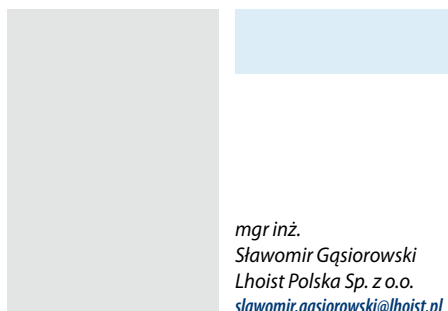


# Wzmacnianie podtorza metodą stabilizacji gruntów spoiwami na przykładzie modernizacji linii LK96

Sławomir Gąsiorowski

*Na nowoczesność państwa składają się m.in. rozbudowane sieci autostrad oraz linii szybkiej kolei, które zapewniając sprawną logistykę przyspieszają rozwój ekonomiczny kraju. Obecnie coraz więcej mówi się o potrzebie zwiększenia nakładów finansowych na modernizację szlaków kolejowych. W planach jest również budowa magistrali dla Kolei Dużych Prędkości. W tej sytuacji niezmiernie ważna jest efektywność ekonomiczna przedsięwzięcia. Aby pociągi mogły szybko poruszać się po torach, wymagane jest, aby podtorze kolejowe było nośne i stabilne. Dotychczas, gdy podtorze wykazywało się małą nośnością, jego wzmocnienie następowało poprzez wymianę gruntu. Metoda dobra, lecz równocześnie bardzo uciążliwa i kosztowna. Uciążliwa, ponieważ grunt plastyczny usunięty z podtorza staje się odpadem generującym dodatkowe koszty związane z jego utylizacją. Kosztowna, ponieważ w miejsce usuniętego gruntu należy przetransportować i wbudować olbrzymie ilości nowego gruntu, zwykle piasku, który daje się łatwo zagęszczać, a taki nie zawsze dostępny jest w najbliższej okolicy prowadzonej budowy. Alternatywą dla wymiany gruntu jest ulepszenie i stabilizacja gruntów spoiwami i niespoiwami z udziałem wapna i/lub cementu. Metoda od ponad 20 lat obecna na polskich drogach, obecnie coraz śmielej wkraczająca na szlaki kolejowe. Po raz pierwszy w Polsce metoda ta w szerokiej skali zastosowana została przy modernizacji linii kolejowej LK 96 na odcinku Tarnów – Stróże, gdzie 8 km podtorza wzmocniono albo wapnem, albo cementem uzyskując minimalną nośność podtorza na poziomie 80 MPa, co zostało potwierdzone badaniami IBDiM.*



mgr inż.  
Sławomir Gąsiorowski  
Lhoist Polska Sp. z o.o.  
slawomir.gasiorowski@lhoist.pl

Pomimo tego, że dużo się w Polsce mówiło ostatnimi laty o potrzebie unowocześnienia infrastruktury transportowej, mając na myśli zarówno szlaki kolejowe, jak i drogi oraz autostrady, to jednak przez lata kolej traktowana była w Polsce wyjątkowo po macoszemu. Szczególnie widoczne było to w latach 1989–2009, kiedy w wyniku niedoinwestowania oraz licznych zaniedbań inwestycyjnych szybko postępowała degradacja szlaków kolejowych. Dość przypomnieć, że od roku 1998 do końca 2009 na infrastrukturę kolejową i drogową przeznaczono łącznie 125,4 mld złotych, z czego 86,1% wszystkich nakładów przypadło na modernizację dróg i budowę autostrad. Trudno się zatem dziwić, że rozwojowi dróg i autostrad towarzyszyło pogorszenie się stanu technicznego szlaków kolejowych.

O ogromie zaległości inwestycyjnych najlepiej zaświadczać liczby podawane przez PKP PLK S.A. W ostatnim dwudziestolecu sieć kolejowa w Polsce skurczyła się z 24,1 tys. km (1990 r.) do 19,2 tys. km (2008 r.). Na koniec 2008 roku zaległości remontowe wynosiły 47,4 mld złotych, z czego 36,5 mld złotych przypadło na remonty torów i obiektów inżynierskich, 8 mld złotych to konieczne wydat-

ki na urządzenia automatyki i telekomunikacji, a 3 mld złotych na energetykę.

