

# NOWOCZESNE PODEJŚCIE DO PLANOWANIA I WYKONANIA BUDOWALNYCH ROBÓT KOLEJOWYCH

---

Piotr Szadkowski

dr inż., SBM sp. z o.o. sp.k., ul. Klecińska 123, 54-413 Wrocław, e-mail: szadkowski@sbm-rail.com

---

**Streszczenie.** *W artykule przedstawiono sposób realizacji robót torowo-podtorzowych wraz z robotami towarzyszącymi zrealizowanych w 2018 roku w ramach kontraktu „Wymiana nawierzchni wraz z robotami towarzyszącymi na odcinku Drzeńsko – Kostrzyn” w ramach zadania „Modernizacja linii kolejowej nr 273 na odcinku Głogów – Zielona Góra – Rzepin – Dolna Odra wraz z łącznicami nr 821 i 822”, ze szczególnym uwzględnieniem nowoczesnego zarządzania kontraktem i użyciem nowoczesnych technologii i rozwiązań dotyczących wymiany torów, naprawy podtorza czy przebudowy sieci trakcyjnej i systemu sterowania ruchem kolejowym.*

**Słowa kluczowe:** *fazowanie, kombajn podtorzowy, niesort, popiół lotny*

## 1. Wprowadzenie

Wykonywanie robót kolejowych w obecnych warunkach rynkowych biorąc pod uwagę z jednej strony rosnące nakłady na remonty i modernizacje polskich linii kolejowych, a z drugiej strony skracanie czasu przeznaczanego na ich wykonanie wymaga od Wykonawców kreatywnego podejścia zarówno do planowania robót jak i do zastosowania nowoczesnych technologii ich wykonania, a także współpracy z ośrodkami naukowymi w celu wypracowania nowych rozwiązań technicznych, pozwalających wykonać prace szybciej i lepiej. Problem ten zostanie przedstawiony w niniejszym artykule na przykładzie konkretnego kontraktu na wykonanie remontu infrastruktury kolejowej zrealizowanego w roku 2018.

Mowa tutaj o zadaniu pod nazwą „Wymiana nawierzchni wraz z robotami towarzyszącymi na odcinku Drzeńsko – Kostrzyn” w ramach zadania „Modernizacja linii kolejowej nr 273 na odcinku Głogów – Zielona Góra – Rzepin – Dolna Odra wraz z łącznicami nr 821 i 822”. Zakres zadania obejmował między innymi:

- wymianę 39 kmt nawierzchni torowej na nawierzchnię typu 60E1 na podkładach strunobetonowych z przytwierdzeniem sprężystym na podsypce tłuczniowej gr. warstwy 35 cm wraz z wykonaniem nowej warstwy ochronnej o grubości min. 25 cm na całej długości robót torowych,

- wymianę 32 rozjazdów na rozjazdy typu Rz300 1:9 na podrozjazdnicach strunobetonowych wraz ze wstawkami między rozjazdowymi oraz wbudowaniem warstwy ochronnej podtorza i odwodnieniem,
- likwidację torów bocznych na odcinku ogółem 1300 m,
- remont nawierzchni 14 przejazdów kolejowych w tym dwóch z wykorzystaniem technologii bezpodsypkowej,
- wykonanie odwodnienia wzdłuż całego zakresu robót, tj. na długości ponad 39 km torów, gdzie zastosowano odwodnienie w postaci rowów otwartych, drenaży kamiennych i drenokolektorów.
- wykonanie nowych 10 peronów jednokrawędziowych z małą architekturą i odwodnieniem,
- budowa 5 nowych przejść dla pieszych w poziomie szyn,
- na całym zakresie zadania obejmującym 4 stacje i 2 posterunki odgałęźne zastosowano nowym system sterowania ruchem kolejowych, obejmujący cyfrowe pólsmoczynne blokady liniowe, komputerowo-przekaznikowy system sterowania urządzeniami stacyjnymi i szlakowymi, elektryczne napędy zwrotnicowe wszystkich wymienianych i budowanych rozjazdów, urządzenia rogatkowe i samoczynnej sygnalizacji przejazdowej oraz licznikowy system urządzeń niezajętości torów i rozjazdów,
- wybudowanie urządzeń telewizji przemysłowej na 6 przejazdach kolejowych,
- montaż łączności przewodowej i bezprzewodowej,
- przebudowa sieci trakcyjnej na całym odcinku robót torowych, obejmująca wymianę 177 konstrukcji wsporczych indywidualnych wraz fundamentami, 7 konstrukcji bramkowych, 99 odciągów w raz z fundamentami, wymianę wieszaków, ramion odciągowych, montaż sieci powrotnej,
- roboty elektroenergetyczne dla nowych i remontowanych nastawni, peronów i rozjazdów,
- remont i przebudowa w różnym zakresie 27 obiektów inżynierskich,
- remont 5 budynków nastawni.

Pierwszy przetarg na opisany powyżej zakres robót został ogłoszony w dniu 13.04.2017 r. z terminem realizacji robót do dnia 29.12.2018 r. Kryteria oceny ofert były następujące: cena brutto 60%, termin realizacji zamówienia 15%, dostępność linii kolejowej czyli czas zamknięć torowych 15%, okres gwarancji/rękojmi 10%. Niestety wszystkie złożone oferty przekroczyły znacznie budżet jaki Zamawiający przewidział na wykonanie kontraktu, w związku z czym postępowanie przetargowe zostało w dniu 24.08.2017 r. unieważnione. W przypadku pierwszego postępowania, jeżeli zostałoby ono zakończone sukcesem, to można założyć, że na wykonanie prac bez ich skracania wyłoniony Wykonawca miałby około 17 miesięcy (przyjmując termin podpisania umowy do dnia 01.08.2017 r. za jak najbardziej realny).

