

UKŁADY PŁYT DO PRÓBNYCH OBCIĄŻEŃ PODTORZA¹

Łucjan Siewczyński

Dr hab. inż. prof. n. PR, prof. n. PWSZ w Gnieźnie, Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań, tel.: +48 61 665 24 31, lucjan.siewczynski@put.poznan.pl

Michał Pawłowski

Dr inż., Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań, tel.: +48 61 665 24 07, michal.pawlowski@put.poznan.pl

Streszczenie. Artykuł zawiera analizę współpracy podtorza i podkładów nawierzchni w zakresie potrzebnym w modelowaniu układu płyt do określania modułów odkształcenia podtorza w próbnym obciążeniu. Uwzględnione jest obciążenie podtorza obecnie stosowaną płytą okrągłą oraz płytami czworokątnymi zgodnymi z kształtem podkładów. Przeprowadzono analizę stanu naprężenia podtorza pod płytami obciążającymi. Podjęto próbę określenia kształtu i rozmieszczenia płyt próbnym w badaniach odkształcalności podtorza uwzględniających rzeczywisty sposób przekazywania obciążeń. Przeanalizowano oddziaływanie dwóch różnych zestawów płyt obciążających wywołujących w podtorzu stan naprężeń podobny do eksploatacyjnego. Kształt i wymagane obciążenie płyt mogą powodować trudności w zastosowaniu ich w praktyce.

Słowa kluczowe: droga kolejowa, podtorze kolejowe, badania stanu odkształcenia

1. Wprowadzenie

Dla potrzeb budownictwa drogowego podczas próbnym obciążeniach badania płytami przeprowadzane są w pojedynczych (odosobnionych) miejscach. Podczas zwykłej eksploatacji podtorze nawierzchni kolejowej obciążane jest zespołem (układem) powierzchni obciążających (podkładów), które wzajemnie oddziaływać na bezpośrednie otoczenia swojego podłoża, zwiększając skutki oddziaływań przekazywanych przez pojedyncze powierzchnie obciążające (podkłady). Wartości modułów odkształceń określone na podstawie wyników próbnym obciążeniach podtorza pojedynczą płytą są większe, niż gdyby były wyznaczone z wyników próbnym obciążeniach zespołem płyt, modelujących rzeczywisty układ obciążeń. Różnice tych wartości nie są uwzględniane w warunkach projektowych.

W artykule opisano kolejny etap modelowania procesu próbnym obciążeniach podtorza z uwzględnieniem w przebiegu badań rzeczywistych warunków współpracy elementów nawierzchni kolejowej i podtorza pod nawierzchnią. Wymiarowanie podtorza pod nawierzchnią na podstawie wyników badań przeprowadzo-

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Siewczyński Ł. 50%, Pawłowski M. 50 %

nych z uwzględnieniem faktycznego sposobu przekazywania obciążeń może być bowiem korzystniejsze.

W dotychczasowej analizie badań próbnych uwzględniono wpływ kształtu powierzchni obciążającej podtorze (kształtu płyty) oraz wymiarów tej powierzchni, ponieważ obecnie badania próbne podtorza przeprowadzane są przy zastosowaniu płyt okrągłych, a w nawierzchni kolejowej stosowane są podkłady poprzeczne jako belki prostokątne; ich powierzchnia oparcia o podsypkę tylko pod szynami prowadzi do przyjmowania do badań płyt czworokątnych o wymiarach uwzględniających kształt podkładów. W analizie uwzględniono więc równania wielkości modułu odkształcenia w przypadku płyty kwadratowej i w przypadku płyty prostokątnej oraz dla porównania – w przypadku płyty okrągłej, wprowadzając wartości parametrów opisujących proces badań i obliczeń dla równania określającego wielkość modułu odkształcenia [9, 10, 11].

Dalsza analiza znaczenia zastosowania płyt czworokątnych do próbnych obciążeń polegała na ocenie ich oddziaływania na podtorze w porównaniu z oddziaływaniem płyty okrągłej; ocena zawierała określenie stanów naprężeń pod płytami w gruncie podtorza traktowanym, zgodnie z normą [3], jako półprzestrzeń sprężysta, izotropowa i jednorodna. Uzyskano różne oddziaływania płyt na podtorze; płyt czworokątnych większe niż płyty okrągłej.

W analizie współpracy tych płyt z podtorzem [9] uwzględniono także osiadania, stwierdzając na podstawie obliczeń ich oddziaływanie do różnej głębokości; na podstawie osiadań wyznaczono także moduły odkształcenia i dokonano oceny ich wartości – największą wartość z próby płytą okrągłą, mniejszych (o ponad 60%) z próby płytą prostokątną.

Stosowanie płyt prostokątnych według kształtu powierzchni oparcia podkładów o podsypkę mogłoby prowadzić do uwzględnienia udziału podtorza na większą głębokość niż z prób płytą okrągłą, a więc urealniałoby wpływ podtorza z większej głębokości na warunki jego współpracy z nawierzchnią.