Zaległości inwestycyjne przekładają się na obniżenie się komfortu podróżowania, na co składają się m.in. liczne ograniczenia dopuszczalnych prędkości z jakimi mogą poruszać się pociągi zarówno pasażerskie, jak i towarowe. W ciągu ostatniej dekady odcinków, na których wprowadzono ograniczenia prędkości jest trzykrotnie więcej, niż tych, na których w wyniku modernizacji podniesiono prędkość przejazdową. Według stanu na dzień 31.12.2009 r. dopuszczalne prędkości na sieci polskich linii kolejowych wynoszą:

- ponad 160 km/h – 5% sieci,
- 120-160 km/h – 15% sieci,
- 80-120 km/h – 38% sieci,
- 40-80 km/h – 33% sieci,
- do 40 km/h – 9% sieci.

Ocena stanu technicznego przeprowadzona na koniec 2009 r. wykazała, że jedynie 37% linii kolejowych jest w dobrym stanie technicznym, a 38% w stanie dostatecznym. Aż 25% linii znajduje się w niezadowolającym stanie technicznym, co oznacza, że można nimi jeździć pod warunkiem znacznego ograniczenia prędkości. Aby przywrócić im pełną sprawność techniczną wymagana jest kompleksowa wymiana nawierzchni. Niedoinwestowanie spowodowało, że kolej z lidera przewozów towarowych, stała się przewoźnikiem mało konkurencyjnym w stosunku do transportu samochodowego. Stan ten utrzymywał się przez ostatnie kilkanaście lat. W tym czasie okazało się, że pomimo rozwoju i modernizacji dróg, kłopoty komunikacyjne na drogach nie tylko nie zmaleły, ale wręcz w wielu miejscach spotęgowały się. Wymienić tutaj można chociażby takie trasy jak drogę E40 na małopolskim

odcinku Łąpczyca – Tarnów, drogi dołotowe do większości dużych miast w Polsce, gdzie natężenie ruchu przekracza możliwości przepustowe tych dróg. Ponownie więc zaczęto doceniać przewozy kolejowe i kolej jako taką. Już sam fakt, że koleją dociera się do centrum miast bez uciążliwego stania w korkach, jest dla wielu podróżnych ogromną jej zaletą. Dla rozwoju kolejnictwa nie bez znaczenia jest też wstąpienie Polski do Unii Europejskiej. W starych krajach Unii już od dawna promuje się transport kolejowy, gdyż na średnich dystansach szybka kolej z powodzeniem konkuruje z transportem powietrznym. Niesie przy tym ze sobą zdecydowanie mniejsze obciążenie dla środowiska naturalnego niż transport samochodowy lub lotniczy.

Idąc z duchem czasu również w Polsce zaczęto wdrażać program zmierzający do podniesienia statusu transportu kolejowego. Jest nim Wieloletni Program Inwestycji Kolejowych. Obejmuje on 110 projektów rewitalizacji linii kolejowych, na co w latach 2011-2013 wydanych zostanie blisko 21 mld złotych. Spośród tych projektów 89 zadań dotyczy modernizacji 2284 km linii, a 21 projektów dotyczy prac przygotowawczych, wśród nich znajduje się studium wykonalności dla linii „Y”. Wszystko to jest kroplą w morzu potrzeb modernizacyjnych, dlatego też niezmiernie ważną rzeczą jest nie tylko, ile pieniędzy przeznaczony się na modernizację danego szlaku kolejowego, ale również, w jak efektywny sposób wykorzystane zostaną posiadane środki.

