



O PRZYCZYNACH I SKUTKACH ZMIAN GEOMETRII PODTORZA LINII KOLEJOWEJ

JERZY SOBKOWIAK, *menos.js@wp.pl*
Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska

AGNIESZKA KASSARABA
Geomenos sp.j.

Streszczenie: W artykule zwrócono uwagę na problem niestabilności torów, który wystąpił po przeprowadzonych modernizacjach. Utratę normatywnej geometrii podtorza przy zastosowaniu gruntów rozgęszczalnych do budowy nasypu kolejowego. Historię budowy, modernizację i utrzymanie linii kolejowej można uznać za czynniki subiektywne procesu destabilizacji. Zespół zjawisk i procesów egzogenicznych występujących w obrębie nasypu kolejowego i podłoża gruntowego to czynniki, które można zaliczyć do obiektywnych. Występujące jednocześnie czynniki subiektywne i obiektywne stanowiły przyczynę zaistniałego procesu zniszczenia.

Słowa kluczowe: linia kolejowa, podtorze, podłoże gruntowe, wskaźnik krzywizny uziarnienia, niestateczność torów.

1. Wstęp

Niestabilność torów kolejowych, zdefiniowana dla potrzeb niniejszego artykułu jako: utrata stateczności toru po upływie dostatecznie długiego czasu eksploatacji, może być skutkiem wielu przyczyn. Przyczyn tych można poszukiwać zarówno w sferze czynników egzogenicznych (deszcze, wysadziny, podtopienia, skurcz, pęcznienie czy grawitacja) jak również wśród obiektywnych czy subiektywnych warunków eksploatacji linii kolejowych.

Niedofinansowanie kolei na przestrzeni lat 70. do 90. w sferze utrzymaniowej, sposób prowadzenia modernizacji linii kolejowych w zakresie rozwiązywania doraźnych problemów, skutkują dzisiaj często niestabilnością torów, zwłaszcza na liniach intensywnie obciążonych.

W artykule zwrócono uwagę na problem niestabilności torów kolejowych, który powstał wskutek deformacji korpusu nasypu po przeprowadzonych modernizacjach tych linii kolejowych. Przedstawiono dwa przypadki różnego zakresu zmodernizowania linii kolejowej, które spowodowały ograniczenia eksploatacyjne linii i rozwój procesu awaryjnego.

2. Wymagania stawiane budowlom kolejowej

Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie D.U.1998.151.987 oraz Id-3 Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego wymuszają na projektantach i wykonawcach m.in. zagwarantowanie niezmienności: torów w planie i profilu, wymiarów torowiska odpowiadające danej kategorii linii, kształtu korpusu nasypu bez względu na wpływ klimatu i oddziaływań eksploatacyjnych.

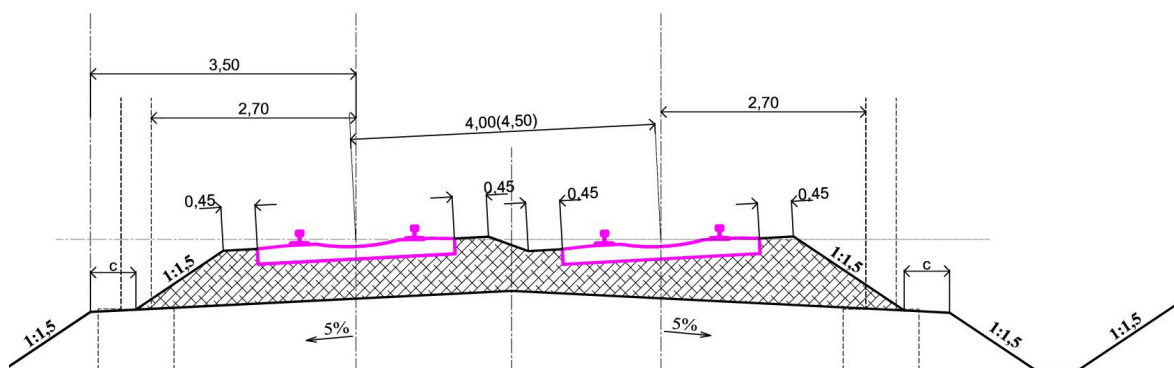
Podtorze linii kolejowych podlega stałym i harmonicznym uderzeniom od taboru kolejowego, wywołujące drgania, które sprzyjają rozgęszczeniu konstrukcji gruntowej przy niskiej wartości wskaźnika jednorodności uziarnienia C_U . Zjawisko emitowania drgań w podtorzu

potęgowane jest złym stanem nawierzchni kolejowej, przez zniszczenie przytwierdzenia szyn do podkładów, istnienie wychłapek i zniszczenie podkładów drewnianych, oraz zbyt dużą szczeliną na styku szyn. Wszystko to sprzyja deformacjom podtorza, które przenoszą się na niestabilność torów kolejowych.

