczenia z uwzględnieniem obciążeń wg EN i TSI.

Na rysunku nr 3 pokazano analizowany przekrój charakterystyczny przez skarpe i mur oporowy. Wykonane obliczenia sprawdzające stateczność muru oporowego polegały na zebraniu wszystkich występujących obciążeń obliczeniowych, a następnie przeprowadzeniu sprawdzenia dwóch warunków stateczności, określających czy mur jest stabilny na obrót i na przesuw.

Do obliczeń sprawdzających przyjęto:

a. ze względu na stateczność muru oporowego na obrót badano wycinek muru



4. Przekrój poprzeczny przez mur oporowy z rys. 3 oraz przez podtorze i warstwy gruntu

oraz nasypu kolejowego o szerokości 1m, na którym przeprowadzono sprawdzenie stateczności na obrót względem punktu obrotu A (rys. 5),

b. ze względu na stateczność muru oporowego na przesuw badano wycinek muru oraz nasypu kolejowego o szerokości 1m, na którym przeprowadzono sprawdzenie stateczności na przesuw względem płaszczyzny styku muru z podłożem skalnym (rys.4 i 5).

Zebrane obciążenia obliczeniowe (rys. 5) obejmowały wszystkie istotne obciążenia muru:

- ciężar własny muru oporowego (siła G_2),
- ciężar własny wieńca betonowego muru (siła G_1),
- ciężar własny podsypki tłuczniowej i piaskowej oraz gruntu nasypowego z rumoszu skalnego, (siła pionowa E_{Gv}),
- parcie czynne gruntu na mur oporowy od ciężaru własnego podsypki tłuczniowej

i piaskowej oraz gruntu nasypowego z rumoszu skalnego (siła pozioma E_{Gh}),

e. obciążenia od taboru kolejowego przeniesione przez grunt na mur (siła pionowa E_{Qv}),

f. obciążenia od taboru kolejowego przeniesione przez grunt na mur (siła pozioma E_{Qh}).

Sprawdzenie muru oporowego na obrót wykonano zgodnie z [10] wg następującej zależności:

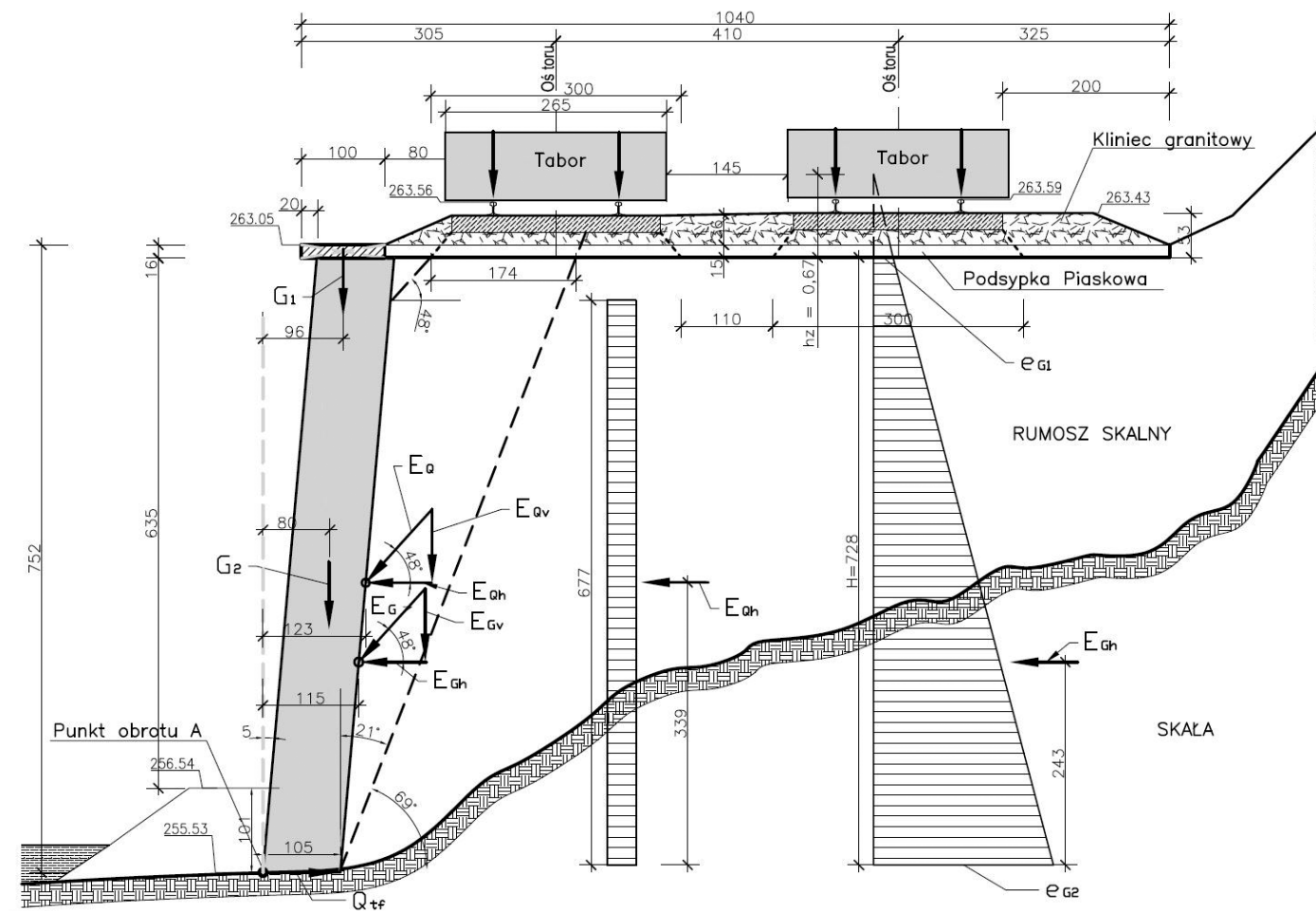
$$M_o^A < M_u^A \cdot m_o \quad (6)$$

gdzie:

M_o^A - moment wszystkich sił obliczeniowych powodujących obrót ściany,

M_u^A - moment wszystkich sił obliczeniowych przeciwdziałających obrotowi ściany, $m_o = 0,9$.

Sprawdzenie muru oporowego na prze-



5. Rozkład obciążeń użytkowych wg [11] wraz z zebraniem obciążeń na 1m długości muru oporowego z rys. 3 i 4

suw dokonano zgodnie z [10] wg następującej zależności:

$$Q_r < Q_f \cdot m_t \quad (7)$$

gdzie:

Q_{tr} - obliczeniowa wartość składowej stycznej (poziomej) obciążenia w płaszczyźnie ścięcia,

$m_t = 0,95$,

Q_{tf} - suma rzutów na płaszczyźnie ścięcia wszystkich sił obliczeniowych przeciwdziałających przesunięciu ściany.

Po przeprowadzeniu obliczeń stateczności muru oporowego z rys. 3÷5 wg warunków określonych w (6) i (7) dla jednakowych warunków obciążeń, przy przyjęciu schematów wg PN [11], EN [6] i [8, 9 i 7] oraz [3] otrzymano wyniki, które zestawiono w tabeli 7.

We wszystkich przypadkach stateczność na obrót nie została spełniona, co spowodowało konieczność kotwienia muru na całej długości w podłożu skalnym. Takie właśnie wzmocnienie zostało wykonane w tym konkretnym przypadku przy remoncie muru oporowego, aby z uwzględnieniem siły kotwiącej warunek ten był spełniony. Natomiast drugi warunek jest spełniony i nie występował przesuw, niezależnie od przyjętego schematu obciążeń. Sposób remontu, wzmoc-

nienia i kotwienia muru nie jest istotny dla dalszej analizy, dlatego ograniczono się jedynie do schematu pokazanego na rys. 5.

