

Geodezyjny monitoring deformacji pionowych konstrukcji mostowych na liniach kolejowych

Oksana Serant¹ Nataliya Kablak² Janosz Walo²

¹ Wydział Geodezji Wyższej i Astronomii, Uniwersytet Narodowy Politechnika Lwowska, oksana.v.serant@lpnu.ua

² Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska, nataliya.kablak@pw.edu.pl

WPROWADZENIE

Ze względu na cechy konstrukcyjne, działalność człowieka i warunki naturalne, budynki i budowle ulegają różnego rodzaju odkształceniom, zarówno jako całość jak i ich poszczególne elementy. Celem geodezyjnego monitoringu deformacji budynków i budowli jest uzyskanie danych pomiarowych, które można wykorzystać do określenia wartości charakteryzujących bezwzględne wartości osiadań i przemieszczeń oraz do ustalenia ich zmian w czasie. Geodezyjny monitoring deformacji obejmuje regularne monitorowanie budynków i innych ważnych konstrukcji przy użyciu metod geodezyjnych i jest wykonywany w celu szybkiego wykrywania odkształceń i przemieszczeń, a w konsekwencji zapobiegania rozwojowi sytuacji kryzysowych. Obserwacje geodezyjne budynków i konstrukcji, zgodnie z dokumentami projektowymi, prowadzone są od początku ich budowy i w pierwszych latach eksploatacji, aż do ustabilizowania się konstrukcji i zaniku deformacji.

OBIEKT BADAWCZY

Przedmiotem badań była eksperymentalna konstrukcja mostowa wykonana z wykorzystaniem stalowej rury z blachy falistej na odcinku Vadul Siret kolei lwowskiej (Ukraina). Celem pracy było zbadanie pionowych odkształceń konstrukcji mostu, określenie deformacji metalowej rury z blachy karbowanej oraz wyciągnięcie wniosków na temat niezawodności tego rodzaju konstrukcji.



Rys. 1. Konstrukcja mostu z przepustem w postaci stalowej rury z blachy falistej na odcinku Vadul Siret - granica państwowa

Kamienny most łukowy został pierwotnie zbudowany w 1869 roku, a jego całkowita długość wynosiła 10 metrów. Latem 2010 roku, z powodu nagłego wzrostu poziomu wody, most został częściowo zniszczony. Przywrócenie mostu w jego wyjściowej formie było niepraktyczne i kosztowne, więc na jego miejscu zbudowano nowy przepust z wykorzystaniem stalowej rury z gabionowymi obrzeżami i przyczółkami oraz wzmocnionym dnem strumienia matami gabionowymi. Korpus rury o długości 12,69 m i średnicy 6,47 m wykonany został z elementów blachy falistej połączonych ze sobą śrubami. Budowa przepustu została ukończona w styczniu 2011 roku.

Do badania deformacji konstrukcji założona została osnowa wysokościowa w bezpośrednim sąsiedztwie obserwowanego obiektu mostowego, w ten sposób, aby stanowiła stabilne odniesienie dla monitorowania konstrukcji w długim okresie czasu. Punkty osnowy wysokościowej zasabilizowane zostały tak, aby zapewniały:

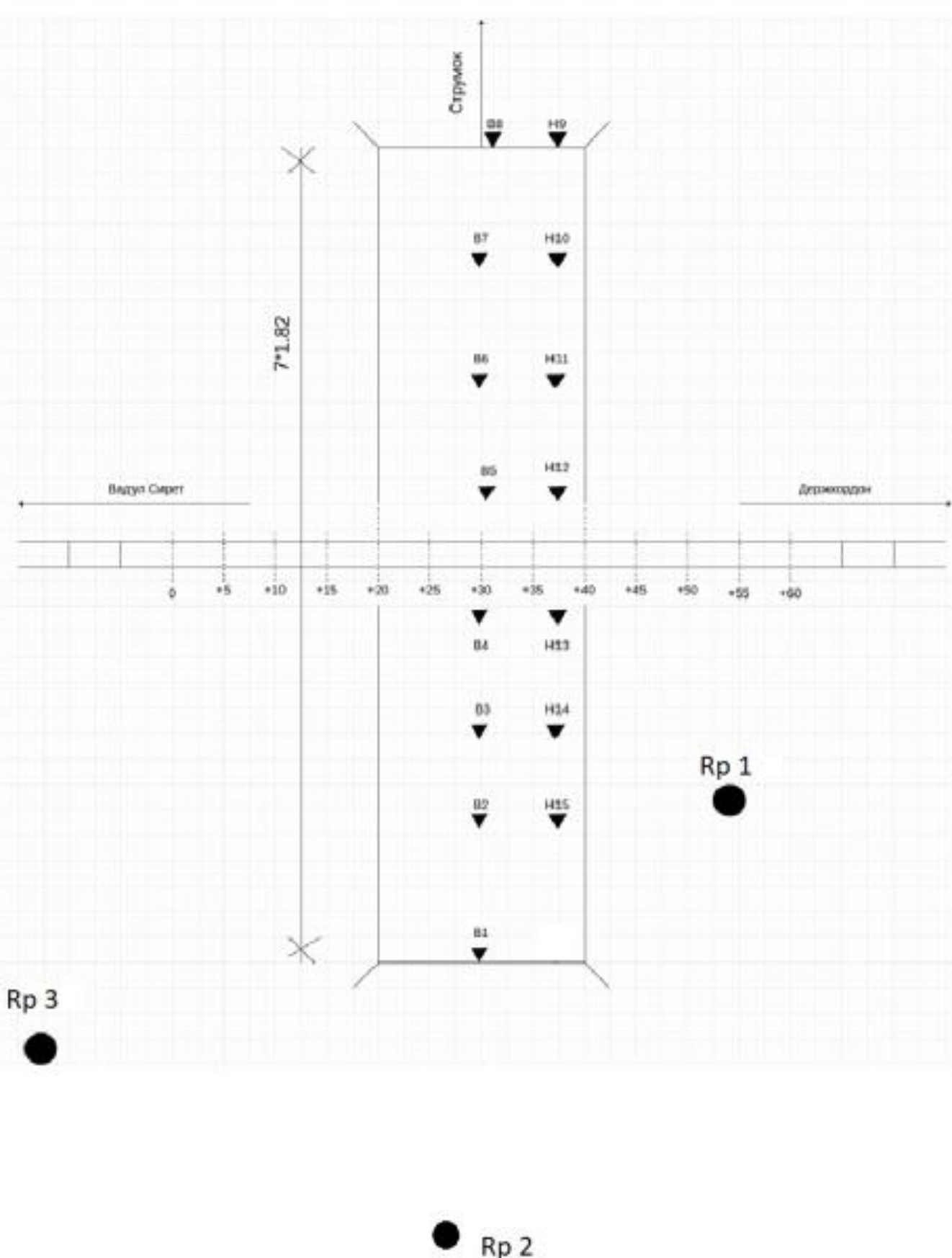
- stałość ich położenia przez cały okres eksploatacji obiektu,
- łatwą dostępność do punktów oraz możliwie małą liczbę stanowisk na odcinkach niwelacyjnej do punktów kontrolnych.

ROZMIESZCZENIE REPERÓW I POMIAR

ROZMIESZCZENIE REPERÓW

W celu monitorowania położenia konstrukcji prowadzone zostały pomiary niwelacyjne pomiędzy reperami odniesienia oraz do punktów kontrolnych na obiekcie. W opracowaniu mikrosieci odniesienia przyjęto arbitralnie wysokość punktu Rp1 równą 10,000m. Pozostałe punkty odniesienia Rp2 i Rp3 zlokalizowano na słupach żelbetowych i wyznaczono ich wysokości Rp2 = 9,485 m i Rp3 = 10,060 m.