W przeszłości nasypy kolejowe budowane były przede wszystkim z materiałów miejscowych, które obecnie nie zawsze spełniają kryteria wymagane przepisami Id-3, dla materiałów wbudowywanych w nasyp. Przepis stanowi, że materiał gruntowy użyty do budowy nasypu musi mieć wartość wskaźnika jednorodności uziarnienia $C_U \geq 5$ (wskaźnik ten definiowany jest: $C_U = d_{60}/d_{10}$), a dla linii nowo budowanych $C_U > 10$. Kolejnym parametrem, jaki określa przepis jest wskaźnik krzywizny uziarnienia (definiowany, jako: $C = \frac{d_{30}^2}{d_{10} d_{60}}$), jeżeli $C = 1-3$ grunt jest dobrze uziarniony i odporny na drgania.

Warunkiem dobrej zagęszczalności gruntu i jego odporności na drgania występujące podczas eksploatacji, jest spełnienie wymagań dotyczących kształtu krzywej uziarnienia gruntu zastosowanego na konstrukcje nasypu. Odwrotnością zagęszczalności jest rozgęszczalność. Jeżeli do tych zjawisk dodamy niepożądaną zmianę geometrii podtorza to destrukcja nasypów odbywała się w sposób bardzo intensywny.

Trwałe zachowanie geometrii przekroju normalnego toru (rys. 1) poza właściwą konstrukcją podtorza, wymaga zachowania ławy torowiskowej (minimum $c = 0,60$ m), która często traktowana jest bez należytej staranności. W awariach obiektów budowlanych o powstaniu stanu zniszczenia decyduje na ogół jednocześnie zaistnienie szeregu niekorzystnych procesów i zjawisk. Autorzy artykułu skupią się jednak na dwóch elementach, które ich zdaniem w głównej mierze przyczyniły się do powstania stanu awaryjnego mianowicie: zniszczenie (brak) ławy torowiskowej oraz materiał gruntowy wbudowany w nasyp o wartości $C_U < 5$.



Rys. 1. Przekrój normalny toru dla linii magistralnej i pierwszorzędnej dwutorowej w łuku (c – szerokość ławy torowiska)(wg Rozp. Dz.U. nr 151)

3. Przykład I – Awaria linii kolejowej nr 401 Szczecin Dąbie – Świnoujście. Deformacja toru nr 2 na łuku

Linia kolejowa nr 401 Szczecin Dąbie – Świnoujście została zbudowana i oddana do eksploatacji ok. 1900 r. Około roku 1976 została zmodernizowana, jako linia dwutorowa i zelektryfikowana. Nastąpiło wyraźne podwyższenie nasypu oraz zwiększony został promień łuku poziomego, tym samym nastąpiła korekta nasypu w planie jak i profilu. Badany odcinek wybudowano w nasypie o wysokości dochodzącej do 15,0 m.