Po unieważnieniu pierwszego postępowania Zamawiający dość sprawnie ogłosił w dniu 8.09.2017 r. drugie postępowanie, wyznaczając termin złożenia ofert na 17.10.2017 r. W tym przypadku kryteria oceny ofert były następujące: cena

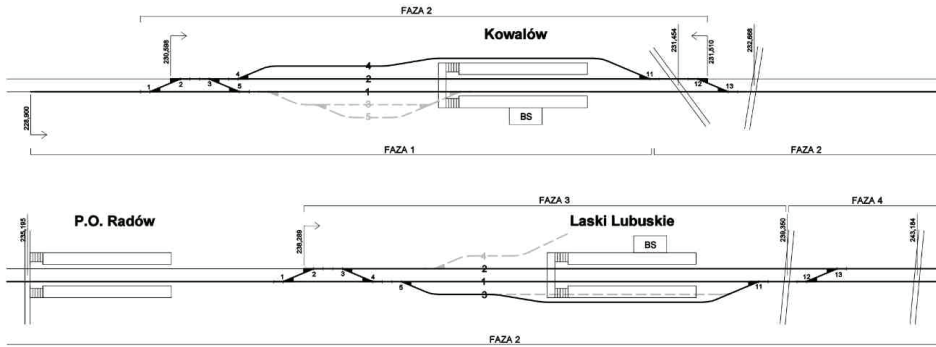
brutto 60%, termin realizacji 40% (brak limitów skrócenia etapów 2 i 3). Wobec złożonych ofert, z których najlepsza ponownie była wyższa od budżetu Zamawiającego (pomimo jego zwiększenia w stosunku do tego z pierwszego postępowania) w dniu 13.11.2017 r. Zamawiający dokonał wyboru najlepszej oferty. Do podpisania umowy na realizację robót kontraktowych doszło w dniu 29.11.2017 r., gdzie założono termin realizacji robót do dnia 15.12.2018 r. Na taki termin wskazało zaproponowane przez Wykonawcę skrócenie terminu wykonania robót. Ostatecznie biorąc pod uwagę zawarte w trakcie kontraktu aneksy do umowy, prace kontraktowe zakończono w terminie umownym i odebrano do dnia 21.12.2018 r. czyli w niespełna 13 miesięcy od daty podpisania umowy i dokładnie w 334 dni całodobowych zamknięć torowych.

Mając na względzie duży wyżej wymieniony zakres prac, należy zauważyć, że czas jaki Zamawiający przewidział na ich wykonanie był bardzo krótki. Prace na linii 273 zgodnie z wytycznymi Zamawiającego miały odbywać się przy czynnym torze sąsiednim, z możliwie najmniejszymi utrudnieniami dla ruchu. Opisywana tutaj inwestycja była ostatnią na linii nr 273, gdzie po jej zakończeniu miał zostać przerzucony ruch tranzytowy z linii nr 351 (E59) Poznań – Szczecin w celu odciążenia tej ostatniej i umożliwienia tam rozpoczęcia robót modernizacyjnych, które zresztą obecnie są już mocno zaawansowane. Właśnie z tego powodu Zamawiający na kontrakcie Drzeńsko – Kostrzyn położył duży nacisk na termin wykonania.

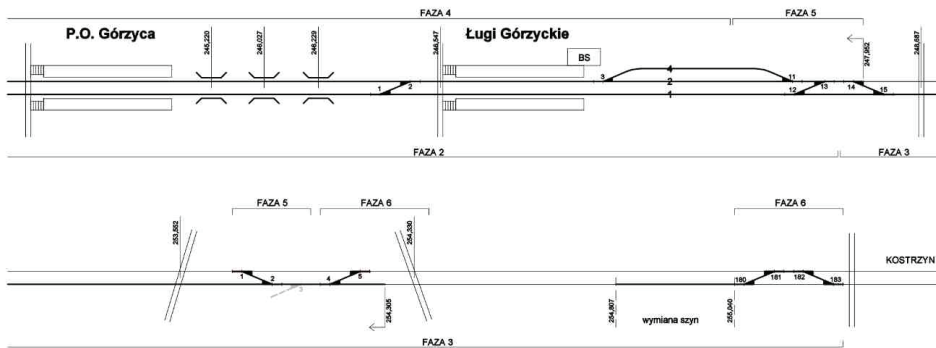
## 2. Założenia technologiczno-wykonawcze

Wykonanie tak znacznego zakresu prac i to w ujęciu wielobranżowym stanowiło duże wyzwanie organizacyjne, techniczne i logistyczne. Zadanie było wykonywane w formie „buduj”. Niestety przeciągające się terminy rozpoczęcia robót spowodowały, że fazowanie robót i zamknięć torowych przygotowane na etapie projektu okazało się nieaktualne i należało wykonać nowe. W pierwszej kolejności sporządzono szkice (schematy) robocze zakresu robót, zawierające najważniejsze informacje o przebudowywanej i remontowanej infrastrukturze. Uproszczonej wersję wspomnianych szkiców zobrazowano na załączonych rys. 1 i rys. 2., gdzie można zauważyć, jak duży obszarowo był zakres zadania. Realizacja robót nawierzchniowych i podtorzowych w torze nr 1 zaczynała się od km 228,900, a kończyła w km 254,305. W torze nr 2 roboty zaplanowano w km 230,598 – 231,510 oraz w km 238,289 – 247,952. Szkice te okazały się nieodzowne podczas przygotowywania nowego fazowania robót oraz sporządzania projektu technologicznego prowadzenia ruchu podczas zamknięć torowych. Ponadto stanowiły one niejednokrotnie dobre i szybkie źródło informacji nt. zakresu prac już wykonanych i pozostających do wykonania.

Nowe fazowanie robót, po jego wstępnym zatwierdzeniu przez Zamawiającego stanowiło podstawę do sporządzenia harmonogramów rzeczowego i finansowego.



Rys. 1. Uproszczona wersja szkicu roboczego zakresu robót



Rys. 2. Uproszczona wersja szkicu roboczego zakresu robót

### 2.1. Fazowanie robót

Pracując w zamknięciach torowych przy prowadzeniu ruchu po torze sąsiednim bardzo istotnym jest prawidłowe zaprojektowanie fazowania robót od początku do końca kontraktu. Istotnym jest, by sposób fazowania robót zapewniał w miarę niezakłócony ruch pociągów rozkładowych, jak i pociągów technologicznych i roboczych Wykonawcy. Ważnym było również, by w miarę możliwości unikać robót straconych, które poza oczywistym aspektem finansowym generują również opóźnienia w robotach zasadniczych. Wprowadzanie następnych faz musi być uzależnione od zakresu robót wykonanych w fazach poprzedzających i powiązane z każdą wykonywaną branżą.

Na omawianym tutaj kontrakcie, fazowanie zostało wprowadzone do wspomnianych powyżej szkiców oraz do harmonogramu robót (omówionego poniżej). Przy tworzeniu projektu fazowania robót w ujęciu zamknięć torowych Wykonawca ściśle współpracował z Dyspozyturą Ruchu Zamawiającego oraz miejscowym Zakładem Linii Kolejowych. Brak możliwości jednoczesnego udzielenia zamknięć torowych na dwóch sąsiednich szlakach nie jest wcale regułą dla każdej linii kolejowej w Polsce. Przy odpowiednim podejściu do kwestii ruchowych, mając wystar-

czający margines czasu na przygotowanie zamknięć można starać się o zamknięcie nawet trzech i czterech następujących po sobie szlaków kolejowych. Czasami wymaga to zmiany kolejności robót, przykładowo najpierw wybudowanie peronów (nawet tymczasowych) dla stworzenia możliwości krzyżowania się pociągów pasażerskich w obrębie stacji przewidzianych do późniejszej przebudowy, czy zabudowa tymczasowych połączeń między torowych. Wszystko po to by uzyskać maksymalny zakres zamknięcia torowego na odpowiedni czas. Oczywiście czasami, ze względu na brak możliwości wykonania całości prac w jednej fazie (część robót wchodzi na następną fazę np. kotwienie sieci trakcyjnej nad torem sąsiednim przy przejściach rozjazdowych) konieczne będzie wprowadzenie czasowego przeciągania składów trakcją spalinową, czy w skrajnych przypadkach w razie braku możliwości prowadzenia ruchu w sposób bezpieczny wprowadzenie zastępczej komunikacji pasażerskiej i wstrzymanie ruchu towarowego.