Przy analizie wyników porównano zatem ze sobą wyniki pod kątem zmian wielkości sił w zależności od przyjętego schematu obciążeń, które podano w tabeli 8.

Wyniki zawarte w tab. 8 pokazują że proporcje sił powodujących utratę stateczności, do tych które tę stateczność utrzymują. Są one podobne we wszystkich przypadkach, a różnice nie przekraczają 6% przy obrocie i 15% przy przesuwie. Nie wpływa to jednak w przedstawionym przypadku na zmianę oceny stateczności ogólnej. Przy czym można zaobserwować zbliżone wyniki dla obu norm obciążeń PN i EN oraz niewielkie różnice pomiędzy schematami D3 i D4, które nie przekraczają 2%. Tymczasem różnice pomiędzy PN i EN, a Zał. 2.2B wg[7] osiągają wartość ok. 5÷14%. W tym przypadku bezpiecznej dla stateczności muru jest gdy wartość N1 jest mniejsza, a wartość N2 jest większa. Można zatem stwierdzić, że dla obrotu najbezpieczniej jest stosować PN, a dla przesuwu EN, przy czym różnice dla obu tych schematów są nieznaczne. Natomiast, jak można się było spodziewać, bardziej bezpieczny będzie schemat D4 niż D3 lecz różnice między nimi są niewielkie.

Wnioski

W dobie zmian zachodzących w naszym kraju, związanych z coraz mocniejszą integracją w ramach Unii Europejskiej dostosowanie i zachowanie jednolitych standardów stało się zadaniem bardzo ważnym. Dodatkowo nakładają się na to zmiany zachodzące w obrębie całej wspólnoty i poszczególnych krajów członkowskich. Powstały uregulowania obejmującą swoim zakresem cały europejski system kolejowy. Nowe przepisy zawarte w decyzji Komisji Europejskiej dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” (TSI Infrastruktura) są przykładem trudności w pogodzeniu dotychczasowych normi ustaleń z nowymi zaleceniami i przyzwyczajeniami osób odpowiedzialnych za zlecenie, wykonywanie i ocenę projektów nowych i remontów istniejących obiektów infrastruktury kolejowej. Przeprowadzona w niniejszej publikacji analiza porównawcza warunków obciążeń z uwzględnieniem obowiązujących norm i przepisów daje obraz różnic jakie wynikają z zastosowania odmiennych schematów obliczeniowych. Wyniki tych analiz zestawiono w tabeli 7 i 8. Na ich pod-

Tabela 7. Zestawienie wyników dla przeprowadzonej analizy stateczności

Podstawa prawna	Współczynniki			Schemat obciążeń (najbardziej niekorzystny)	Stateczność na obrót		Stateczność na przesuw	
	a	φ	γ_f		M_o^A [kNm]	$M_u^A \cdot m_o$ [kNm]	Q_r [kN]	$Q_f \cdot m_t$ [kN]
	kategorii linii	dynamiczny	obciążeń		Moment powodujący obrót	Moment przeciwdziałający obrotowi	Siła powodująca przesunięcie	Siła przeciwdziałająca przesunięciu
PN	1,21	1,00	1,5	Zastępczy dla ($k = +2$) (wg rys.1 b)	413,6	328,2	145,3	213,8
EN	$1,21 \geq 1$	1,06	1,5	Podstawowy (wg rys.1 c)	426,7	333,0	149,2	216,3
Załącznik 2.2B [7]	1,21	1,00	1,5	D3 (V-M) wg [3]	379,7	286,5	111,4	191,2
TSI	$1,21 \geq 1$	1,00	1,5	D4 (V-M) wg [8 i 9]	382,9	290,4	114,6	193,4

Tabela 8. Porównanie wyników dla różnych wyjściowych schematów obciążeń

Podstawa prawna	Schemat obciążeń	Proporcja sił powodujących utratę stateczności do przeciwdziałających	
		Stateczność na obrót	Stateczność na przesuw
		$N1 = \frac{M_o^A}{M_u^A \cdot m_o}$	$N2 = \frac{Q_r}{Q_f \cdot m_t}$
PN	Zastępczy	1,26	0,68
EN	Podstawowy	1,28	0,69
Załącznik 2.2B [7]	D3 (V-M)	1,33	0,58
TSI	D4 (V-M)	1,32	0,59

stawie można określić kilka zasadniczych wniosków i spostrzeżeń:

- we wszystkich analizowanych przypadkach różnice wyników analizy stateczności muru nie przekraczają 6% przy obrocie i 15% przy przesuwie,
- dla normy PN [11] i EN [6] wyniki są bardzo zbliżone, bądź identyczne w zależności od interpretacji wielkości współczynnika dynamicznego,
- dla wymagań zawartych w TSI Infrastruktura [3] na przykładzie schematu D4 i D3 można stwierdzić, że różnica jest niewielka i nie przekracza 2%, choć należy zaznaczyć, że analizowany przypadek dotyczy tylko jednego aspektu z całej gamy obiektów inżynierskich i budowli ziemnych, dla których należałoby podobną analizę również przeprowadzić.

Wynika z tego, że różnice w podejściu do arbitralnego wyboru zastosowania schematu obciążeń mają pewien wpływ na ostateczny wynik w stopniu mogącym wpływać w niektórych przypadkach na bezpieczeństwo interoperacyjne budowli podtorza. Dlatego sugeruje się określenie bardzo precyzyjnych wytycznych dotyczących rozwiązania omawianego problemu przez jednostki decyzyjne, które umożliwiłyby projektantom i zarządcom infrastruktury jednoznaczne i nieskomplikowane warunki doboru właściwych schematów obliczeniowych w powią-

zaniu z klasyfikacją linii kolejowych odpowiadające wymogom interoperacyjności. ◀

Materiały źródłowe

- Bęben D., Ukleja J., Anigacz W., „Badania muru oporowego z wykorzystaniem georadaru”, Inżynieria i budownictwo, 2012r., tom R. 68, nr 8, 413-417.
- Bęben D., Anigacz W., Ukleja J. „Diagnosis of the bedrock course and the retaining wall using the GPR”: Elsevier, NDT & E International, 59 (2013), 77-85,
- Decyzja Komisji Europejskiej z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych. 2011/275/UE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 126/53. Bruksela 14.05.201.
- PN-EN 15528: 2008, Kolejnictwo – „Klasyfikacja linii w odniesieniu do oddziaływań pomiędzy obciążeniami granicznymi pojazdów szynowych a infrastrukturą”.
- PN-EN 15273-3:2010 „Kolejnictwo -Skrajnie-Część 2-Skrajnia pojazdów szynowych”.
- PN-EN 1991-2:2007 (Eurokod 1) – „Oddziaływanie na konstrukcje – Część 2: Obciążenie ruchome mostów”.

- PKP PLK S.A. „Regulamin przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rozkładu jazdy pociągów 2013/2014”, Uchwała Nr 79/2013 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 5 lutego 2013 r.
- PKP PLK S.A., „Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych”, Id-1 (D-1), Warszawa 2005r.
- PKP PLK S.A., „Wykaz linii”, Id-12 (D-29) Tekst ujednoczony i zaktualizowany, Warszawa 2009r.
- PN-83/B-03010, „Ściany oporowe”.
- PN-85/S-10030, „Obiekty mostowe, Obciążenia”.
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1988 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 151 poz. 987.
- Ukleja J., „Geotechniczne aspekty stabilizacji obszarów zagrożonych osuwiskami”, Politechnika Opolska, Monografie, 2013.
- Ukleja J., Bęben D., Anigacz W., „Determination of the railway retaining Wall dimensions and its foundation In difficult terrain and utility”, AGH Journal of Mining and Geoengineering, Vol.36, No.2, Kraków 2012r., 299-308.
- Ukleja J., Bęben D., Anigacz W., „Określenie wymiarów kolejowego muru oporowego i jego posadowienia w trudnych warunkach terenowych i użytkowych”, XXXV Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, Wisła- Jawornik 2012r.