Rys. 2. Nieobsypane czoła podkładów, brak ławy torowiska

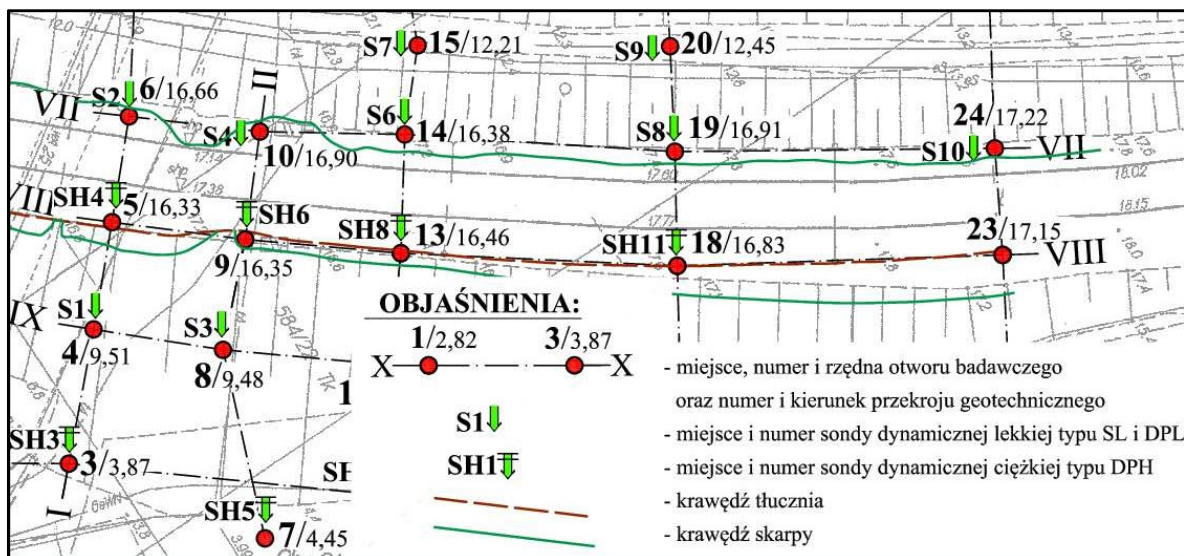


Rys. 3. Nieobsypane czoła podkładów

Geometria torowiska wykazywała wyraźne cechy deformacji, a tor nr 2 (łuk zewnętrzny) cechy niestabilności w planie jak i profilu. Tor nr 2 jest torem bezстыkowym o długości odcinków ok. 100 m, na podkładach struno-betonowych PS-94. Wyraźne odkształcenie toków szynowych zaobserwowano na odcinku ok. 15 m (rys. 2 i 3), a brak właściwego obsypiania czoła podkładów jest jednym z przyczyn opisywanej destrukcji linii kolejowej.

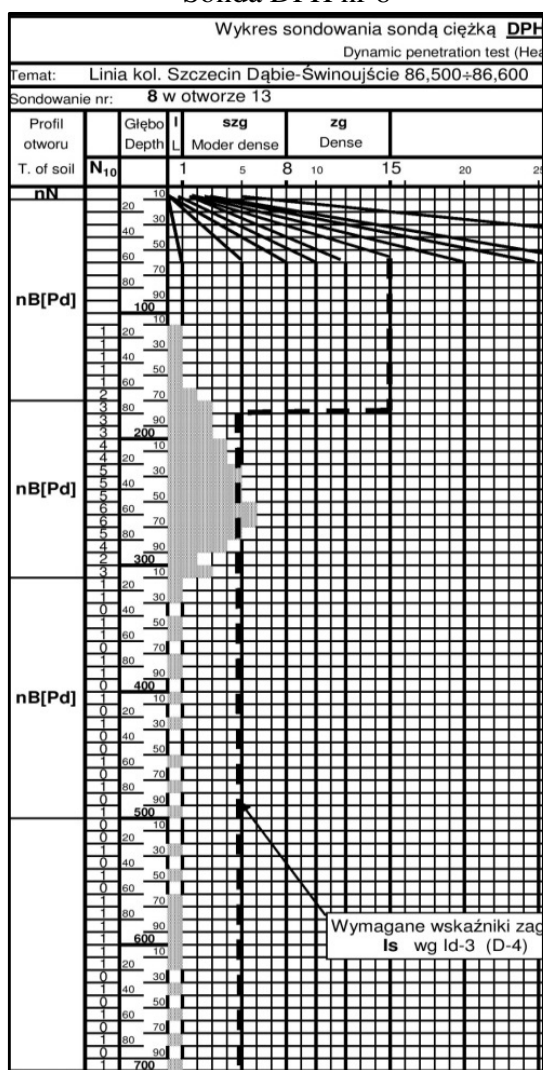
Dla oceny stanu technicznego korpusu nasypu oraz dla właściwego zaprojektowania naprawy wykonano badania geotechniczne, których wyniki potwierdziły złą jakość nasypu i stan grożący awarią linii na tym odcinku. Badania geotechniczne przeprowadzono w obrębie korpusu nasypu jak i podłoża gruntowego.

Na podstawie wyników badań geotechnicznych (rys. 4) stwierdzono głębokie rozluźnienie nasypu zwłaszcza w strefie całkowitego zniszczenia ławy torowiskowej sięgające nawet 11,0 m poniżej spągu podsypki tłuczniowej (rys. 5). Po zapoznaniu się z historią budowy i warunkami eksploatacji linii kolejowej nr 401, ustalono przyczyny niestabilności toru nr 2. Zastosowanie toru bezстыkowego wymaga spełnienia warunku odpowiedniej szerokości przyzmy podsypki tłuczniowej za czołem podkładu. Niezależnie od kategorii linii szerokość ta powinna wynosić co najmniej 0,45 m od czoła podkładów (rys. 1). Na badanym odcinku ława torowiskowa została zniszczona poprzez niekontrolowany ruch pieszcy (dzikie przejścia). Zabrakło ławy i nastąpiło odsłonięcie podkładów (rys. 3 i 6).