Na zadaniu jak wyżej podstawowym problemem dla projektu fazowania były zmiany w geometrii położenia nowych rozjazdów w stosunku do istniejących na etapie danej fazy. Sytuacje takie uniemożliwiały zaplanowanie prowadzenia ruchu na połączeniach torów głównych zasadniczych w relacji nowy rozjazd – stary rozjazd. Dopiero po ułożeniu obydwu rozjazdów jako nowe, podłączeniu ich do systemu sterowania oraz umożliwieniu jazdy na sygnały zezwalające, możliwe było wykorzystanie takiego przejścia torowego dla prowadzenia ruchu w następnych fazach. Niestety wykonanie tych robót w świetle braku możliwości zastosowania przerwy w ruchu wymagało minimum dwóch faz wyprzedających.

## 2.2. *Harmonogram robót*

Przy tworzeniu harmonogramu robót, który powinien być przecież czytelny na każdym etapie inwestycji, należy pamiętać o tym, by nie zawierał on zbyt dużej liczby asortymentu robót oraz by oś czasu nie była zbyt długa. Ogólny (generalny) harmonogram robót w zależności od czasu trwania zadania powinien mieć dobraną odpowiednią szczegółowość opisu robót. Innymi słowy, czym zadanie mniejsze i krótsze (np. wymiana rozjazdu w ciągu 4 dni) asortyment robót powinien być bardziej szczegółowy, a oś czasu powinna uwzględniać nawet godziny wykonania poszczególnych czynności. Odwrotnie będzie w przypadku dużych i długo trwających zadań. Poprawnie sporządzony harmonogram robót powinien na każdym etapie inwestycji dawać szybki dostęp do informacji: gdzie jesteśmy z pracami, co wykonaliśmy i co zostało jeszcze do wykonania.

Na naszym przykładowym zadaniu harmonogram robót liczył 6 faz wykonania robót. Fazy były podzielone na poszczególne lokalizacje (szlaki i stacje). W zależności od etapu robót, lokalizacji było od 1 do 4 w każdej fazie. W sumie lokalizacji było 12. Każda z lokalizacji (szlak tor nr 1, szlak tor nr 2, stacja strony parzyste i nieparzyste) posiadała swój osobny asortyment robót. Oczywiście większość pozycji asortymentowych powtarzała się w poszczególnych lokalizacjach. Liczba pozycji asortymentowych wynosiła w zależności od lokalizacji od 6 do 34. W sumie

harmonogram zawierał 227 pozycji asortymentowych. Dla lepszego zobrazowania na rys. 3 uwidocznił wycinek harmonogramu robót obejmujący fazę nr I. Harmonogram na osi czasu zawierał czasookres od 11.12.2017 do 06.12.2018 roku i był podzielony na dni czyli zawierał 360 dni. Harmonogram został sporządzony zgodnie z wytycznymi Zamawiającego. Założono pracę 7 dni w tygodniu przez 24 godziny dziennie.

Ze względu na zastosowanie wysokowydajnych maszyn do wymiany toru i podtorza, czas pracy tych maszyn dla lepszego ich skoordynowania zaznaczono w harmonogramie innymi kolorami niż resztę robót.

Przy tworzeniu harmonogramu należało przewidzieć czas na wykonanie robót we wszystkich branżach. Koniecznym było założenie niezbędnych zapasów na przewieszenie sieci trakcyjnej wraz z jej kotwieniem w torach czynnych, czy też czas na sprawdzenie i uruchomienie nowych urządzeń sterowania ruchem oraz łączności wraz z dokonaniem wymaganych szkoleń personelu Zamawiającego.

Harmonogram musi zostać uzgodniony przez Zamawiającego, a ponadto należy go na bieżąco aktualizować w trakcie trwania robót. Na zadaniu Drzeńsko Kostrzyn powstało prawie 30 wersji harmonogramu robót i harmonogramu rzeczowo-finansowego.

Faza	szlak stacja	od k m	do k m	roboty	j.m	ilość	data wykonania		Stacunkowa wart. robót na podst. Przed. P.I.N netto	grudzień 2017																														
							od	do		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31										
całe zadanie				Prace projektowe i geodezyjne zgodnie z kontraktem			11.12.17	08.11.18	3 446 633,20																															
faza I 08.01.-11.06.2018	Szlak Drzeńsko - Kowalów st. Kowalów tor nr 1	228,900	230,650	Wvl. szyn i przygotowanie do wjazdów.			16.12.17	20.12.17	Razem roboty torowe i odwodnienia: 5 166 458,95																															
				Rozebr. toru i rozjazdów wraz z r. ziem	km	1,750	10.01	26.01																																
				Układ odwodnienia			22.01	31.01																																
				Układ. w wy. ochronn. i półw-wy. tłucz.			30.01	12.02																																
				Ułożenie rusztu torowego			3.03	24.02																																
				Ułożenie rozjazdu nr 1 15	szt	1	18.02	24.02																																
				Balastowanie i podbijanie toru i rozjazd.	szt	2	24.02	5.03																																
				Rozprężanie toru + szprzenie	szt	1	6.03	9.03																																
				Przepust w km 230+638	szt	1	3.04	31.08																																
				Przepust w km 230+153	szt	1	5.04	31.08																																
				Przeb. przeł. Km 231,454 t1/t2	szt	1	7.05/2.07	18.05/13.07																																
				Peron + przejście - do wyk. Fazy II	m	150																																		
				Remont nastawni Kowalów			25.06	28.09																																
				SRK i teletech. (zakup mat.)			11.12.17	22.12.17																																
				SRK - blokada liniowa i dem. urz. SRK			2.01	6.06																																
TK - trasy kablowe Drzeńsko Kowalów			22.01	8.06																																				
Prace sieciowe (zakupy mat i robocizna)			11.12.17	18.12.17																																				
Prace elektroenergetyczne			13.02	6.03																																				

Rys. 3. Wycinek harmonogramu robót

### 2.3. Regulamin prowadzenia ruchu podczas zamknięć torowych

Po sporządzeniu projektu fazowania robót oraz harmonogramu robót można przystąpić do opracowywania regulaminu prowadzenia ruchu pociągów podczas zamknięć torowych dalej zwanego „regulaminem”. W przypadku gdy fazowanie robót zostało dobrze przemyślane i wzięto pod uwagę wszystkie składniki infrastruktury kolejowej, a ponadto założony plan fazowania robót (zamknięć torowych) został skoordynowany z możliwościami ruchowymi na danym odcinku linii kolejowej, to opracowanie wspomnianego regulaminu powinno być formalnością.