## Ekonomia

Aż 62% sieci kolejowej w Polsce jest w stanie niezadowolającym ze względu na stan

nawierzchni torowej. Dla tej części szlaków kolejowych wymagana jest natychmiastowa modernizacja i rewitalizacja nawierzchni, aby pociągi znów mogły kursować po niej z zadowalającymi prędkościami. Pojawia się tutaj pytanie, jak daleko powinna sięgać ingerencja w istniejącą infrastrukturę, aby doprowadzić ją do satysfakcjonującego stanu? Czy przy modernizacji nawierzchni ograniczyć się wyłącznie do jej wymiany, czy też iść o krok dalej i wzmocnić również podtorze? A jeśli tak, to jakimi metodami? Tego typu dylematy rozstrzygane są zwykle z punktu widzenia ekonomii. Zwykle cierpi na tym podtorze, gdyż zapomina się, że układanie nowej nawierzchni na słabonośnym podłożu mija się z celowością. W pierwszym okresie po modernizacji, sytuacja czasowo ulegnie poprawie, lecz z czasem nawierzchnia będzie ponownie ulegała szybkiej degradacji.

Zwykle przyjmuje się, że jeśli minimalna zmierzona nośność istniejącego podtorza wynosi ok. 60 MPa, to nie wymaga ono wzmocnienia, gdyż brakujące megapaskale uzyskuje się po wbudowaniu warstwy ochronnej. Należy jednak zwrócić uwagę, że zmierzona nośność podtorza, szczególnie dla gruntów średnio spoiistych i mało spoiistych, silnie uzależniona jest od momentu, kiedy dokonywano pomiaru. A więc w okresach suchych nośność podtorza na gruncie spoiстым będzie wyższa, niż gdyby pomiaru dokonano w okresie deszczowym, gdyż tego typu grunty są bardzo wrażliwe na oddziaływanie wody. Z takim przypadkiem jeden z wykonawców modernizujących kolej miał do czynienia na trasie E30 w okolicach Rzeszowa. Pomierzony na jesieni moduł nośności wynosił 60 MPa. Po zimie okazało się, że wartość modułu obniżyła się do zaledwie 8-10 MPa.

Zgodnie z warunkami technicznymi *Id-3 (D-4) PKP PLK S.A. o utrzymaniu podtorza*, podtorze należy modernizować tak, aby w występujących warunkach klimatycznych i eksploatacyjnych nie ulegało ono nadmiernym trwałym i sprężystym odkształceniom zagrażającym bezpieczeństwu ruchu, bądź też stwarzającym potrzebę zbyt częstych napraw nawierzchni (rozdz. 3 par. 3). I dalej: „Koszty budowy i eksploatacji powinny być możliwie małe, bez po-

garszania watorów użytkowych”. A więc, również w tym dokumencie zwrócono uwagę na ekonomię przedsięwzięcia, lecz równocześnie dodano, iż niskim nakładom finansowym, nie powinno towarzyszyć wzrost częstotliwości napraw nawierzchni oraz pogorszenie watorów użytkowych.

Jeśli w ten sposób spojrzymy na modernizację linii kolejowych, a więc jeśli pod uwagę weźmiemy nie tylko koszty związane z samą modernizacją, ale również te obejmujące nakłady pieniężne konieczne do utrzymania sprawności technicznej linii po jej modernizacji, to okazuje się, że prace budowlane nie powinny ograniczać się wyłącznie do wymiany nawierzchni kolejowej, lecz powinny iść o krok dalej, a więc obejmować również wzmocnienie podtorza, gdyż tylko stabilne i nośne podtorze gwarantuje wysoką jakość nawierzchni kolejowej i jej bezawaryjną eksploatację.

Dlaczego wzmocnienie podtorza? Dlatego, że współczesne techniki wzmocnienia gruntów poprzez ich ulepszenie i stabilizację są nie tylko wydajne i skuteczne, ale również dlatego, że ich zastosowanie jest uzasadnione ekonomicznie, nawet w tych przypadkach, gdy wydaje się, że nośność podtorza jest wystarczająca, gdyż przekracza 60 MPa. W przypadku stabilizacji, stosując odpowiednio dobrane do gruntu spoiwo jesteśmy w stanie bez większych problemów podnieść nośność podtorza do wartości m.in. 80-120 MPa (w zależności od wymagań inwestora), a to oznacza oszczędności materiałowe na kolejnych warstwach nawierzchni. Dodatkowo należy wspomnieć, że grunty stabilizowane wapnem i/lub cementem są mrozo- i wodoodporne, co przekłada się na ich dużą żywotność.