Niżej przedstawiona analiza uwzględnia znaczenie ustawienia (układu) względem siebie powierzchni przekazujących obciążenia na podtorze, na jego stan naprężeń kwalifikowany w miarodajnym przekroju (w punkcie poniżej torowiska).

2. Stan naprężeń pionowych w podtorzu

Obliczenia naprężeń w podtorzu od obciążenia zewnętrznego przeprowadzono zgodnie z normą [3] oraz według [6, 13 i 15] traktując podtorze z warstwą ochronną jako półprzestrzeń rozciągającą się nieskończenie głęboko. Przyjęto, że podtorze jest sprężyste (liniowo-odkształcalne), izotropowe i jednorodne.

Wartości naprężeń pierwotnych w podtorzu wyznaczono ze wzoru:

$$\sigma_{zy} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i \quad (1)$$

gdzie:

σ_{z_i} – naprężenia pierwotne [kPa],

γ_i – ciężar objętościowy gruntu w każdej warstwie i [kN/m³],

b_i – grubość warstwy i [m].

Naprężenia pionowe w dowolnym punkcie podłoża od obciążenia powierzchnią prostokątną wyznaczono przy założeniu, że jest ona podatna, stosując zależność (rys. 1) [13]:

$$\sigma_{z_{qp}} = \frac{3 \cdot q \cdot z^3}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-a-b}^a \int_{-a-b}^b \frac{d\xi d\eta}{\left[(x_i - \xi)^2 + (y_i - \eta)^2 + z^2 \right]^{5/2}} \quad (2)$$

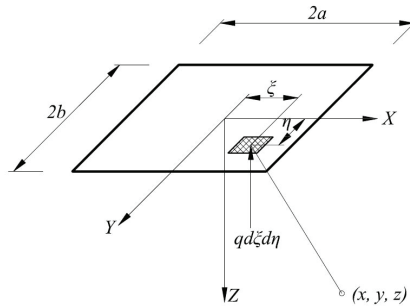
gdzie:

$\sigma_{z_{qp}}$ – naprężenie pionowe w podłożu pojedynczego obciążonego obszaru prostokątnego [kPa],

$2a$, $2b$ – wymiary boków prostokąta przekazującego obciążenie [m],

q – nacisk na podłoże [kPa],

x , y , z – współrzędne punktu, w którym wyznacza się naprężenia [m].



Rys. 1. Naprężenia pionowe od równomiernie obciążonego obszaru prostokątnego [13]

Naprężenia w podłożu w dowolnym punkcie półprzestrzeni sprężystej poniżej równomiernie obciążonego podatnego obszaru kołowego (rys. 2) wyznaczono z zależności:

$$\sigma_{z_{qk}} = \frac{3 \cdot q \cdot z^3}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2\pi R} \int_0^R \frac{l \cdot dl d\beta}{\left[l^2 + z^2 + x^2 - 2 \cdot x \cdot l \cdot \cos \beta \right]^{5/2}} \quad (3)$$

gdzie:

$\sigma_{z_{qk}}$ – naprężenia w podłożu od obciążenia obszarem kołowym [kPa],

z , x – współrzędne punktu półprzestrzeni sprężystej [m],

R – promień obszaru kołowego [m],

q – nacisk na podłoże [kPa].

Naprężenia od obciążenia sztywną powierzchnią kołową wyznaczono stosując zależności:

$$\sigma_{zqks} = \eta_s \cdot q \quad (4)$$

gdzie:

σ_{zqks} – naprężenia w podłożu od obciążenia sztywną powierzchnią kołową [kPa],

η_s – współczynnik rozkładu naprężeń według nomogramu [3],

q – nacisk na podłoże [kPa].

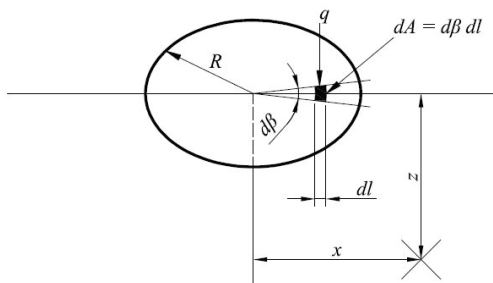
Wartość współczynnika rozkładu naprężeń pionowych η pod obciążeniem płytą sztywną można wyznaczyć ze wzoru [3]:

$$\eta = f(z, R) \quad (5)$$

gdzie:

z – głębokość na której wyznacza się naprężenia [m],

R – promień obszaru kołowego [m].