Wykonawca robót sporządza wkład do regulaminu, gdzie doświadczony Wykonawca określa rodzaj i zakres prac, które zamierza wykonać podczas zamknięć, opisuje sposób prowadzenia ruchu pociągów (również technologicznych) i robo-

czych) z uwzględnieniem urządzeń zapewniających bezpieczeństwo ruchu, zgłasza konieczność zaprowadzenia ewentualnych przerw w ruchu, przedstawia personel odpowiedzialny za wykonanie prac i wiele innych informacji.

Obecnie przy sporządzeniu regulaminu należy pamiętać, że regulamin musi jeszcze przejść procedurę bezpieczeństwa, co nieznacznie wydłuża czas do momentu zatwierdzenia regulaminu i otrzymania pierwszego i każdego następnego zamknięcia torowego.

W ramach opisywanego kontraktu Wykonawca miał bardzo mało czasu na sporządzenie projektu fazowania, harmonogramu robót i wkładu do regulaminu. Dzięki dobrej współpracy z Zamawiającym oraz Zakładem Linii Kolejowych pierwsze udzielone zamknięcie torowe na podstawie zatwierdzonego regulaminu zostało zaprowadzone 30 dni po przejściu placu budowy przez Wykonawcę.

Czasami występuje konieczność zamknięcia toru przed zatwierdzeniem, a nawet przed sporządzeniem regulaminu. Tak też było w omawianym przypadku, gdzie pierwszy transport szyn długich dotarł na plac budowy zaraz po przekazaniu terenu budowy. Dla rozładunku szyn długich potrzebne jest zamknięcie toru (wyłączenie go z ruchu na czas rozładunku). W takich sytuacjach wprowadza się zamknięcia awaryjne na podstawie instrukcji ruchowych Zamawiającego.

#### *2.4. Przyjęta technologia robót*

Przy znacznym zakresie prac, które mają zostać wykonane w krótkim czasie, konieczne jest zastosowanie odpowiednich rozwiązań projektowych oraz technologicznych. Projekt na omawianym zadaniu zakładał wykonanie wymiany torów i podtorza przy użyciu odpowiednich pociągów zmechanizowanych.

Wykonawca zaplanował podzielenie robót na szlaki oraz stacje. Prace te miały być częściowo wykonywane w jednym czasie, dlatego postanowiono, że roboty nawierzchniowe i podtorzowe na stacjach zostaną wykonane przy użyciu technologii budowlanej klasycznej, a na szlakach z zastosowaniem pociągu do wymiany nawierzchni P95 (PUN) oraz zespołu maszyn do wymiany podtorza pod istniejącym rusztem torowym tj. przy użyciu oczyszczarki tłucznia RM900 oraz maszyny do układania warstw SVV100.

### **3. Wykonanie robót**

Ze względu na brak możliwości wykonywania prac pociągami torowymi w niskich temperaturach (poniżej 5°C), prace w okresie zimowym rozpoczęto od odcinka toru szlakowego nr 1, od początku robót do stacji Kowalów wraz ze przebudową stacji Kowalów po stronie nieparzystej. Zakres ten wykonano metodą tradycyjną budowlaną. Dobry dostęp do torów oraz łagodna zima spowodowały, że założony zakres prac został wykonany w terminie i z nastaniem wyższych temperatur można było przejść na kolejne fazy, oddając jednocześnie wyremontowaną infrastrukturę do

ruchu. Dalsze fazy robót wykonano zgodnie z założonym planem fazowania z tylko nieznacznie przesuniętymi terminami wejść na kolejne etapy prac. Na przesunięcia terminów miały wpływ takie czynniki jak, wystąpienie szczególnie niskich temperatur w okresie: marzec-kwiecień 2018 roku, co opóźniło pracę wysokowydajnych maszyn torowych, wystąpienie szczególnie wysokich temperatur latem 2018 roku, czy też przerwa w wykonywaniu robót z powodu organizacji koncertu PolAndRock w Kostrzynie nad Odrą w lipcu 2018. Jeżeli chodzi o wystąpienie szczególnie nieprzychylnych warunków atmosferycznych wykonawca przeprowadził analizy (poparte pomiarami IMGW), obejmujące kilka lat wstecz i wykazał, że średnie temperatury w omawianych okresach znacznie odbiegały od średniej wieloletniej i nie można było przewidzieć takich okoliczności na etapie przygotowywania oferty. Argumentacja taka spotkała się z aprobatą Zamawiającego.

### *3.1. Wymiana nawierzchni torowej*

Tak jak wspomniano wcześniej, prace przy wymianie nawierzchni torowej na odcinkach stacyjnych wykonano metodą tradycyjną budowlaną przy użyciu koparek, samochodów i wagonów. Zapewniono odpowiedni dostęp do placu budowy poprzez wykonanie częstych wjazdów w torowisko i budowę tymczasowych dróg technologicznych. Wykorzystano zamknięcia nocne (z reguły 5-godzinne) toru sąsiedniego w trakcie przerw w ruchu dla załadunku materiałów rozbiórkowych i wyładunku nowych podkładów bezpośrednio z platform kolejowych. Po wykonaniu rozbiórek nawierzchni torowej wybrano starą podsypkę, a po sprawdzeniu jej przydatności do ponownego wykorzystania poddano ją oczyszczaniu przesiewaczem stacjonarnym. Następnym etapem była wymiana i wzmocnienie warstwy podtorza opisana poniżej. Na nowym podtorzu układano półwarstwę tłucznia pochodzącego z recyklingu. Nie obejmowało to rozjazdów i wstawek między rozjazdowych, gdzie cała przyzma tłucznia została ułożona z nowego materiału. Przed wybraniem zużytej podsypki tłuczniowej wykorzystano ją jako drogę transportową dla wywiezienia materiałów rozbiórkowych nawierzchniowych oraz mas ziemnych pochodzących ze ścinania ław torowiska oraz wykonania robót odwodnieniowych. Zgodnie z przyjętą zasadą nieporuszania się pojazdami kołowymi po odkrytym podłożu gruntowym wybieranie starej podsypki było połączone z jednoczesnym wybieraniem mas ziemnych istniejącego podtorza jak opisano poniżej. Przesiany tłuczeń przeznaczony na półwarstwę tłucznia był dostarczany w miejsce budowania przy użyciu wagonów samowyładowczych typu MFS z toru sąsiedniego korzystając z przerw między pociągami oraz nocnej przerwy w ruchu pociągów. Był on formowany przy pomocy lekkich spycharek gąsienicowych oraz koparek i zagęszczany przy użyciu walca wibracyjnego oraz zespołu płyt wibracyjnych zagęszczających. Podkłady były rozkładane za pomocą koparek dowożonych samochodami ciężarowymi, poruszającymi się po półwarstwie tłucznia. Dla przyspieszenia prac dużą część podkładów dowieziono przed rozbiórką nawierzchni wagonami platformami i rozładowano na skarpach nasypów/przekopów i szerokim międzytorzu. Szyny długie wyładowane w torze sąsiednim