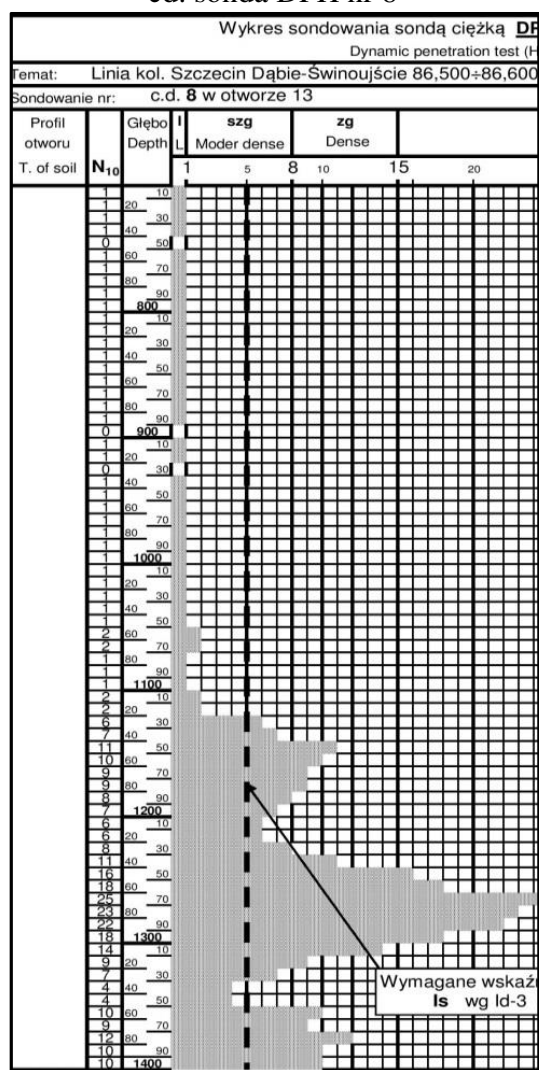


Rys. 4. Fragment planu sytuacyjno-wysokościowego rozmieszczenia miejsc badawczych

Sonda DPH nr 8

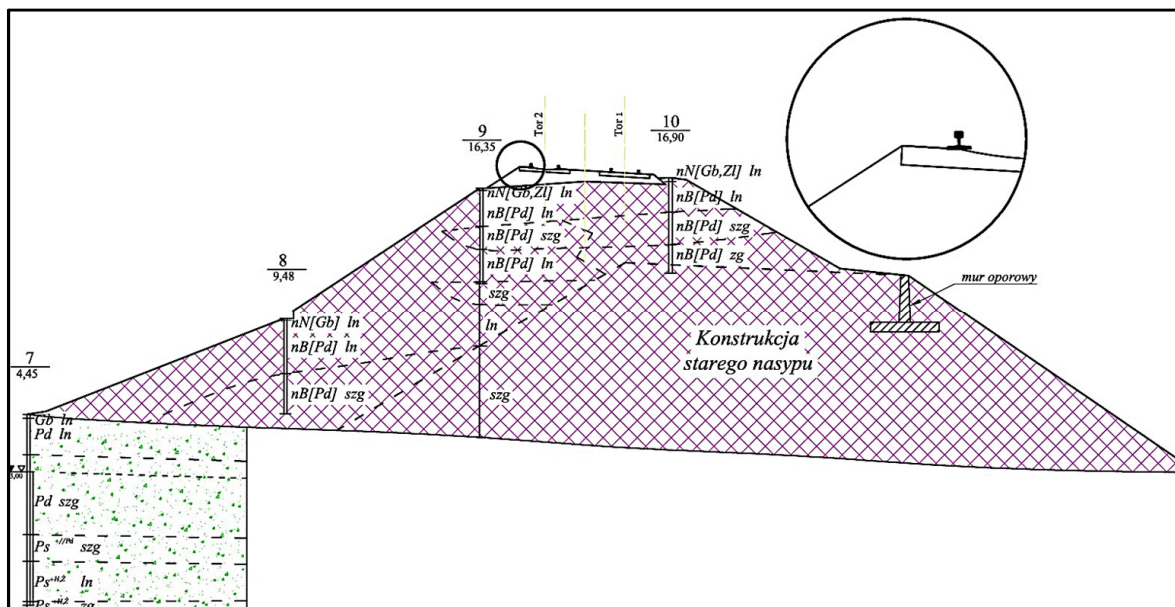


cd. sonda DPH nr 8



Rys. 5. Wykres sondowania sondą dynamiczną ciężką typu DPH

Ponadto ustalono, iż korpus nasypu na danym odcinku zbudowany jest przede wszystkim z piasków drobnych (rys. 6) pochodzenia wydmyowego, charakteryzujących się niską wartością wskaźnika jednorodności uziarnienia C_U . Dla gruntów wbudowanych w korpus nasypu $C_U = 1,7-2,3$.