Rys. 2. Naprężenia pionowe od równomiernie obciążonego obszaru kołowego [6]

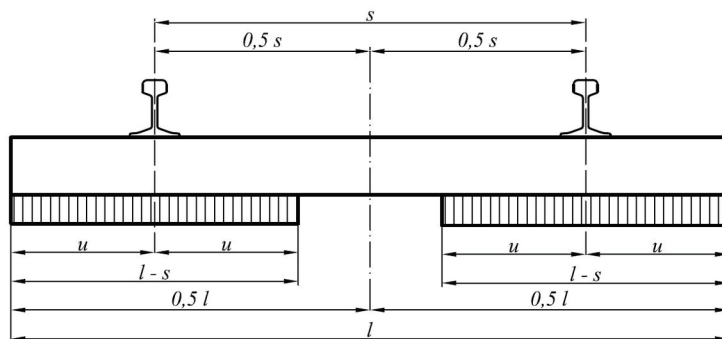
Głębokość określającą zasięg strefy aktywnej (z_{\max}) wyznaczono z zależności, tj:

$$\sigma_{z_{\max}q} \leq 0,3 \cdot \sigma_{z_{\max}\gamma} \quad (6)$$

3. Oddziaływanie podkładów kolejowych na podtorze

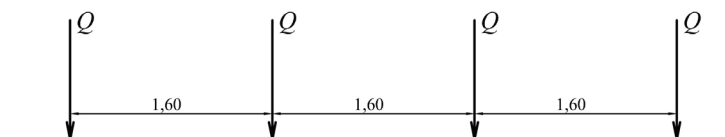
W celu uwzględnienia sposobu przekazywania obciążeń od pojazdów szynowych, poprzez nawierzchnię na torowisko, w próbnym obciążeniu podtorza należy wziąć pod uwagę przede wszystkim kształt, wymiary i układ powierzchni obciążających oraz warstwę pośredniczącą w przenoszeniu obciążeń.

Rozkład nacisków przekazywanych przed podkład na podsypkę nie jest jednakowy na długości podkładu, jak i w jego przekroju poprzecznym. Można przyjąć, że podkład poprzeczny o szerokości b rozdziela na podsypkę działające na niego naciski szyn równomiernie na długości u , symetrycznie z obu stron każdej szyny (rys. 3).



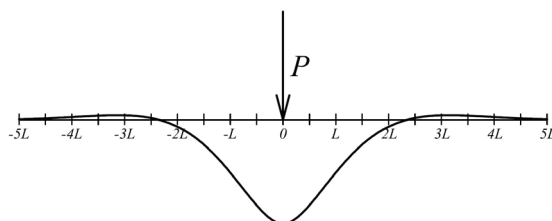
Rys. 3. Schemat podparcia podkładu przyjmowany do obliczeń [14]

Analizę stanu naprężeń pionowych pod podkładami kolejowymi dokonano dla toru z szyn UIC60 ($I_x = 3055 \text{ cm}^4$) na podkładach drewnianych I/B ($b_1 = 0,26 \text{ m}$, $l = 2,60 \text{ m}$) w rozstawie $a = 0,60 \text{ m}$. Przyjęto model obciążenia pionowego składający się z 4 nacisków osiowych o wartości $Q = 250 \text{ kN}$ każdy, w rozstawie $1,6 \text{ m}$ (model 71) (rys. 4) [1,4].



Rys. 4. Model obciążenia nawierzchni

Naciski podkładów na podsypkę obliczono metodą belki ciągłej na sprężystym podłożu z zastosowaniem współczynnika zwiększającego obciążenie $\alpha = 1,1$ oraz współczynnika podatności podłoża $C = 50 \text{ N/cm}^3$. Wyznaczono długość zastępczą belki równą $L = 1,019 \text{ m}$. W obliczeniach nacisków podkładów na podsypkę przyjmowano za każdym razem obciążenie nawierzchni zestawem czterech sił (rys. 4) Mając na uwadze kształt linii wpływu osiadań (rys. 5), w obliczeniach uwzględniono nieznaczne zmniejszenie nacisków podkładów na podsypkę od sił zlokalizowanych w odległości większej niż około $2,3 L$ od rozpatrywanego przekroju.



Rys. 5. Linia wpływu osiadania do obliczania nawierzchni za pomocą metodą belki podłużnej [14]

Podkłady przekazują równomiernie rozłożone obciążenie na podsypkę zgodnie z zależnością [14]:

$$p = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{2 \cdot b \cdot L} \cdot \eta_i \quad (7)$$

gdzie:

p – obciążenie przekazywane przed podkład na podtorze [kPa],

P – nacisk koła na szynę [kN],

b – szerokość podkładu podłużnego [m],

L – długość zastępcza belki [m],

η – rzędna linii wpływu osiadania do obliczania nawierzchni metodą belki podłużnej [-].

