

Lucie Lambert¹
Albert Le Dizes¹
Hubert Giraud¹
Alain Robinet¹
Vincent Talfumière¹

40 LAT DOŚWIADCZENIA W BUDOWIE LINII DUŻYCH PRĘDKOŚCI. PLANOWANIE TRAS, PODŁOŻE I HYDROTECHNIKA: PRAKTYKA, WYTYCZNE I ROZWÓJ

Streszczenie

Bazując na 40-letnim doświadczeniu w zakresie prób, badań, projektowania, robót ziemnych, utrzymania i eksploatacji sieci kolejowej dużej prędkości, niniejszy artykuł przedstawia zdobytą wiedzę oraz najważniejsze etapy rozwoju w odniesieniu do planowania przebiegu tras, prac ziemnych, torowiska oraz systemów odwodnieniowych.

Słowa kluczowe: *Planowanie, LGV (Linia Dużej Prędkości), odwodnienia, torowisko, doświadczenie*

1. Sieć LGV we Francji

Uruchomienie pierwszej linii LGV Paris Sud Est (częściowe w 1981 roku i całkowite w 1983 roku), z prędkością przejazdową 270 km/h okazało się prawdziwym sukcesem technicznym i handlowym, stając się kamieniem milowym w budowie kolei dużej prędkości we Francji. Do dnia dzisiejszego, we Francji powstało siedem linii dużej prędkości; ostatnia, LGV Rhin-Rhône zostanie otwarta 11/12/2011. Obecnie, Francuskie Koleje Państwowe (SNCF) korzystają z ogromnego doświadczenia w dziedzinie kolei dużej szybkości. Spółka jest jedną

¹ S.N.C.F. (Société Nationale des Chemin de Fer - Francuskie Koleje Państwowe), Dyrekcja Inżynieryjna, Wydział ds. Badań nad Linią

z głównych sił napędowych rozwoju technicznego kraju, szczególnie w dziedzinie inżynierii lądowej i wodnej, przede wszystkim jeśli chodzi o projektowanie, roboty ziemne, budowę torowisk oraz wyposażenie hydrotechniczne linii kolejowych dużej prędkości. Począwszy od linii Paris Sud Est, SNCF korzystało z doświadczenia inżynierów dróg i mostów, którzy byli autorami pierwszych rozwiązań technicznych, zastosowanych do budowy nowej infrastruktury kolejowej.



Rys. 1. Mapa eksploatowanej oraz będącej w budowie sieci LGV we Francji w 2010 roku

2. Specyfika linii dużej prędkości we Francji: trasowanie, struktura podłoża i wyposażenie hydrauliczne

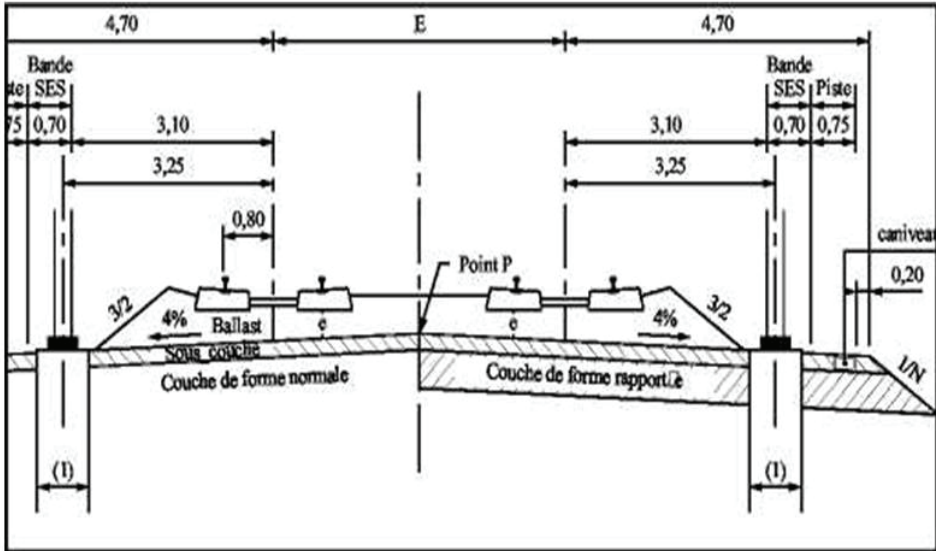
Normy projektowe dla linii dużej prędkości oraz ogólna charakterystyka jej wyposażenia, wynikają z licznych prób, przeprowadzonych w latach 70. przy prędkościach od 250 km do 320 km/h.