## Modernizacja linii LK 96

Linia 96 łączy stację Tarnów z przejściem granicznym Muszyna/Plavec uruchomiona została w 1876 roku. Głównym przyczynkiem do jej budowy była chęć połączenia Galicji z sąsiednimi krainami. Jakkolwiek linia 96 jest zaliczana do linii magistralnych, to jej przebieg wcale nie wskazuje na takie przeznaczenie. W wielu miejscach sąsiaduje bezpośrednio z rzeką Białą,

wijąc się jej dolinami poprzez Pogórze Ciężkowieckie i Beskid Sądecki. W czerwcu 2010 roku, gwałtowne ulewy na terenie Polski Południowej spowodowały podmycie torów i osunięcia skarp. Uniemożliwiło to prowadzenie ruchu pociągów na całej długości linii. Przez kolejne miesiące prowadzono intensywne prace, aby przywrócić przejezdność linii na całej jej długości.

W 2011 roku PKP PLK S.A. ogłosiła przetarg na modernizację linii 96 na odcinku Tarnów – Stróże. Zwycięzcą została firma PNI Sp. o.o. oddz. Katowice. Długość modernizowanego odcinka wynosiła 42 km. Celem modernizacji było: 1) uzyskanie pierwotnych parametrów technicznych wynikających z istniejącego układu geometrycznego linii i wzmocnienia podtorza, 2) poprawa oferty przewozowej, poprzez zwiększenie komfortu podróży, skrócenie czasu podróży, zwiększenie konkurencyjności kolei (prędkość, punktualność), 3) zwiększenie bezpieczeństwa ruchu, 4) likwidacja ograniczeń prędkości, 5) zmniejszenie awaryjności torów, podtorza i urządzeń.

## Stabilizacja podtorza spoiwami

Wyjątkowość prac budowlanych prowadzonych na linii LK 96 podczas jej modernizacji polegała na tym, iż po raz pierwszy w Polsce na szeroką skalę przeprowadzono stabilizację podtorza wapnem i/lub cementem portlandzkiem. „Szeroka skala” oznacza, że stabilizacja gruntu nie ograniczyła się jedynie do punktowego wzmocnienia podtorza, lecz swoim zasięgiem objęła ponad 8 km jego długości. „Szeroka skala” oznacza również, że do prac stabilizacyjnych wykorzystano profesjonalny sprzęt, podobny do tego, jaki stosowany jest przy budowie dróg i autostrad.

W założeniach projektowych przyjęto, iż konieczne jest doprowadzenie najsłabszych miejsc podtorza do minimalnej nośności równej 80 MPa, co ma przełożyć się na znaczące podwyższenie prędkości pociągów. Przyjęto, że dozowanie wapna palonego w stosunku do masy gruntu nie powinno przekroczyć 4%, a cementu portlandzkiego 6%. Rzeczywiste zanotowane dozowanie wynikało ze stanu gruntu, a więc jego wilgotności naturalnej oraz



1. LK 96. Pierwszy etap po rozebraniu torów i podkładów – usuwanie podsypki



2. Rozsiewanie spoiwa



3. Mieszanie spoiwa z gruntem



4. Wyrównywanie podtorza równiarką

nośności i nie przekroczyło dla wapna 2%, a dla cementu portlandzkiego 4%.

Modernizację nawierzchni rozpoczęto od rozebrania torów oraz usunięcia podkładów. W kolejnym kroku usunięto także podsypkę, która następnie była na przesiewaczu oczyszczona z części organicznych oraz z zanieczyszczeń typu butelki PET, puszki, torby foliowe, itd.