Rys. 6. Przekrój geotechniczny II – II (objaśnienia w tekście)

Skrócony opis rozwoju procesów destrukcyjnych

Mechanizm procesu deformacji toru nr 2 linii kolejowej Szczecin Dąbie – Świnoujście można przedstawić następująco: nasyp zbudowany z gruntów trudno zagęszczalnych już podczas budowy prawdopodobnie nie osiągnął wymaganych dzisiejszymi przepisami wskaźników zagęszczenia. Jednorodność uziarnienia oraz brak możliwości zagęszczenia nasypu spowodowało, że ulegał on wewnątrz korpusu oraz w strefie przypowierzchniowej skarp znacznemu rozluźnieniu na skutek powierzchniowego przemarzania i odprężenia, spływu wód opadowych oraz niekontrolowanego ruchu pieszego na skarpach. Czynniki te oraz prace (remonty bieżące – wymiana podkładów) spowodowały, że lokalnie od strony toru nr 2 została zniszczona ława torowiskowa. Brak ławy torowiskowej (rys. 2) spowodowało osypywanie się tłucznia, co skutkowało lokalnym osiadaniem toru nr 2 w tym miejscu.

Oslabienie toru w tym miejscu (na łuku zewnętrznym) uruchomiło dodatkowy czynnik destrukcji linii kolejowej, a mianowicie dynamiczne uderzenia taboru przejeżdżającego po nierównościach toru przy jednocześnie działających siłach odśrodkowych w kierunku na zewnątrz, czyli w kierunku skarpy. Permanentnie trwające i harmonicznie powtarzające się procesy niszczące, spowodowały odsłonięcie czoła podkładów w tej strefie, co zwiększyło niestateczność torów w planie oraz zwiększyło dynamiczne uderzenia. Stan torów (odsłonięcie czoła podkładów) mimo stale prowadzonych zabiegów naprawczych nie spełniał wymogów technicznych, ponieważ brak ławy torowiskowej uniemożliwiał stabilizowanie podsypki tłuczniowej (rys. 2 i 3). Kolejnym czynnikiem, który przyspieszał destrukcję było zastosowanie toru bezstykowego. Tor bezstykowy jest stabilny, gdy ma wymaganą przepisami szerokość ławy torowiskowej i starannie zasypane czoła podkładów. Problem niestateczności toru powstał tylko w miejscu, gdzie zabrakło ławy torowiskowej, a co zatem idzie brakowało odpowiedniego obsypania czoła podkładów.

Skrócony opis naprawy



Rys. 7. Układanie geokraty przestrzennej



Rys. 8. Gwoździe wkręcane typu „Chance”

Do naprawy skarpy wykorzystano geokratę przestrzenną oraz technologię gwoździ wkręcanych typu „Chance”. Technologię tę zastosowano w Polsce do stabilizowania skarp budowli komunikacyjnych po raz pierwszy.

Efekty naprawy widać przy porównaniu rys. 9. i rys. 10.



Rys. 9. Skarpa przed remontem



Rys. 10. Skarpa po remoncie

4. Przykład II – Awaria linii kolejowej Tczew – Kostrzyn.

Deformacja toru nr 1 na prostej

Ogólny opis badanego odcinka

Linia kolejowa Tczew – Kostrzyn wybudowana została w roku 1857. Od roku 1864 jest linią dwutorową, która w badanym miejscu znajduje się w nasypie o wysokości do ok. 4,0 m.