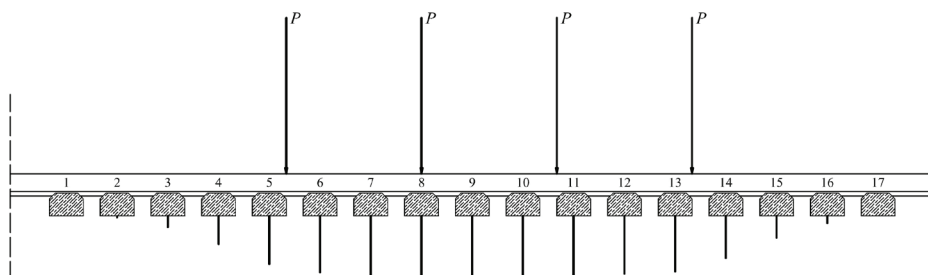
Wcześniejsza analiza [8] wykazała, że dla przyjętego modelu nawierzchni, pojedynczy nacisk na szynę wciąga do współpracy w przekazywaniu obciążenia na podsypkę 7 podkładów. Dlatego w dalszych obliczeniach uwzględniono model nawierzchni składający się z 15 podkładów.

Wyznaczone wartości nacisków szyny na podkłady oraz podkładów na podsypkę w przyjętym schemacie obliczeniowym (rys. 6) zestawiono w tabeli 1. Na rysunku 6. wykreślono wartości i rozkład nacisków podkładów na podsypkę w przyjętym schemacie.

W obliczeniach naprężeń pionowych w podłożu podkładów przyjęto, zgodnie z warunkami rzeczywistymi, iż naprężenia pod rozpatrywaną częścią podkładu (podkład „8” – rys. 6) są zależne również od obciążeń przekazywanych przez sąsiednie części podkładów [7].

Tabela 1. Naciski szyny na podkłady oraz podkładów na podsypkę w przyjętym schemacie obliczeniowym

Nacisk	Podkład																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
szyny na podkład [kN]	0,0	1,5	9,9	25,0	42,6	49,9	52,2	55,6	52,6	53,7	54,9	51,1	49,0	37,1	19,3	6,4	0,0
podkładu na podsypkę [kPa]	0,0	5,1	34,7	87,4	149,1	174,5	182,4	194,3	184,0	187,7	192,0	178,7	171,3	129,8	67,5	22,3	0,0



Rys. 6. Schemat obciążenia nawierzchni

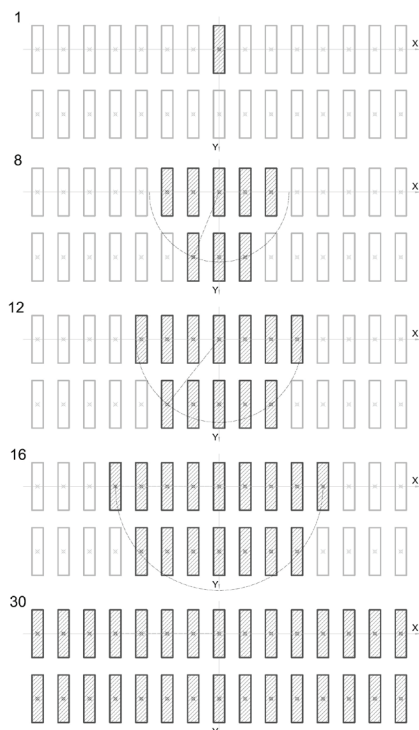
Naprężenia pionowe w rozpatrywanym przekroju, wywołane działaniem układu n obszarów obciążonych (części podkładów) obliczono ze wzoru:

$$\sigma_{zq} = \sigma_{zq0} + \sum_{i=1}^n \sigma_{zqi} \quad (8)$$

Można rozpatrywać wiele konfiguracji układów powierzchni obciążających. Do analizy przyjęto 6 schematów obliczeniowych różniących się między sobą liczbą uwzględnionych powierzchni obciążających. Liczbę i rozmieszczenie powierzchni obciążających obrano z uwzględnieniem ich odległości od środka rozpatrywanej części podkładu „8”. Przyjęte schematy powierzchni obciążających przedstawiono na rysunku 7.

Naprężenia pionowe w podłożu od obciążenia pojedynczą częścią podkładu oraz obliczone z uwzględnieniem wpływu części podkładów sąsiednich, w przyjętym schemacie obliczeniowym, zestawiono w tabeli 2 i zaprezentowano na rysunku 8.

W zależności od uwzględnionych w obliczeniach liczby powierzchni obciążających, naprężenia pionowe pod rozpatrywaną częścią podkładu uzyskują różne wartości. Zgodnie z oczekiwaniami najmniejsze wartości naprężeń pionowych obliczono dla pojedynczej powierzchni, największe zaś dla 30. Największe różnice pomiędzy wartościami naprężeń w przyjętych schematach występują w przypowierzchniowym obszarze do głębokości około 0,9 m (tab. 2, rys. 8).