Dzięki wytrzymałości na działanie sił pionowych i poziomych, które rosną wraz z prędkością pociągu, tok szynowy oraz tor mogą udźwignąć, bez stałych odkształceń, położony na nich ciężar pociągu. Wyraźniej mniejsza wytrzymałość poprzeczna toru jest dla dużej prędkości parametrem ograniczającym, stąd wymagana jest duża doskonałość geometryczna toru.

Sieć tradycyjnej kolei, której przebieg we Francji ostatecznie ustalony został w drugiej połowie XIX wieku, została przystosowana bez większych inwestycji do prędkości rzędu 200 km/h. W tamtym czasie inżynierowie dróg i mostów, z powodu niskiej mocy lokomotyw parowych konstruowali linie kolejowe w dolinach, aby uniknąć nachylenia toru przekraczającego 10 mm/m. Z tego powodu trasy były wydłużane, a łuki, nawet te o małym promieniu, nie stanowiły ograniczenia dla prędkości. Z czasem, dzięki wzrostowi energii kinetycznej pociągów, ich duża prędkość pozwoliła na zwiększenie nachylenia toru do 35 mm/m oraz na skrócenie przebiegu linii, zmniejszając znacznie koszt wykonania infrastruktury. Optymalizacja przebiegu linii miała również miejsce w odniesieniu do prowadzonych prac ziemnych.

Pierwsze badania dotyczące Linii Dużej Prędkości Paris Sud Est, łączącej Paryż i Lyon, rozpoczęły się w roku 1967 w nowo powstałym Dziale ds. Badań Francuskich Kolei Państwowych. Normy dotyczące prac ziemnych oraz systemów odwodnieniowych, zatwierdzone przez ministra Coquand w roku 1970, opierały się normach opracowanych dla autostrad przez Laboratorium Dróg i Mostów oraz SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes - Wydział Badań Technicznych nad Drogami i Autostradami). Jednakże, dla uzyskania doskonałej geometrii toru, niezbędnej dla osiągnięcia dużej prędkości pociągu oraz, aby w maksymalnym stopniu wyeliminować osiadanie podtorzy, jakość podłoża, rodzaj i sposób zagęszczenia gruntu, zostały poddane surowszym unormowaniom niż w drogownictwie. W ten sposób w wymaganiach znalazło się np. wykluczenie przebiegu linii przez

strefy bagniste, a w strefach wilgotnych podstawę nasypów należy wykonywać z materiałów drenujących.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny torowiska LGV - Wyciąg z dokumentacji projektowej LGV Lyon - Valence

Struktura podtorza kolejowego, wykonanego przy budowie pierwszej linii dużej prędkości, wzorowana była na podtorzu tradycyjnej kolei. Składało się ono z warstwy materiałów ziarnistych. Jej zadaniem było równomierne rozłożenie i przenoszenie obciążeń oraz ochrona podsypki przed ewentualnym zawilgoceniem w przypadku podniesienia się poziomu wody gruntowej, w przypadku niedostatecznego drenażu podłoża.

Pod podsypką zastosowano warstwę ochronną o grubości 0,30 m zbudowaną z materiałów ziarnistych 0/31,5 mm. Kolejna warstwa, podłoże ulepszone miało grubość, dla materiałów o słabych właściwościach inżynierskich - 0,55 m, dla materiałów o najlepszych właściwościach - 0,20 m oraz 0,70 m, gdy linia przebiegała w przekopie. W porównaniu do kolei tradycyjnej, warstwa podsypki została zwiększona z 0,25 m do 0,35 m, w celu amortyzowania drgań oraz dla lepszej ochrony warstwy pod podsypką przed trwałymi odkształceniami. Również prace ziemne i odwodnienie muszą spełniać wysokie wymagania, również w zakresie konserwacji, aby zagwarantować utrzymanie ruchu oraz bezpieczeństwo transportowanych towarów

i osób. Podstawowa różnica w rozwiązaniach systemu odwodnień stosowanych dla sieci LGV w stosunku do sieci tradycyjnej kolei, polega na istnieniu systemu zbierającego wodę, który równocześnie spełnia trzy funkcje: zbierania, transportowania i odprowadzania wód opadowych, a także usuwania wód gruntowych (drenaż struktury podłoża) oraz zamknięcie warstwy wodonośnej w wykopach zwanych „mokrymi”.