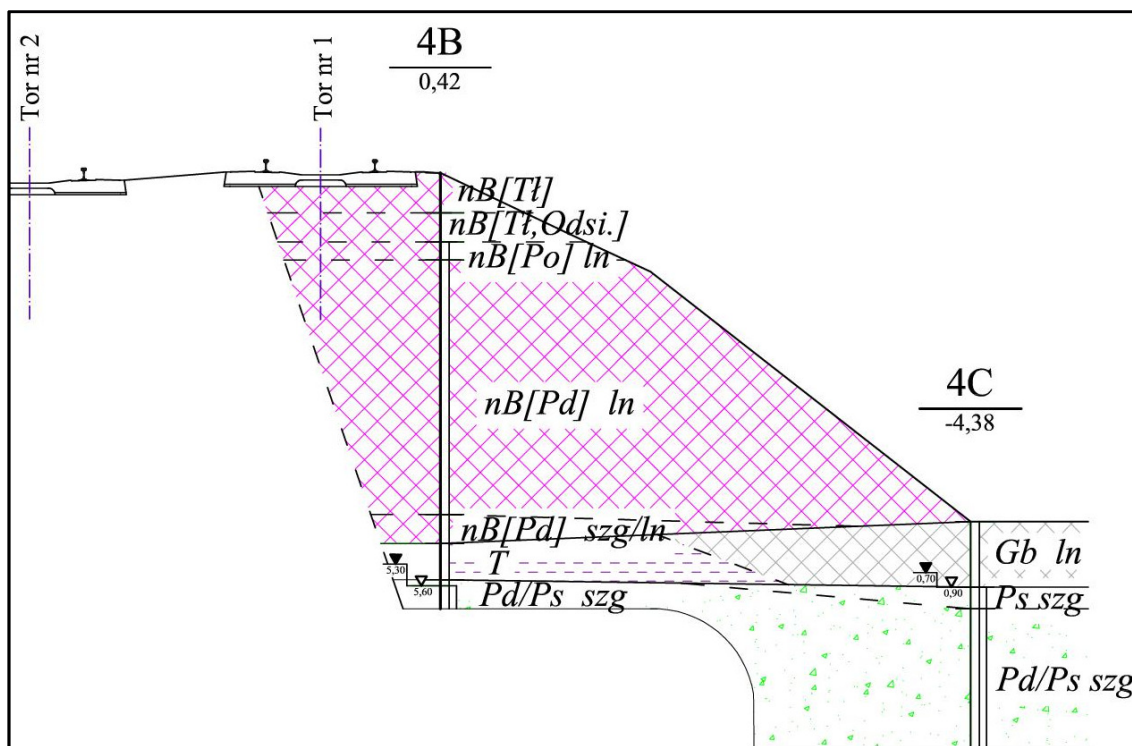
Posadowiona jest na zboczu o niewielkim nachyleniu w kierunku nasypu. Ten stan geomorfologiczny powoduje, że wody opadowe z wysoczyzny spływają w kierunku nasypu od strony toru nr 1 i tam okresowo stagnują.

W roku 1983 przeprowadzono prace modernizacyjne w trakcie których wymieniono tor na nowy tor klasyczny (przęsłowy). Dwa lata później ten sam tor zamieniono na bezстыkowy i dokonano regulacji torów w palnie jak i profilu. Regulacja osi torów polegała na ich rozsunięciu. Zabieg ten spowodował miejscowo brak odpowiedniej szerokości ławy torowiska, właściwego oparcia torów na podsypce tłuczniowej, oraz brak obsypania czoła podkładów.

Ustalenie przyczyn powstania deformacji

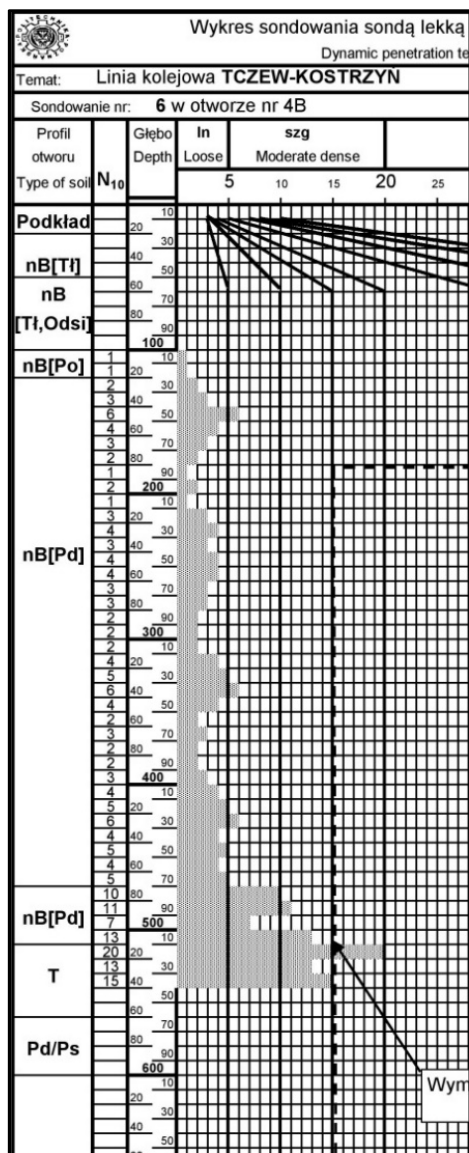
W oparciu o przeprowadzone badania geotechniczne ustalono warunki gruntowo-wodne podtorza i podłoża gruntowego.