Rys. 7. Przyjęte schematy w obliczeniach wpływu powierzchni sąsiadujących na wartości naprężeń pionowych

Zmniejszanie się wartości naprężeń pionowych wraz z narastającą głębokością, w schematach obliczeniowych uwzględniających wiele powierzchni obciążających, jest wolniejsze niż przy obciążeniu pojedynczą częścią podkładu (tab. 2, rys. 8). Od głębokości około 0,9 m rozkład naprężeń od pojedynczej powierzchni obciążającej jest podobny do naprężeń pionowych wywołanych obciążeniem okrągłą płytą sztywną o średnicy 0,3 m. Uwzględnienie w obliczeniach naprężeń w rozpatrywanym przekroju 16 powierzchni obciążających powoduje niemal identyczne wartości jak w przypadku 30 powierzchni (rys. 8).

Tabela 2. Naprężenia pionowe w podłożu od obciążeń pojedynczą częścią podkładu oraz obliczone z uwzględnieniem wpływu powierzchni sąsiednich

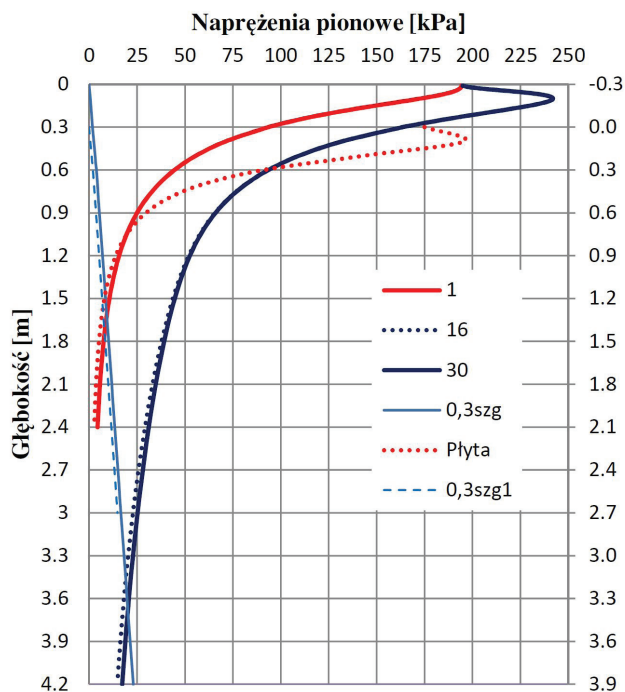
z [m]	Liczba powierzchni obciążających				
	1	8	12	16	30
	Naprężenia pionowe [kPa]				
0,00	194,3	194,3	194,3	194,3	194,3
0,30	93,5	163,4	163,6	163,6	163,6
0,60	44,6	92,3	93,3	93,5	93,6
0,90	25,0	62,9	65,2	65,7	66,0
1,20	15,6	47,5	51,1	52,0	52,6
1,50	10,6	37,9	42,4	43,7	44,7
1,80	7,6	31,1	36,2	37,8	39,1
2,10	5,7	26,0	31,3	33,1	34,8
2,40	4,4	21,9	27,2	29,1	31,1
2,70	3,5	18,7	23,8	25,8	28,0
3,00	2,9	16,1	20,9	22,9	25,3
3,30	2,4	14,0	18,4	20,4	22,9
3,60	2,0	12,2	16,3	18,2	20,8
3,90	1,7	10,8	14,5	16,3	18,9
4,20	1,5	9,5	13,0	14,7	17,2

4. Naprężenia w podtorzu podczas próbnych obciążeń

Analizę stanu naprężeń w podtorzu w trakcie badań jego odkształcalności przeprowadzono dla aktualnie wykorzystywanej płyty okrągłej o średnicy 0,3 m. Założono obciążenie płyt odpowiadające największemu naciskowi $p_{max} = 0,35$ MPa. Do analizy przyjęto prosty przypadek podtorza wzmocnionego pojedynczą warstwą ochronną z mieszanki kruszywa łamanego 0-31,5 mm o grubości 0,3 m, zbudowaną na podtorzu dotychczasowym z piasku drobnego w stanie zagęszczonym. Parametry geotechniczne gruntów podtorza (fizyczne i mechaniczne) przyjęto z piśmiennictwa [15].

Na rysunku 8. zaprezentowano porównanie wyznaczonych stanów naprężeń pionowych w podłożu pojedynczej części podkładu (1), z uwzględnieniem wpływu układu 16 powierzchni obciążających (16) oraz 30 powierzchni obciążających (30). Dodatkowo na rysunku zobrazowano stan naprężeń pionowych w podtorzu w osi próbnej płyty sztywnej o średnicy 0,3 m przy nacisku 350 kPa. Płyta pomiaro-

wa została umieszczona na torowisku. Ponadto na rysunku przedstawiono wykres 30 % wartości naprężeń pierwotnych w podtorzu zbudowanym z piasku średnio-średniozagęszczonego z warstwą ochronną z niesortu kamiennego o grubości 0,3 m oraz warstwą podsypki o grubości 0,3 m.