Na konstrukcji rurowej rozmieszczone zostały punkty kontrolne (marki) do monitorowania sklepienia konstrukcji (znaki B) i jej podstawy (znaki H) (rys. 2). Punkty kontrolne to środki wybranych metalowych śrub do mocowania arkuszy rur, rozmieszczone co 1,82 m i oznaczone farbą.



Rys. 2. Schemat lokalizacji reperów odniesienia i punktów kontrolnych na monitorowanym obiekcie

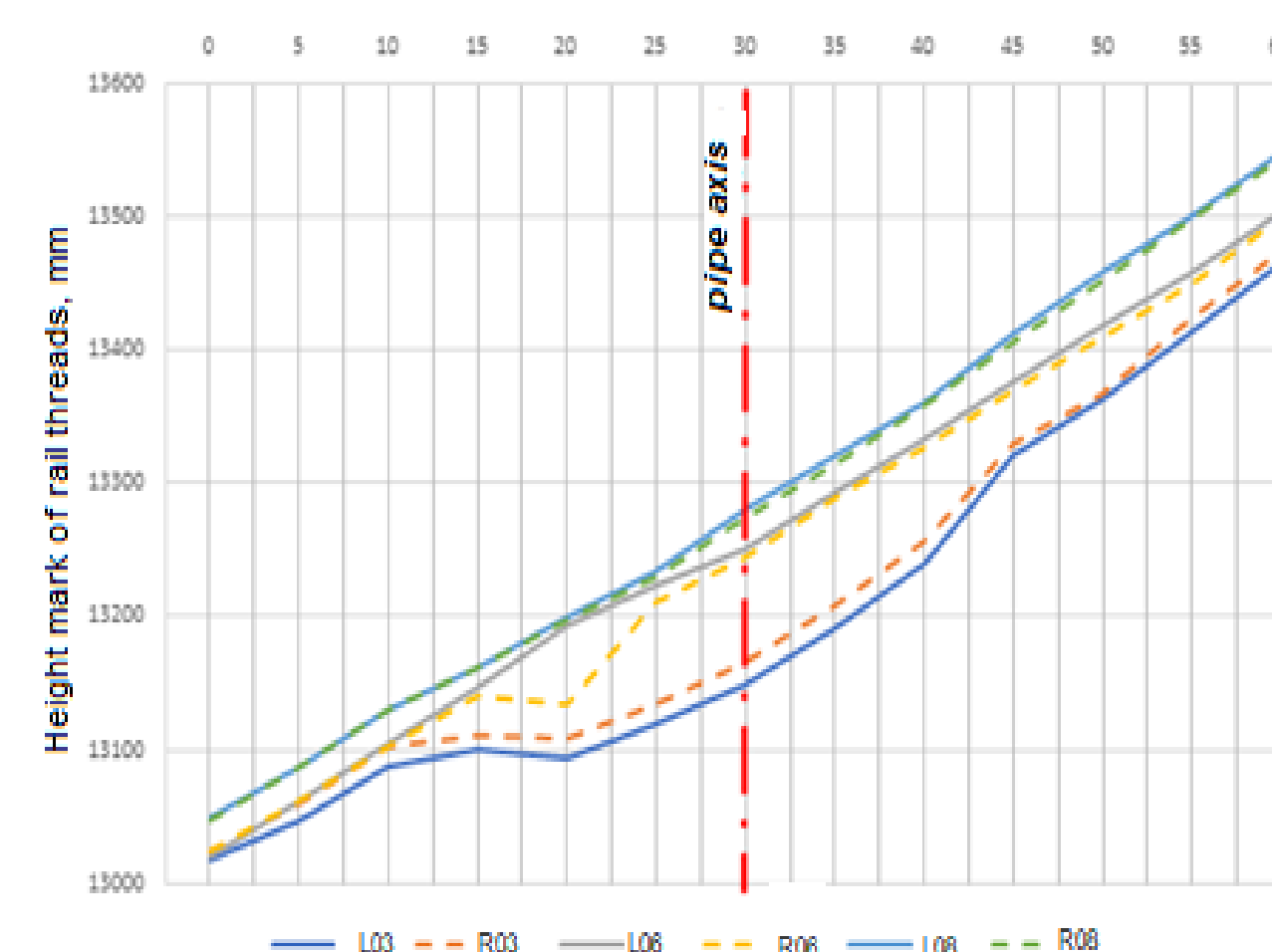
METODA POMIARU

W celu wykrycia osiadania rury i znajdującego się nad nią torowiska, na reperach sieci odniesienia i punktach kontrolnych wykonano pomiary metodą precyzyjnej niwelacji geometrycznej III klasy przy zachowaniu następujących warunków:

- wykorzystano niwelator precyzyjny,
- ograniczono długość celowych do 25 m,
- niwelację wykonywano ze środka w celu eliminacji błędów quasi-horyzontu, wpływu refrakcji i zakrzywienia Ziemi,
- stosowano jedno stanowisko niwelatora,
- podczas montażu szyny zadbano, żeby oś szyny pokrywała się z punktem montażu, zmniejszając w ten sposób błąd wynikający z nachylenia szyny.

REZULTATY

Na podstawie wyników niwelacji w marcu, czerwcu i sierpniu 2011 r. wykonano profil toru dla linii kolejowej (rysunek 3). Jak widać na rysunku, tor uległ znacznemu osiadowi - do -130 mm w sierpniu w porównaniu z marcem, zwłaszcza powyżej osi rury. Występują również znaczne rozbieżności między lewą i prawą nitką toru, średnio 10-15 mm, a w niektórych punktach rozbieżności sięgają 60 i 90 mm (rys. 3, tab. 1)



Tab. 1. Wyniki wyznaczenia położenia toru nad rurą i podejściami na podstawie obserwacji z marca, czerwca i sierpnia 2011 r., [w mm]