Podobnie jak w przypadku pierwszym, korpus nasypu linii kolejowej Tczew – Kostrzyn zbudowany jest w przewadze z piasków pylistych, drobnych, średnich, których wartość wskaźnika jednorodności uziarnienia C_U wynosi dla gruntów poniżej warstwy podsypki i warstwy filtracyjnej od $C_U = 2,0-3,1$, czyli jak już wspomniano wcześniej jest gruntem łatwo ulegającym rozgęszczeniu. Na podstawie sondowań ustalono, iż stan zagęszczenia w obrębie korpusu nasypu (w strefie jego osi) wynosi do głębokości 3,0 m $I_D = 0,55-0,50$ głębiej $I_D = 0,38-0,40$. Dla tych samych głębokości stan zagęszczenia w strefie skarpy wynosi $I_D < 0,20$ (rys. 12), a więc stan zagęszczenia dla którego PN-81/B-03020 nie podaje parametrów wytrzymałościowych, czyli rozluźnienie poza normowe (maksymalne rozluźnienie).



Rys. 11. Przekrój geotechniczny

Również w tym przypadku nastąpiła wymiana torów na bezстыkowe, a następnie regulacja osi torów. W celu zelektryfikowania linii rozsunięto osie torów z 3,50 m do 4,00 m. Zabieg ten spowodował miejscowo brak ławy torowiskowej, właściwego oparcia torów na podsypce oraz brak zasypiania za czołem podkładów (rys. 13).



Rys. 12. Wykres sondowania sondą dynamiczną lekką typu SL



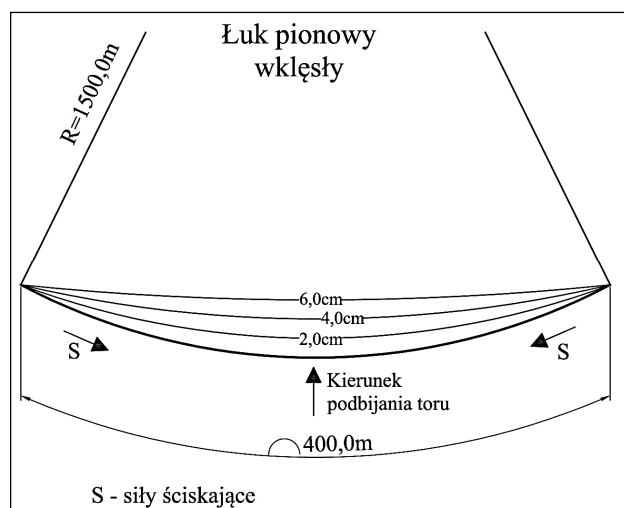
Rys. 13. Brak odpowiedniej szerokości ławy torowiska oraz brak zasypania za czołem podkładów

Opis rozwoju procesów destrukcyjnych

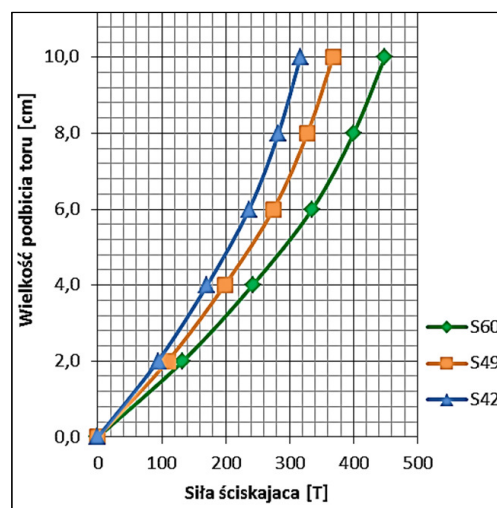
Mechanizm deformacji toru nr 1 na linii kolejowej Tczew – Kostrzyn można przedstawić następująco: w miejscu deformacji toru rozluźnienie w strefie skarpy było największe, czyli najmniejsza wartość stopnia zagęszczenia ($I_D < 0,20$) w stosunku do zagęszczenia w pozostałych badanych przekrojach. Można więc przyjąć, że deformacja toru powstała w miejscu gdzie skarpa była najbardziej rozluźniona, zatem rozluźnienie to mogło być jednym z elementów decydującym o niestateczności toru. Rozluźnienie powstało na skutek okresowego podtapiania podnóża skarpy przy braku sprawnego odwodnienia wzdłuż nasypu oraz wzmożonego oddziaływania dynamicznego toru, który miał niewłaściwe oparcie na podtorzu. Brak właściwego oparcia podkładów na podtorzu został spowodowany koniecznością rozsunięcia osi torów przy modernizacji linii, przechodzeniu z toru klasycznego na bezстыkowy. Rozsuniecie odbyło się bez przebudowy geometrii nasypu. W wyniku tego rozsunięcia nie było właściwego obsypiania za czołem podkładów oraz odpowiednio szerokiej ławy torowiskowej. Nieodpowiednia geometria przekroju poprzecznego spowodowała niestateczność skarpy. Skutkiem tego było osiadanie toru i powstawanie wichrowatości.