Rys. 8. Naprężenia pionowe w podtorzu od obciążenia pojedynczą częścią podkładu (1), 16 powierzchniami (16), układem 15 podkładów (30), okrągłą płytą sztywną o średnicy 0,3 m ($p_{max} = 350$ kPa) oraz linie określające 30 % wartości naprężeń pierwotnych - z uwzględnieniem warstwy podsypki (0,3szg) oraz od torowiska (0,3szg1)

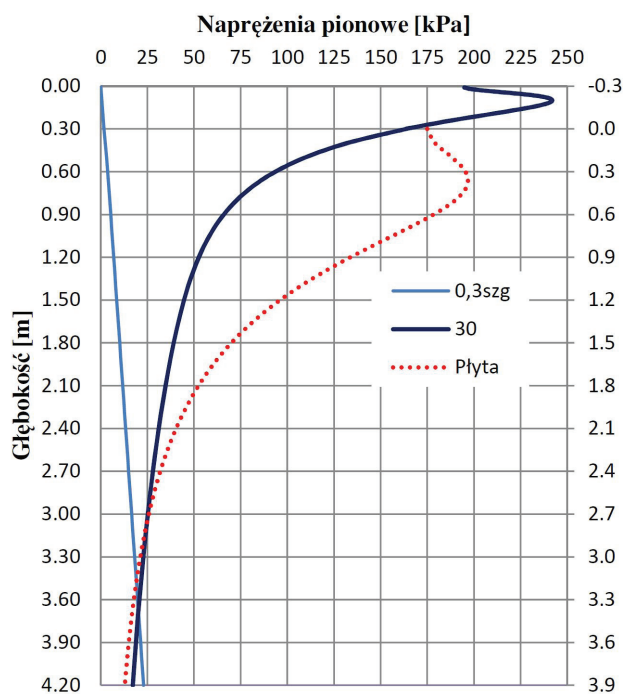
Uwzględnienie większej liczby powierzchni obciążających pociąga za sobą zwiększenie się wartości głębokości aktywnej. W prezentowanych wynikach obliczeń (tab. 3, rys. 8) głębokość aktywna dla schematu obliczeniowego „30” wynosi 3,68 m i jest o około 2,3 razy większa od głębokości wyznaczonej dla schematu „1”. Aktualnie stosowana w pomiarach odkształcalności podtorza okrągła płyta sztywna o średnicy 0,3 m, przy nacisku 350 kPa, osiąga zasięg wpływu równy 1,31 m. Po uwzględnieniu warstwy podsypki (0,3 m) wspomniana wartość odpowiada zasięgowi pojedynczej powierzchni obciążającej o wymiarach $2a \cdot b_1$ (1,62 m).

Tabela 3. Wartości osiadań dla poszczególnych schematów obciążenia

	Schemat obciążenia			
	1	16	30	Płyta
Zasięg wpływu [m]	1,62	3,47	3,68	1,31

W celu uwzględnienia rzeczywistego stanu naprężeń w podtorzu i wpływu głębszych warstw na odkształcalność podtorza mierzoną na poziomie torowiska, podjęto próbę dobrania odpowiednich wymiarów i kształtu płyty próbnej. Rozważono również możliwość obciążenia podtorza zespołem płyt próbnych.

W celu wywołania naprężeń o stosunkowo dużej wartości na znacznych głębokościach (w okolicach głębokości zasięgu wpływu) średnica pojedynczej płyty okrągłej powinna wynosić około 1,25 m (rys. 9). W celu uzyskania nacisku płyty na podtorze o wartości 350 kPa należałoby obciążyć płytę siłą o wartości około 430 kN.



Rys. 9. Naprężenia pionowe w podtorzu od obciążenia układem 15 podkładów (30) i okrągłą płytą sztywną o średnicy 1,25 m ($p_{max} = 350$ kPa) oraz linia określająca 30 % wartości naprężeń pierwotnych z uwzględnieniem warstwy podsypki (0,3szg)

Dobór średnicy płyty w celu uzyskania podobnych wartości naprężeń na większych głębokościach, jak przy obciążeniu zestawem podkładów, powoduje znaczne różnice pomiędzy naprężeniami w przypowierzchniowym obszarze. W związku z powyższym zastosowanie pojedynczej płyty nie jest dobrym rozwiązaniem. W celu redukcji naprężeń w przypowierzchniowej strefie można zastosować zestaw płyt. Ze względu na prostokątny kształt powierzchni przekazujących obciążenia z nawierzchni na podtorze w dalszych rozważaniach przyjęto obciążenia podtorza zestawem płyt o takim kształcie. Rozpatrywano wiele schematów obliczeniowych różniących się rozmiarami, liczbą i obciążeniem płyt. Ostatecznie przyjęto dwa

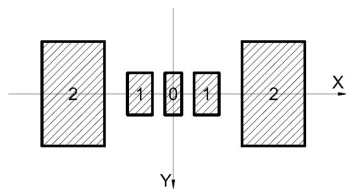
modele. Pierwszy z nich składa się z minimalnej liczby płyt obciążających. Drugi model skonstruowano z płyt o jednakowych wymiarach. W obu modelach przyjęto zwiększające się obciążenie płyty wraz ze zwiększającą się odległością od rozpatrywanego przekroju. Naprężenia pod rozpatrywaną płytą oraz wpływ płyt sąsiednich obliczono z zależności (2) i (8). Wymiary, rozmieszczenie oraz obciążenie płyt w modelach obciążenia zaprezentowano w tabelach 4 i 5 oraz na rysunku 8 i 9.