były przetrzucane i układane za pomocą koparek dwudrogowych. Łączenie szyn odbywało się za pomocą zgrzewarek torowych przy użyciu naprężaczy szynowych oraz podgrzewania szyn podgrzewaczami torowymi.

Szczególnie interesująca jest technologia przytwierdzania szyn przy wymuszonej temperaturze przytwierdzenia. Korzysta się w tym przypadku z samojezdnych podgrzewaczy szyn, gdzie na każdy tok szynowy kierowane jest ciepło z trzech palników na propan butan (zdjęcie nr 1). Do przytwierdzania szyn o długości 240m używa się minimum dwa podgrzewacze samojezdne. Metoda ta pozwala na uzyskanie temperatury szyny na takim poziomie by naprężenia w przytwierdzonej szynie były na poziomie zbliżonym do szyny pozostającej w temperaturze neutralnej.



Rys. 4. Podgrzewacz szyn – źródło [www.gleisbau-welt.de](http://www.gleisbau-welt.de)

W przypadku okresów z wysokimi temperaturami przytwierdzanie szyn do podkładów odbywało się w godzinach nocnych i wczesnoporannych. W niektórych przypadkach pomimo zastosowanych technologii i procedur nie udawało się przytwierdzić szyny w temperaturze neutralnej. Wymagało to przeprowadzenia w późniejszym terminie regulacji naprężeń w torze. Dzięki dobremu planowaniu i zastosowaniu odpowiednich maszyn przypadki takie ograniczono do minimum, co pozwoliło dotrzymać wcześniej założone terminy. Po wykonaniu przytwierdzenia sporządzono metrykę toru bezстыkowego. Przeprowadzenie analizy naprężeń w szynie w okresie wiosennym następnego roku potwierdziło poprawne wykonanie przytwierdzenia szyn długich toru bezстыkowego.

Na odcinkach szlakowych o łącznej długości prawie 30 kmt wymianę szyn i podkładów wykonano przy użyciu pociągu do wymiany nawierzchni typu P-95. Technologia znana i powszechnie stosowana. Wymianę podkładów i szyn przeprowadzono przed robotami podtorzowymi ze względu na zły stan istniejącej nawierzchni torowej, która najprawdopodobniej nie wytrzymałaby czterokrotnego przejścia kombajnów podtorzowych, to jest dwukrotnego przejścia oczyszczarki torowej RM900 (pierwsze przejście – wybranie starej podsypki tłuczniowej, przeznaczonej do późniejszego stacjonarnego oczyszczenia i drugie przejście – wybranie gruntów podtorza i podłoża do zaprojektowanej niwelety spodu nowej warstwy ochronnej) i dwukrotnego przejścia maszyny do układania warstw typu SVV100 (pierwsze przejście – ułożenie warstwy ochronnej i drugie przejście – ułożenie i uformowanie półwarstwy tłuczni). Taka zmiana kolejności wymuszona złym stanem starej nawierzchni tłuczniowej ma niestety istotne wady. Wydłuża czas wykonania robót ze względu na konieczność bezwzględnego wykonania regulacji naprężeń w torze po zakończeniu wszystkich prac, a ponadto nowa nawierzchnia jest użyta jako nawierzchnia technologiczna dla maszyn podtorzowych. Przykładowo dla przejścia SVV100 ze względu na naprężenia podnoszonego rusztu torowego konieczne jest wykonanie cięć technologicznych szyn (w tym przypadku nowych) co 350 m na prostej, do nawet 100 m w przypadku łuków poziomych o małych promieniach. Zwiększa to niestety liczbę połączeń szyn dokonywanych w torze.

Przed drugim przejściem SVV100 dla ułożenia półwarstwy tłuczni najczęściej dla przyspieszenia robót wykonuje się wyprzedzający wyładunek tłuczni z recyklingu w tor przy użyciu wagonów samowyładowczych typu szutrówka i hopper dozator. Maszyna SVV w drugim przejściu jedynie dosypuje brakującą część materiału, a następnie formuje oraz zagęszcza półwarstwę tłuczni do takiej niwelety, by tor był później podbijany do docelowej niwelety projektowej w zakresie 50-70 mm. W przypadku dużego zanieczyszczenia istniejącego tłuczni i w związku z tym braku tłuczni pochodzącego z recyklingu dla ułożenia całej półwarstwy jak wyżej, używa się to tego celu częściowo nowego materiału. Użycie maszyny SVV100 dla ułożenia półwarstwy tłuczni znacznie poprawia parametry nowej nawierzchni torowo-tłuczniowej w porównaniu do technologii balastowania toru podbijarkami na całą wysokość pryzmy podsypki (dla klasy toru 1.1 – 35 cm). Nawierzchnia taka jest mniej razy „szarpana” przez podbijarki torowe, czy też stosowane przez niektórych wykonawców zrywarki torowe. Ponadto tak ułożona półwarstwa tłuczni gwarantuje właściwie brak osiadania toru w trakcie jego początkowej eksploatacji, co pozwala zrezygnować z podbić stabilizacyjnych, czy też stosowania dynamicznych stabilizatorów toru.

### *3.2. Wymiana podtorza*

W metodzie klasycznej budowlanej jak wspomniano wyżej wymiana podtorza polegała na wybraniu gruntów podłoża koparkami w momencie usuwania starej podsypki tłuczniowej. Operator koparki pracując z poziomu starej podsypki

tłuczniowej sukcesywnie wybierał na zmianę tłuczeń i grunty podłoża. Materiał na nową warstwę był dostarczany w miejsce wbudowania przy użyciu wagonów typu Dumpcar i MFS100, a następnie rozścielany na żadaną grubość koparkami, spycharkami gąsienicowymi oraz równiarkami. Zagęszczenie materiału nowej warstwy ochronnej wykonywano przy użyciu zespołów ciężkich zagęszczarek płytowych (zespoły po dwie i trzy zagęszczarki). Pod warstwą, jeżeli było tak zaprojektowane, rozkładano geosyntezy rozwijane z rolek.