W ramach poprawnego utrzymania stanu toru prowadzono jego podbijanie. Ponieważ tor na tym odcinku, w profilu podłużnym jest w łuku pionowym wklęsłym to podbijanie było tylko chwilowym i bardzo doraźnym zabiegiem. Ponieważ tor był regularnie podbijany stracił on projektowaną niweletę. Permanentne podbijanie toru skutkowało skróceniem długości toru, a więc wywołaniem naprężeń wewnętrznych ściskających. Naprężenia te przy braku odpowiedniej zasyпки czoła podkładów skutkowały wyboczeniem toru.

Schemat mechanizmu powstania wyboczenia toru przedstawia poniższy wykres (rys. 14). Obliczenia powstałych sił ściskających przeprowadzono dla promienia łuku pionowego $R = 1500$ m, długości odcinka kołowego 400 m, wielkości podbijania 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 cm, alternatywnie dla szyn S60, S49, S42. Wartość sił ściskających, skutkujących powstaniem wyboczenia toru pokazuje wykres – rys. 15.



Rys. 14. Łuk pionowy, wklęsły



Rys. 15. Wykres sił ściskających powstałych przy podbijaniu toru – dla szyn: S60, S49, S42

5. Wnioski

Niestateczność toru, zarówno w przypadku I jak i II jest wynikiem sumowania się procesów egzogenicznych występujących w obrębie nasypu kolejowego i podłoża gruntowego oraz historii budowy, modernizacji i utrzymania linii. Zjawiska i procesy występujące w obrębie

tych budowli mają charakter obiektywny, natomiast modernizacja i roboty utrzymaniowe są subiektywnym elementem powstałej niestateczności torów.

Na podstawie przytoczonych przykładów możemy uogólnić wnioski:

1. nasypy zbudowane z gruntów o niskiej wartości wskaźnika jednorodności uziarnienia C_u są bardzo podatne na destrukcyjne działanie czynników egzogenicznych oraz eksploatacyjnych,
2. niestateczność torów wybudowanych na nasypach nie spełniających wymagań co do jakości gruntów wbudowanych w ten nasyp jest istotnym czynnikiem decydującym o utracie trwałości geometrii podtorza,
3. czynnikiem decydującym o niestabilności torów mogą być również niewłaściwie prowadzone prace utrzymaniowe, wynikające niekiedy z rutyny działania (schematu) przy utrzymaniu torów i podtorza.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. D.U.1998.151.987.
2. Id-3 Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego, Warszawa, 2009 r.
3. Badania geotechniczne dla ustalenia przyczyn niestabilności nasypu w rejonie przejścia pod torami w km 86,580 linii kolejowej nr 401 Szczecin Dąbie – Świnoujście na odcinku km 86,500–86,600 w rejonie stacji Międzyzdroje. GEOMENOS, Poznań 2010.
4. Sobkowiak J. Badania geotechniczne podtorza i podłoża gruntowego w związku z deformacją toru nr 1 linii kolejowej Tczew-Kostrzyn od km 303,760 do km 303,900. Politechnika Poznańska, Poznań 2007.

ON CAUSES AND EFFECTS OF CHANGES IN GEOMETRY OF RAILWAY TRACK BED

Abstract: This article concentrates on problem of instabilities that occurred after modernization of railway tracks. Loss of normative geometry of railway bed with usage of compactible soil in construction of railway embankment. History of construction, modernization and maintenance can be considered subjective factors of destabilization process. Exogenous events and processes occurring within railway embankment and ground base are factors that can be considered objective factors. Objective and subjective factors occurring simultaneously were the cause of destruction process.

Keywords: railway lines, track bed, subsoil, railway track instability.