Tablica 4. Model obciążenia podtorza nr 1

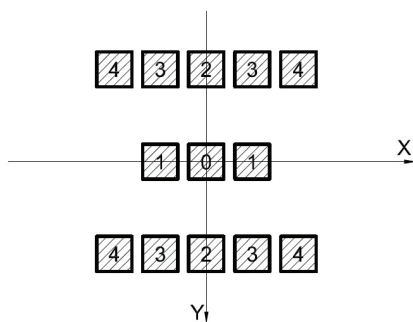
Nr	B [m]	L [m]	q [kPa]	P [kN]	x [m]	y [m]	szt.
0	0,2	0,5	165	16,5	0,0	0,0	1
1	0,3	0,5	150	22,5	± 0,4	0,0	2
2	0,75	1,2	250	225,0	± 1,2	0,0	2
Suma				511,5			5

Tablica 5. Model obciążenia podtorza nr 2

Nr	B [m]	L [m]	q [kPa]	P [kN]	x [m]	y [m]	szt.	
0	0	0	165	20,2	0,00	0,00	1	
1			247,5	0,0	± 0,46	0,00	2	
2			0,0	0,0	0,00	± 0,92	± 0,92	2
3			0,0	0,0	± 0,46	± 0,92	4	
4			0,0	0,0	± 0,92	± 0,92	4	
Suma				464,6			13	



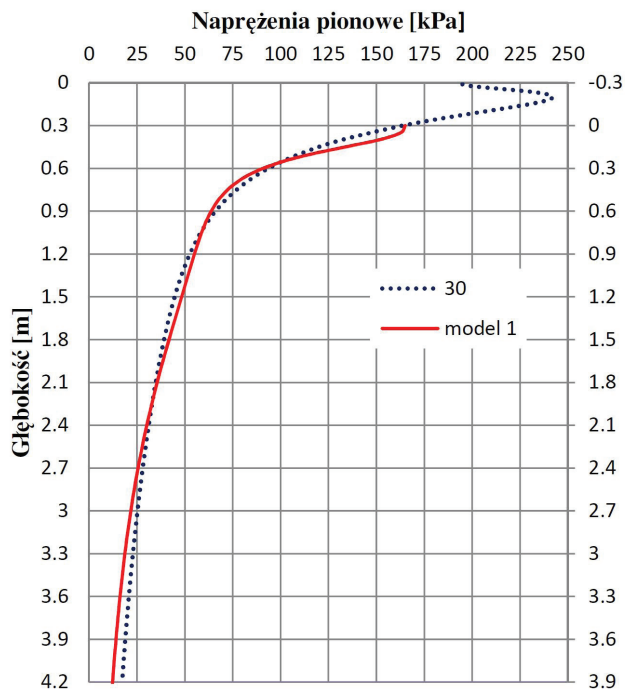
Rys. 10. Model obciążenia podtorza nr 1



Rys. 11. Model obciążenia podtorza nr 2

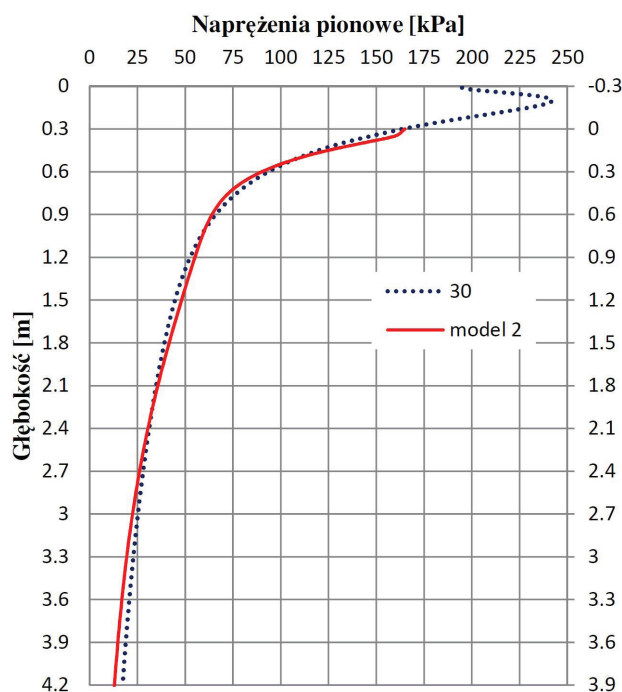
Wartości naprężeń pionowych w podtorzu powstałe od obciążenia zestawem płyt pomiarowych według schematów zaprezentowanych na rysunkach 10 i 11 są