W metodzie zmechanizowanej wybranie gruntów podtorza zrealizowano przy użyciu ciężkiej oczyszczarki tłuczni RM900 zastosowanej w konfiguracji wybierania. Odwóz wybranych gruntów na składowiska zorganizowane jak najczęściej odbywał się przy użyciu wagonów samowyładowczych z ruchomą podłogą typu MFS100. Minimalna liczba takich wagonów przy pracy maszyny RM900, biorąc pod uwagę zorganizowanie składowisk co 4-5 km to 10 szt. Taka liczba pozwala na ciągłą pracę maszyny i unikanie niepotrzebnych przestojów. Układanie nowej warstwy ochronnej zrealizowano przy użyciu kombajnu podtorzowego typu SVV100. Maszyna ta układa warstwę ochronną pod istniejącym rusztem torowym. Technologia ta pozwala ponadto na rozścielenie pod nową warstwę ochronną geosyntetyków o szerokości do 6 m. Materiał na nową warstwę ochronną dowożony jest przy użyciu wagonów MFS100. Tutaj minimalna liczba wagonów typu MFS100, biorąc pod uwagę, że plac składowy z nowym materiałem znajduje się w odległości do 10 km wynosi 12 szt.

Dwie powyższe technologie, czyli użycie RM900 do wybierania gruntów podtorza i układanie nowej warstwy ochronnej przez SVV100 mogą być stosowane w tym samym czasie. Konstrukcja obydwu maszyn, czyli odwóz wybranych gruntów od RM900 odbywa się zgodnie z kierunkiem pracy maszyny (do przodu), a przywóz nowych materiałów do maszyny SVV odbywa się zgodnie z kierunkiem pracy zespołu maszyn od tyłu. Tak więc obydwie maszyny mogą pracować jednocześnie, jedna za drugą, tworząc niejako zespół kombajnu podtorzowego. Jedyńm ograniczeniem w takim podejściu do tej technologii jest liczba potrzebnych operatorów oraz wagonów MFS100 w jednym czasie.

Dla wykonania warstwy podtorza zgodnie z Id-3 [5] potrzebna jest odpowiednia mieszanka kruszyw łamanych o uziarnieniu ciągłym, zapewniającym uzyskanie odpowiedniego zagęszczenia układanego materiału. Optymalne uziarnienie tak zwanego niesortu kamiennego przedstawia rys. 5. Na rysunku tym przedstawiono także krzywe graniczne określone w [1] i [5] jako dobre uziarnienie kruszyw wbudowywanych kombajnami podtorzowymi. Materiały mieszczące się między tymi krzywymi spełniają większość stawianych im wymagań. Są między innymi odporne na mróz, dobrze się zagęszczają i dobrze współpracują z układami pod nimi geosyntetykami [1].

Bardzo ważnym jest zapewnienie odpowiedniej wilgotności mieszanki kruszyw (niesortu) w momencie jej układania, która w zależności od skały wynosi od 11 do 13%. Ze względu na duże odległości dzielące plac składowy od miejsca wbudowania, fakt pozbywania się znacznej części wilgoci przez materiał kamienny przesy-



Nowe wyposażenie przejazdowe zostało uzależnione w urządzeniach stacyjnych. W harmonogramie prac uwzględniono czas na niezbędne próby i odbiory nowych urządzeń srk oraz czas na szkolenia dla personelu Zamawiającego. W niektórych przypadkach dla przyspieszenia robót szkolenia personelu zaplanowano na symulatorach urządzeń stacyjnych.

### *3.4. Remont sieci trakcyjnej*

Istniejąca sieć trakcyjna została poddana gruntownemu remontowi. Wymianie podlegały niektóre konstrukcje wsporcze, elementy podwieszenia sieci trakcyjnej, a także wyposażenie związane z zasilaniem oraz jego sterowaniem. Przebudowie musiały zostać poddane elementy sieci trakcyjnej w obrębie stacji Kowalów, Laski Lubuskie i Ługi Górzyckie oraz przystanku osobowego Górzycza, gdzie zmianie ulegała geometria torów i rozjazdów. Na odcinkach szlakowych wymieniono konstrukcje wsporcze oraz odciągi pozostające w złym stanie technicznym. Wymieniono elementy sieci powrotnej, a na stacjach zbudowano sieć powrotną z uszynieniem grupowym.

Dla wprowadzenia niektórych faz, konieczne było wbudowanie nowych izolatorów i odłączników sieci trakcyjnej. Ponadto tory główne dodatkowe na wszystkich stacjach zostały wyposażone w nową sieć trakcyjną, gdzie kotwienie sieci było wykonywane w przerwach w ruchu w porze nocnej.

Do robót wykorzystano wysokowydajne ciężkie pociągi trakcyjne oraz nowoczesne palownice fundamentów.

### *3.5. Budowa nowych peronów i urządzeń energetycznych*

Ze względu na przebudowę stacji kolejowych konieczne było wykonanie nowych peronów zarówno w lokalizacjach istniejących jak całkowicie nowych. Zlikwidowano niskie perony dwukrawędziowe. Wprowadzono ustandaryzowane rozwiązania krawędzi peronowych, dojść dla podróżnych, oznakowania, oświetlenia i małej architektury. Mając na względzie konieczność prowadzenia ruchu pasażerskiego podczas wykonywania robót należało zagwarantować przynajmniej po jednej czynnej krawędzi peronowej na każdej stacji i przystanku osobowym. Wykorzystano istniejące krawędzie peronowe jako tymczasowe. Dla przyspieszenia robót wykonano krawędzie tymczasowe. Przy budowie nowych peronów konieczna była sprawna koordynacja pomiędzy robotami torowymi, sieciowymi, energetycznymi i peronowymi.

## **4. Rozwiązania przyspieszające wykonywanie robót inwestycyjnych**

Biorąc pod uwagę zakres i krótki czas przeznaczony na wykonanie omawianego zadania, koniecznym stało się wprowadzenie nowych technologii i rozwiązań

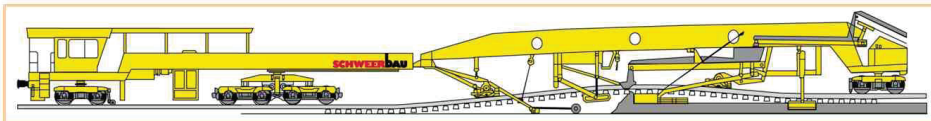
projektowych zaproponowanych przez Wykonawcę na etapie bezpośrednio poprzedzającym realizację. Poniżej przedstawiono zaproponowane rozwiązania techniczne i organizacyjne, z których większość udało się zastosować, co umożliwiło realizację kontraktu w uprzednio założonych ramach czasowych.