Po usunięciu podsypki okazało się, że podtorze budowane było z wielu różnych materiałów. Obok piasków gliniastych i glin piaszczystych w podtorzu zalegały też duże ilości gliny. W wielu miejscach nasyp kolejowy wykazywał bardzo niską nośność, co powodowało, że prace stabilizacyjne należało prowadzić z bardzo dużą ostrożnością. W zależności od rodzaju gruntu stosowano albo cement, albo wapno. Gdy jednak przyszły intensywne opady deszczu, a tych w lipcu bieżącego roku nie brakowało, do przesuszenia gruntu stosowano najpierw wapno i tak uzdatniony grunt poddawano dalszej obróbce cementem. Do rozsiewania spoiwa stosowano profesjonalny rozsiewacz podczepiony pod traktor o dużej mocy. Po tej operacji kolejnym etapem było przemieszanie gruntu ze spoiwem za pomocą recyklera. Dzienna wydajność stabilizacji wynosiła ok. 350 – 400 mb. Głębokość mieszania w przypadku wapna palonego wynosiła min. 35 cm. Dla gruntów stabilizowanych cementem portlandzkim było to min. 20 cm. W kolej-

nym kroku podtorze zostało wyrównane równiarką oraz zagęszczone walcem wibracyjnym.

Po 7 dniach od przeprowadzenia stabilizacji dokonywano pomiarów nośności podtorza. Wszystkie uzyskane wyniki pokazały, że udało się uzyskać założone parametry, tzn. nośność podtorza wynosiła minimum 80 MPa. Na tak przygotowanym podtorzu ułożono geowłókninę oraz kolejne warstwy ochronne, na których odtworzono nawierzchnię.

### Reakcje gruntu z wapnem palonym

Oddziaływanie spoiwa wapiennego, jakim jest wapno palone, można podzielić na dwa etapy. Pierwszy etap polega na obniżeniu naturalnej wilgotności gruntu do wartości optymalnej określonej w badaniu Proctora.

Przyjmuje się, że każdy procent wapna dodany do gruntu powoduje spadek jego wilgotności o 1÷3%. Spadek zawartości wody w gruncie powoduje, że staje się on mniej plastyczny. Oprócz spadku wilgotności gruntu, dodatkowo dochodzi w nim do wymiany jonowej, w której jony  $Ca^{2+}$  zastępują jony  $Na^{+}$ . Towarzyszy temu zjawisko flokulacji oraz aglomeracji cząstek gruntu, w wyniku czego grunt plastyczny ulega przekształceniu w grunt quasisiaskowy dający się łatwo zagęszczać. Zmiany tekstury gruntu wpływają również na zmianę wskaźnika CBR.

W dłuższym okresie w gruncie zachodzą również inne zjawiska, których finalnym skutkiem jest wzrost wytrzymałości gruntu. Dodanie wapna palonego do gruntu powoduje wzrost jego pH do wartości powyżej 12. W wytworzonym w gruncie środowisku zasadowym znacząco wzrasta rozpuszczalność krzemionki oraz trójtlenku glinu, stąd też mogą one wchodzić w reakcję z jonami wapnia. Wynikiem tego jest tworzenie faz CSH oraz CAH powodujących sklejenie cząstek gruntu i stały wzrost jego wytrzymałości na ściskanie. Badania polowe wskazują, że niektóre kombinacje spoiwo wapienne – grunt mają zdolność do systematycznego przyrostu nośności i wytrzymałości nawet przez 10 lat od momentu wykonania stabilizacji.

### Podsumowanie

Po drogach i autostradach, podtorza kolejowe są kolejnym miejscem, gdzie stabilizacja gruntu staje się ważną technologią podczas modernizacji i rewitalizacji szlaków kolejowych. Zdobywa sobie kolejnych zwolenników, czego przykładem jest modernizacja linii kolejowej 96. Inwestorowi oferuje niskie nakłady finansowe dając mu w zamian gwarancję uzyskania podtorza o nośnościach przekraczających 120 MPa. Warunkiem jest zastosowanie przez wykonawcę odpowiedniego dla danego grun-