do siebie podobne oraz nie odbiegają od wartości naprężeń pionowych w podtorzu generowanych przez obciążoną nawierzchnię. Stan naprężeń w podtorzu wywołany obciążeniem według przyjętych schematów przedstawiono na rysunkach 12 i 13. Do głębokości 2,7 m (mierzonej od poziomu torowiska) wartości naprężeń od układu 15 podkładów oraz 5 i 13 powierzchni obciążających nie różnią się między sobą o więcej niż 10%. Na większych głębokościach różnice nie przekraczają 25% wartości naprężeń.



Rys. 12. Naprężenia pionowe w podtorzu od obciążenia układem 15 podkładów (30) i układem 5 powierzchni obciążających (model nr 1)

Dla wywołania w próbnym obciążeniu podtorza podobnego stanu naprężeń jak w przypadku obciążenia podtorza przez nawierzchnię (pkt. 3) konieczne jest użycie zestawu płyt obciążających. W zależności od przyjętego modelu obciążenia (rys. 10 i 11) niezbędne jest przekazanie sumarycznego obciążenia o wartości około 510 i 465 kN na 5 lub 13 płyt. W celach aplikacyjnych obrane schematy obciążenia, mimo iż generują stan naprężeń pionowych podobny do rzeczywistego stanu naprężeń eksploatacyjnych, ze względu na kształt, liczbę oraz potrzebną przeciwwagę o masie 52 lub 47 t są nieprzydatne.



Rys. 13. Napężenia pionowe w podtorzu od obciążenia układem 15 podkładów (30) i układem 13 powierzchni obciążających (model nr 2)

5. Wnioski

- 1) Obecnie moduły odkształcenia podtorza określa się podczas próbnych obciążeń płytą okrągłą.
- 2) Kształt i układ płyt obciążających służących do pomiarów odkształcalności podtorzy kolejowych należy tak dobrać, by wywołać stan napężenia w podtorzu analogiczny z występującym w rzeczywistości.
- 3) Zastosowanie układu płyt i sumarycznego ich obciążenia o wartości około 500 kN umożliwia wygenerowanie w podtorzu stanu naprężeń podobnego do stanu rzeczywistego.
- 4) Rozbudowane układy płyt do przeprowadzania badań w terenie są nieodpowiednie.
- 5) Ze względów poznawczych i aplikacyjnych badania w celu określenia kształtu i układu płyt do pomiarów odkształcalności podtorzy kolejowych powinny być kontynuowane.

Bibliografia

- [1] Decyzja Komisji 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 2011.
- [2] Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009.
- [3] PN-81/B-03020 Grunty budowlane - Posadowienie bezpośrednie budowli - Obliczenia statyczne i projektowanie. PKN, Warszawa 1981.
- [4] PN-EN 1991-2:2003 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 2: Obciążenia ruchome mostów. PKN, Warszawa 2007.
- [5] PN-S-02205 Drogi samochodowe – Roboty ziemne – Wymagania i badania. PKN, Warszawa 1998.
- [6] Purushothama Raj P, Soil Mechanics & Foundation Engineering. Pearson Education, Delhi 2007.
- [7] Siewczyński Ł., Zagadnienia współpracy nawierzchni kolejowej z podtorzem gruntowym. Rozprawy Nr 66, Politechnika Poznańska, 1974.
- [8] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Naprężenia w podtorzu od układu powierzchni obciążających. Technika Transportu Szynowego 4/2013 s. 55 – 59.
- [9] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Płyty prostokątne do próbnych obciążeń podtorza. V Konferencja Naukowo – Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym” INFRASZYN 2012. Zakopane 25-27 kwietnia 2012 r., str. 255-264.
- [10] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Oddziaływanie płyt próbnych na podtorze. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. Rok 2011, nr 96, z. 158 „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym”, s. 411-424.
- [11] Siewczyński Ł., Płyty do próbnych obciążeń podtorza. IV Konferencja Naukowo – Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym” INFRASZYN 2011. Zakopane 06-08 kwietnia 2011 r., str. 191-200.
- [12] Siewczyński Ł., Pawłowski M., Stan naprężeń w podtorzu obciążonym układem płyt próbnych. Przegląd Komunikacyjny 8/2013, s. 10 - 13.
- [13] Som N.N., Das S.C., Theory and practice of foundation design. Prentice Hall of India, New Delhi 2006.
- [14] Sysak J. (red.), Drogi kolejowe. PWN, Warszawa 1986.
- [15] Wiłun Z., Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa 1987.