#### *4.1. Użycie wysokowydajnych maszyn torowych*

Podstawą sukcesu realizacji dużego zakresu robót w krótkim czasie było użycie pociągu do wymiany toru P-95 oraz zespołu kombajnu podtorzowego RM900 i SVV100 (rys.6). Prawie 30 kmt zostało wykonane przy użyciu tych maszyn. Średni czas potrzebny na wykonanie wymiany nawierzchni torowej wraz z podtorzem oraz robotami towarzyszącymi (odwodnienie, system sterowania i sieć trakcyjna) na omawianej budowie wyniósł około 8 tygodni na szlak o długości 6-8 km toru.

Użycie wysokowydajnej podbijkarki torowej typu CSM wraz z profilarką pryzmy tłuczniwa typu SSP110 pozwoliło na szybkie wyregulowanie położenia torów w planie i profilu.

Wiele różnych typów wagonów specjalistycznych również pomogło w sprawnym prowadzeniu robót. Zwłaszcza wagony typu MFS100, wykorzystywane do wsparcia dla robót wykonywanych metodą konwencjonalną przyczyniły się do znacznego przyspieszenia prac. Zastosowanie składów wagonów samowładowych typu szutrówka i hopper dozator również umożliwiło zrealizowanie bardzo ambitnego harmonogramu robót.



Rys. 6. Maszyna do układania warstw kruszywu typu SVV100

Wbudowanie nowych rozjazdów odbyło się metodą konwencjonalną. Ich wymiana przy użyciu technologii blokowej nie przyspieszyłaby realizacji robót, ze względu na wielobranżowość oraz duży zakres przebudowy stacji, gdzie czas wykonywania pozostałych robót kontraktowych determinował długość potrzebnych zamknięć torowych.

#### *4.2. Wyrównanie naprężeń toru bezstykowego oraz połączenia szyn*

Użycie wysokowydajnych zgrzewarek torowych oraz odpowiednie planowanie wykonania robót pozwoliło na wykonywanie do 30 zgrzewów szyn w torze w ciągu jednej zmiany roboczej (12 godzin). Dodatkowo zastosowanie zarówno naprężaczy torowych jak i podgrzewaczy szyn pozwoliło na ograniczenie robót straconych oraz przyspieszenie robót w okresach niskich temperatur.

Przy planowaniu robót łączenia szyn w torze w tak dużym zakresie należało przewidzieć duży potencjał ludzki potrzebny do luzowania i przytwierdzania szyn do podkładów. Robotników na czas tych robót przesuwano z innych frontów oraz wynajmowano dodatkowo tylko na ten zakres prac.

#### *4.3. Logistyka materiałowa*

Dużym wyzwaniem w trakcie budowy było zapewnienie odpowiednich dostaw materiałów na czas. Zwłaszcza dostawy kruszyw nastroczały bardzo dużo problemów. Było to spowodowane bardzo dużym zapotrzebowaniem rynku na dostawy kruszyw w ówczesnym czasie. Pociągi przyjeżdżały nieregularnie, z wydłużonym czasem obrotu i w mniejszej ilości niż zakładano. Rozwiązaniem okazało się zamówienie kruszyw u naszych zachodnich sąsiadów, gdzie brak konieczności jazdy po zatłoczonej polskiej sieci kolejowej powodował, że dostawy realizowano w zasadzie terminowo. Nie mniej jednak w przypadku dużej ilości kruszywa przeznaczonego na warstwę ochronną (niesortu kamiennego) problemem okazywały się ograniczone powierzchniowo place składowe. Musiały one być zlokalizowane w pobliżu torów bez sieci trakcyjnej, na które możliwy był wjazd składów dostawczych oraz roboczych. Należało w umiejętny sposób zaplanować rozładunki materiału przywożonego z kopalni w przerwach pracy pociągu podtorzowego.

Podkłady kolejowe zamówiono na uprzednio zorganizowane place składowe, gdzie były przeladowywane na składy robocze od P-95. Takie podejście zagwarantowało nieprzerwaną pracę pociągu do wymiany toru.

#### *4.4. Lepszy materiał na warstwy ochronne*

Możliwość zastosowania ulepszonego materiału na warstwy ochronne pojawiła się bezpośrednio przed rozpoczęciem robót. Niestety ze względu na konieczność wykonania dodatkowych badań poligonowych nie udało się w ramach omawianego kontraktu zastosować tego rozwiązania. Poniżej opisany materiał ze względu na jego lepsze parametry umożliwiłby zastosowanie warstw ochronnych o mniejszej grubości, co bezpośrednio przeniosłoby się na przyspieszenie robót podtorzowych. Mniejsza grubość warstwy ochronnej to również mniej materiału, który należy przywieźć i zmagazynować, co również ma istotny wpływ na czas wykonania i koszty inwestycji.

Niesort kamienny zaproponowany do realizacji robót (rys. 5) posiadał deficyt ziaren o średnicy mniejszej od 0,1mm. Kruszywo takie potrzebuje zwiększonej ilości energii, jaką należy zastosować dla uzyskania odpowiedniego zagęszczenia warstwy zbudowanej z tego materiału w stosunku do materiału posiadającego większe ilości ziaren drobnych. Drobne frakcje w kruszywie warstwy ochronnej przy odpowiedniej wilgotności można potraktować jako pewnego rodzaju smar poprawiający urabialność i zagęszczalność mieszanki kruszywowej. Wykonawca zaproponował użycie odpowiedniego dodatku popiołów lotnych do kruszywa,

który zwłaszcza przy zastosowaniu metody zmechanizowanej układania warstwy ochronnej przyniósłby pozytywne efekty.