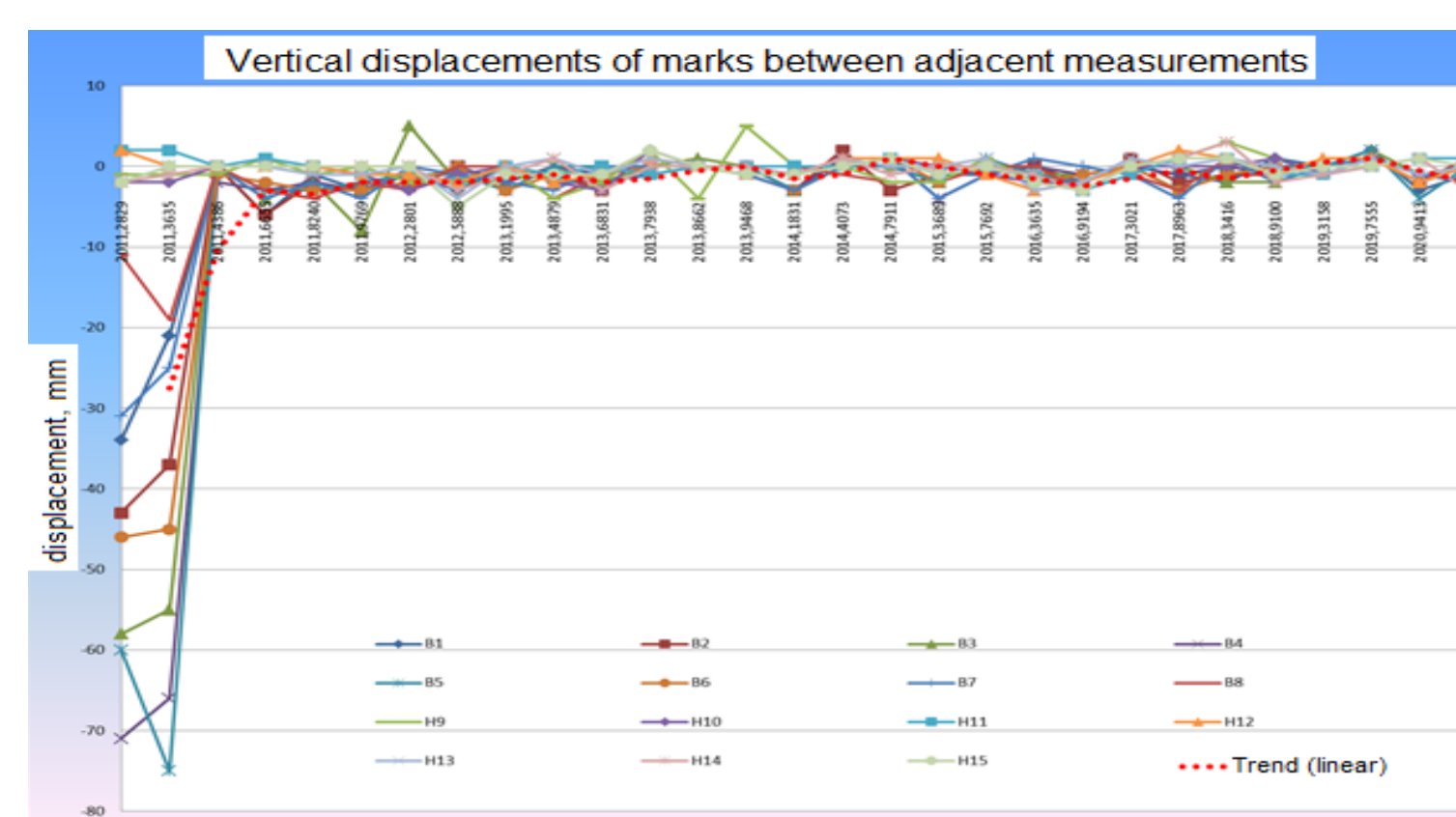
Odl. [m]	23.03.2011			8.06.2011			30.08.2011			Sierpień - Marzec	
	L03	R03	L-R	L06	R06	L-R	L08	R08	L	R	
0	13018	13023	-5	13020	13023	-3	13049	13048	1	31	25
5	13047	13061	-14	13062	13062	0	13087	13088	-1	40	27
10	13088	13102	-14	13105	13103	2	13130	13130	0	42	28
15	13101	13110	-9	13147	13141	6	13162	13161	1	61	51
20	13093	13108	-15	13194	13134	60	13199	13198	1	106	90
25	13120	13135	-15	13224	13210	14	13233	13229	4	113	94
30	13150	13165	-15	13250	13244	6	13280	13275	5	130	110
35	13192	13208	-16	13294	13290	4	13321	13314	7	129	106
40	13241	13258	-17	13334	13328	6	13362	13359	3	121	101
45	13320	13329	-9	13376	13369	7	13411	13405	6	91	76
50	13364	13368	-4	13418	13410	8	13458	13453	5	-94	-85
55	13415	13424	-9	13459	13451	8	13502	13499	3	-87	-29
60	13564	13473	91	13504	13498	6	13547	13543	4	17	-70

Rys. 3. Profil toru na odcinku 60 m (30 m przed i 30 m za mostem), na podstawie obserwacji z marca (03), czerwca (06) i sierpnia (08) 2011 r. L - lewa główka szyny, R - prawa główka szyny, miesiąc obserwacji w nawiasach