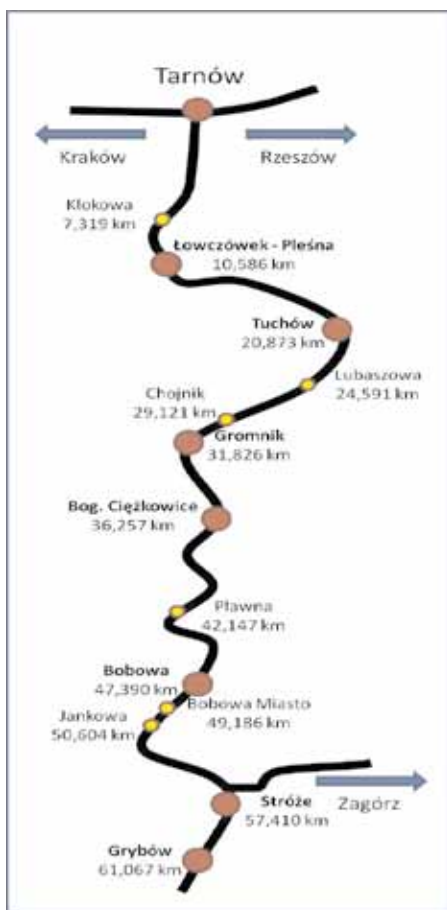


5. Zagęszczanie gruntu walcem wibracyjnym



6. Odcinek stabilizowany wapnem palonym, przed jego ostatecznym wyprofilowaniem

Tab.1: Zakres wykonanej stabilizacji



7. Odcinek modernizowany LK 96 - stacje, przystanki osobowe oraz kilometraż

tu spoiwa, jak również dokładne dozowanie i mieszanie go z gruntem. Natomiast wykonawcy stabilizując grunty profesjonalnym sprzętem mają gwarancję szybkiego postępu prac budowlanych oraz uzyskanie nośności gruntu wymaganych projektem budowlanym.

Wapno palone, dzięki swoim właściwościom doskonale sprawdza się zarówno przy budowie nowych szlaków kolejowych, jak i modernizacji istniejących już podtorzy. Właściwości osuszające oraz reakcja pucolanowa, jakie są udziałem spoiwa wapiennego powodują, że produkt ten jest niezastąpiony we wszelkiego rodzaju pracach ziemnych prowadzonych na podtorzach zbudowanych z gruntów spoistych i średnio spoistych. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] PN-EN ISO 14688 Badania geotechniczne - Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów - Część 1: Oznaczenie i opis
- [2] PN-EN ISO 14688 Badania geotechniczne - Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów - Część 2: Zasady klasyfikowania
- [3] PN-B-02480 Grunty budowlane - Określenia, symbole, podział i opis gruntów
- [4] PN-EN 197-1 Cement - Część 1: Skład, wy-

Lp	Opis robót	Od km	Do km	Dł. mb	
1	Stabilizacja wapnem	4,985	5,013	28	
3		5,038	5,500	462	
4		7,128	7,205	77	
5		7,205	7,284	79	
6		8,232	8,387	155	
7		9,554	10,023	469	
8		10,987	11,011	24	
9		11,032	11,195	163	
10		11,195	11,344	149	
13		11,382	11,482	100	
15		11,485	11,712	227	
16		12,223	12,356	133	
17		12,356	12,417	61	
19		14,133	14,226	93	
20		14,444	14,537	93	
				<b>2 313</b>	
21		Stabilizacja cementem	7,284	7,400	116
23			7,832	8,232	400
24			8,395	9,077	682
25			9,165	9,554	389
27	10,025		10,090	65	
29	10,163		10,987	824	
30	11,344		11,382	38	
31	11,485		11,712	227	
32	11,715		11,928	213	
33	11,942		12,223	281	
34	12,223		12,356	133	
35	12,435		12,689	254	
36	12,717		13,026	309	
38	13,055		13,525	470	
39	13,544		13,669	125	
40	13,681		14,067	386	
42	14,087		14,133	46	
43	14,226		14,444	218	
44	14,552		14,917	365	
46	14,926		15,300	374	
				<b>5 915</b>	
<b>Razem stabilizacja</b>				<b>8 228</b>	

- magania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku
- [5] PN-EN 459-1 Wapno budowlane - Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności
- [5] PN-EN 14227-10 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Specyfikacja - Część 10: Grunty stabilizowane cementem
- [6] PN-EN 14227-11 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Specyfikacja - Część

- 11: Grunty stabilizowane wapnem
- [7] PN-S-96011 Drogi samochodowe - Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych
- [8] PN-S-96012 Drogi samochodowe - Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem
- [9] PN-S-02205 Drogi samochodowe - Roboty ziemne - Wymagania i badania