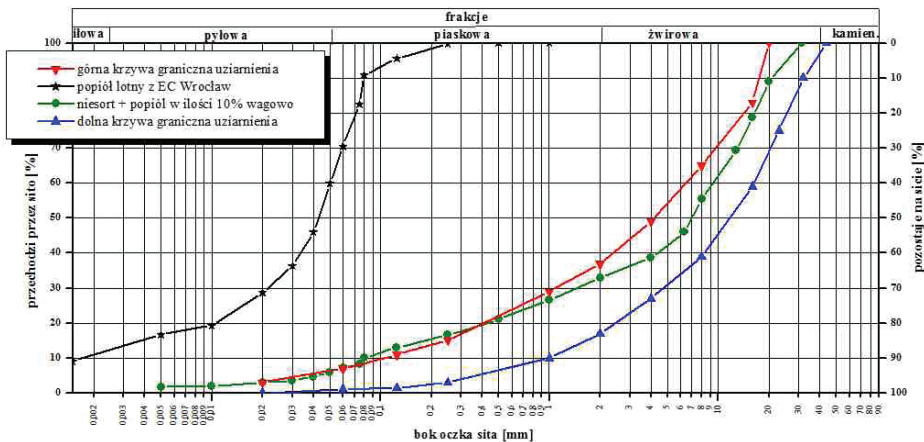
Uziarnienie mieszaniny popiołowo-kruszywowej można wyznaczyć za pomocą poniższego wzoru [1]:

$$z_d = \frac{z_{dp}M_p + z_{dn}M_n}{M_p + M_n} [\%]$$

gdzie:

- $z_d$  – zawartość w mieszance ziaren o wymiarach mniejszych od „ $d$ ” [%],
- $z_{dp}$  – zawartość ziaren o wymiarach mniejszych od „ $d$ ” w popiele lotnym [%],
- $z_{dn}$  – zawartość ziaren o wymiarach mniejszych od „ $d$ ” w niesorcie [%],
- $M_p$  – udział popiołu w mieszaninie popiołowo gruntowej [%],
- $M_n$  – udział niesortu w mieszaninie popiołowo gruntowej [%],

Korzystając z powyższego wzoru można uzyskać krzywą uziarnienia dla niesortu z dodatkiem popiołów lotnych w ilości 10% wagowo (rys. 7). Na rysunku tym pokazano także krzywą uziarnienia popiołu lotnego.



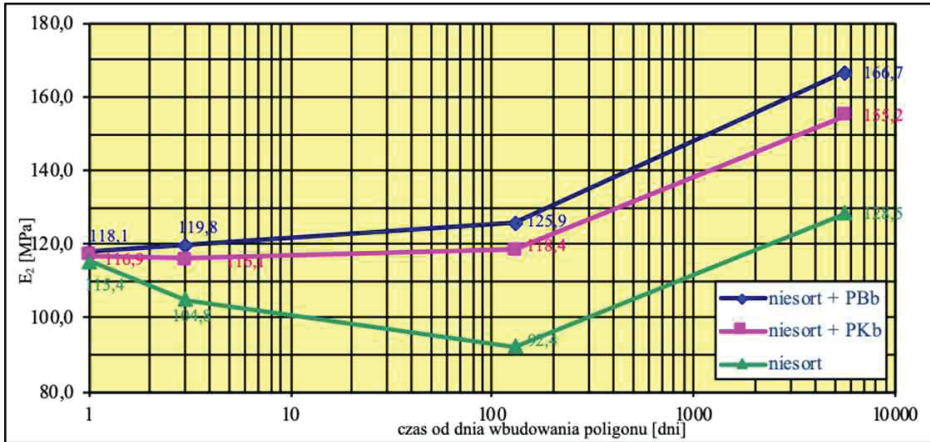
Rys. 7. Uziarnienie mieszanki kamiennej przyjętej do badań stabilizowanej 10% popiołu lotnego typu PKb

Zaproponowana zmiana uziarnienia niesortu kamiennego daje wymierne korzyści parametrów zwiększenia nośności oraz zagęszczalności warstw wykonanych z proponowanego materiału. Zostało to potwierdzone w trakcie szeregu badań laboratoryjnych i terenowych wykonanych przez autora niniejszego artykułu.

Niżej przedstawiono wyniki badań nośności trzech warstw ochronnych wbudowanych pod czynnym torem kolejowym na linii magistralnej. Warstwy wykonano z niesortu kamiennego, niesortu z dodatkiem popiołów lotnych aktywnych (pochodzących ze spalania węgla brunatnego PBb) oraz niesortu z dodatkiem popiołów lotnych nieaktywnych (pochodzących ze spalania węgla kamiennego PKb). Poprzez aktywność popiołu należy rozumieć tutaj jego właściwości wiążące. Badania wykonano płytą sztywną VSS w trzech różnych momentach: po trzech dniach



od wykonania warstw przed przykryciem ich nawierzchnią tłuczniową, po 100 dniach eksploatacji oraz po 15 latach eksploatacji (rys. 8). Wyniki potwierdzają, że przy zastosowaniu takiego rozwiązania projektowaną grubość warstw ochronnych można by zmniejszyć o 15% bez negatywnego wpływu takiego rozwiązania na nośność wbudowywanej warstwy. Dałoby to wymierne korzyści odnośnie czasu potrzebnego na realizację zadania.



Rys. 8. Wyniki badania wtórnego modułu odkształcenia warstwy niesortu poddanej obciążeniu eksploatacyjnemu

## 5. Podsumowanie

Dzisiejsze budownictwo kolejowe stawia przed Wykonawcami nowe wyzwanie – realizację robót w bardzo krótkich okresach czasu. Ruch kolejowy jest coraz większy i nie należy spodziewać się, że zamknięcia torowe będą wystarczające dla realizacji robót w starym modelu wykonania. Nowoczesne podejście do planowania zamknięć torowych oraz stosowanie nowych rozwiązań technologicznych, jak i projektowych, pozwala na znaczne przyspieszenie procesu modernizacji polskich linii kolejowych. Ważnym jest, by wizja nowoczesnej realizacji robót była brana pod uwagę na każdym etapie inwestycji. Wymaga to niestety znacznego wysiłku po stronie Zamawiającego na etapie sporządzania dokumentacji przetargowych i przygotowywania inwestycji. Z jednej strony należy przewidzieć niezbędne zamknięcia torowe z odpowiednim wyprzedzeniem, a z drugiej strony jasno i klarownie określić wymagania co do technologii wykonania robót, a później konsekwentnie je wdrażać.

## Bibliografia

- [1] Regulamin pracy zespołu do naprawy torowisk oraz poszczególnych jego maszyn i zalecenia projektowania wzmocnień torowisk przewidywanych do wykonywania maszyną AHM 800R-PL, wydanie II, czerwiec 2000.
- [2] Tymczasowe warunki technologiczno-konstrukcyjne wykonania i odbioru robót nawierzchniowo-podtorzowych wykonywanych w sposób zmechanizowany – warunki uzupełniające; Biuro Dróg Kolejowych PKP Polskich Linii Kolejowych S.A., Projekt nr ILK8-5 10-10a/2003RF; maj 2003,
- [3] PN-S-96035 grudzień 1997; Drogi samochodowe; Popioły lotne.
- [4] BN-88/8932-02; Podtorze i podłoże kolejowe; Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- [5] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.: Id-3 Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. Warszawa 2009.