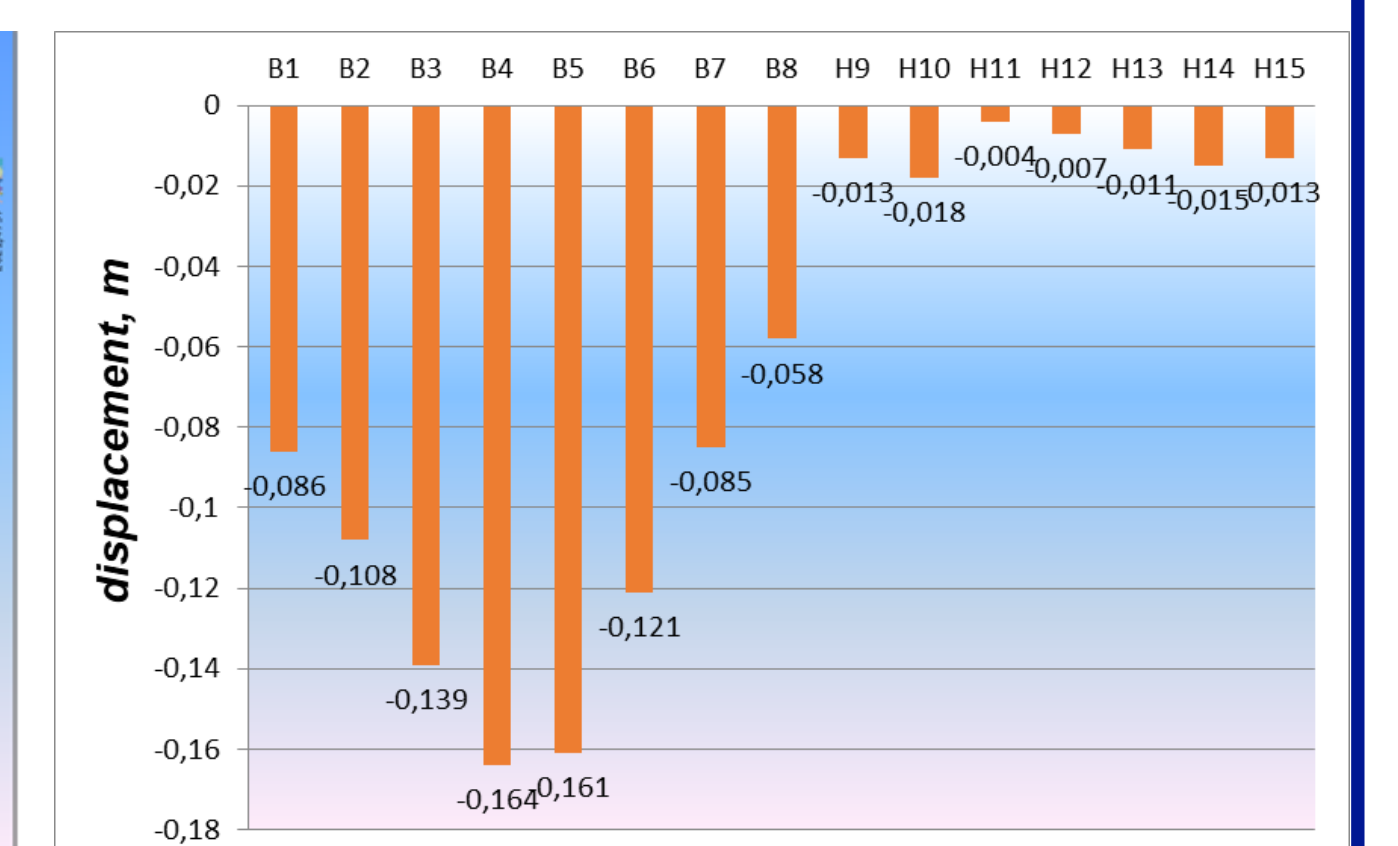
W 2011 r. przeprowadzono 4 cykle obserwacji (od marca do sierpnia) na punktach odniesienia potwierdzając stabilność nawiązania. W pierwszych dwóch miesiącach eksploatacji obiektu deformacja konstrukcji była istotna, co widać na profilu prezentowanym na rys. 3. Łatwo zauważyć, że górna część konstrukcji uległa znacznemu osiadowi, z największymi przemieszczeniami w punktach B4 i B5 odpowiednio o 141 i 138 mm. Dolna część konstrukcji doświadczyła niewielkiego osiadania, do 5 mm (punkt H11).

Kolejne dwa cykle obserwacji wykazały, że proces osiadania ustabilizował się i wyniósł co najwyżej 2 mm. Dalsze obserwacje kontynuowano co 2 miesiące wyznaczając pionowe przemieszczenia pomiędzy kolejnymi epokami pomiarowymi. Jak wynika z wykresu na rys. 4, ciągu pierwszych 4 miesięcy po oddaniu obiektu mostowego do użytkowania, wystąpiły znaczne osiadania o maksymalnej wartości -76 mm (marka B 15), po czym proces ten ustabilizował się i zmiany w kolejnych latach wahały się w granicach ± 6 mm.

Można też zauważyć, że największym wahaniom w trakcie prowadzonych badań ulegała marka B3, której przemieszczenia stale zmieniało znak (obniżanie-wzrost). Podobne charakter zmian można też zaobserwować w przypadku marki B2, ale przy nominalnie mniejszych wartościach.



Rys. 4. Przemieszczenia pionowe punktów kontrolnych w kolejnych epokach pomiarowych



Rys. 5. Przemieszczenia pionowe punktów kontrolnych w całym okresie pomiarowym (2011-2021)

Jak widać na rys. 5, w ciągu 10 lat obserwacji wszystkie badane punkty kontrolne doświadczyły osiadania. Osiadanie wahało się od -0,004 m (punkt denny H11) do -0,164 m (punkt górny B4). Wszystkie marki zainstalowane na szczycie konstrukcji rurowej (B1-B8) doświadczyły dużych przemieszczeń - od -0,058 do -0,164 m.; punkty kontrolne zainstalowane na dnie konstrukcji rurowej (H9-H15) uległy niewielkiemu osiadowi od -0,004 m do -0,18 m. Należy zaznaczyć, że najbardziej osiadły marki znajdujące się bezpośrednio pod osią toru, np. B4 obniżył się o -0,164 m, a B5 o -0,161 m.

Średnie osiadanie górnej części konstrukcji mostu, wynoszące -115,25 mm, jest dość znaczące, ale nie krytyczne. Maksymalna nierównomierność osiadań, określona różnicą osiadań dowolnych dwóch punktów 1 i 2, dla całego okresu obserwacji (10 lat) dla stopni zlokalizowanych na pomoście mostowym wynosi 106 mm, a dla niższych stopni 14 mm.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W przedstawionej pracy badano odkształcenia pionowe konstrukcji mostowej na odcinku Wadul-Syret - granica państwowa kolei lwowskiej. W ramach prac wyznaczono i przeanalizowano przemieszczenia pionowe oraz deformacje punktów kontrolnych. Konstrukcja mostu wykonana ze stalowej rury z blachy falistej przez okres 10 lat ulegała znacznym deformacjom w sklepieniu konstrukcji. W środkowej części konstrukcji mostowej powstało ugięcie o maksymalnej wartości -164 mm. Jednak z uwagi na fakt, że po znacznym odkształceniu (obniżeniu położenia) w pierwszym roku eksploatacji, w kolejnych latach osiadanie następowało w granicach nie przekraczających 6 mm, konstrukcję uznano za bezpieczną w dalszej eksploatacji.

Do wyznaczenia osiadań wykorzystano precyzyjną niwelację geometryczną, która dzięki zastosowaniu odpowiedniej techniki pomiaru pozwoliła na wyznaczenie przewyższenia na stanowisku z błędem średniokwadratowym $\pm 0,3$ mm. Dokładność w tego typu pracach jest zadowalająca, gdyż wartości odkształceń wynoszą więcej niż 1 mm, a zatem są co najmniej 3-krotnie większe od dokładności ich wyznaczenia. Przeprowadzone eksperymenty pomiarowe potwierdzają skuteczność przyjętej metodologii badań w zapewnieniu niezawodności bezpiecznej eksploatacji tego typu konstrukcji. Na tym obiekcie i obiektach o podobnej konstrukcji zaleca się prowadzenie systematycznych obserwacji zaproponowaną metodą raz w roku, taka