Na linii dużej prędkości składają się m.in. długie przekopy (aż do 4 km), niekiedy o znacznym nachyleniu (aż do 35 mm/m). Takie ukształtowanie powoduje znaczne natężenie przepływu wody na dnie przekopu, gdzie płynie ona z dużą prędkością. Z powodu tej prędkości przepływu, w przypadku zalania toru przez wodę, nawierzchnia kolejowa ulega erozji. Główne ograniczenie, które należy uwzględnić w czasie projektowania linii, polega więc na jak najlepszym ograniczeniu natężenia przepływu wody na dnie przekopu. Przekopy o znacznej długości mogą również posiadać niewielki spadek (2 mm/m) i czasem, mimo, że zaleca się, aby tego unikać, mogą znajdować się w strefie wilgotnej bez sprawnie działającego ujścia wody. W takich przypadkach urządzenia drenujące tracą swoją skuteczność, a w związku z tym mogą się pojawić problemy ze stabilnością toru. Inne podstawowe zalecenia dotyczące projektowania linii polegają na unikaniu nasypów niższych niż 1,5 m w strefie zalewowej oraz projektowaniu wystarczającego dostępu dla obsługi technicznej. W miarę rozwoju Linii Dużej Prędkości, stosowano wszystkie powyższe zalecenia.

3. Doświadczenie w linii dużej prędkości: zakazy, dobre praktyki oraz rozwój

3.1. Projektowanie

Od czasu zaprojektowania pierwszej trasy Linii Dużej Prędkości Paris Sud Est, kryteria sposobu projektowania nawierzchni kolejowej uległy zmianie. Prędkość koncepcyjna 300 km/h dla pierwszej linii LGV wzrosła do wartości 350-360 km/h dla projektów powstałych w pierwszych latach XXI wieku.

Projektowana prędkość dla nowej infrastruktury KDP wynika z trzech decydujących czynników:

- obciążenia osi projektowanego taboru w ruchu (P),

- niewystarczającej przechyłki spowodowanej przez przyspieszenie poprzeczne na łukach (I),
- jakości geometrycznej toru którą określa się statystycznie za pomocą współczynnika $U=2NT+D$, gdzie NT oznacza średnie pochylenie poprzeczne, a D budowanie toru.

Projektowana prędkość jest nie tyle podyktowana komfortem pasażerów, co troską o bezpieczeństwo w ramach ekonomicznej eksploatacji. Liczne próby i badania, prowadzone od początku istnienia Kolei Dużych Prędkości, doprowadziły do lepszej znajomości zależności, która łączy te trzy parametry przy obliczaniu wypadkowej siły poprzecznej, którą jadący tabor nadaje torowi. Możemy więc dzisiaj zaproponować jako cel do realizacji, niewystarczającą przechyłkę, połączoną z prędkością linii. Tytułem informacji, poziom wielkości promieni trasy w funkcji prędkości, przedstawiony jest w poniższej tablicy.

Tab. 1. Parametry linii w funkcji prędkości

Prędkość (km/h)*	Poprzeczne pochylenie torów (mm)	Promień łuku (m)
300	85	4000
325	70	5000
350	60	6000
360	55	6500

* Tylko ruch pasażerski

Wartości te odpowiadają prawdopodobnej sile poprzecznej, mniejszej niż 40 kN na łuku, przy obciążeniu osi w wysokości 17 ton i jakości toru, odpowiadającej ekonomicznemu standardowi dla jadącego taboru, porównywalnego do Pociągu Dużej Prędkości.

Zmiana tych parametrów (P, I, U) pozwala wyobrazić sobie układ V.I.R. (prędkość, niewystarczalność, promień) różny, w zależności od rodzaju jadącego taboru oraz planowanego poziomu konserwacji. Aktualne linie konstruowane są więc w oparciu o reguły zależności tych parametrów (P, I, U).

Podane powyżej wartości promienia łuku są wartościami minimalnymi i nie zawierają w sobie rezerwy na poprawę w przyszłości parametrów nawierzchni kolejowej, z wyjątkiem struktury toru, mogącej udźwignąć wyższą siłę poprzeczną, taką jak na przykład tor na płycie.

Generalnie rzecz biorąc, elementy geometryczne nowej linii (promień łuków, krzywe przejściowe,...) muszą przewidywać potencjalny rozwój

prędkości, gdyż późniejsze zmiany są prawie niemożliwe do zrealizowania, szczególnie w przypadku linii będącej już w eksploatacji.

Zwiększenie prędkości podróźnej pociągu, szczególnie w przypadku zespołu wagonów kolei dużej prędkości, niesie ze sobą wzrost oporu czołowego oraz zwiększa efekt podmuchu. Dla zachowania komfortu podróźowania i bezpieczeństwa, ale również aby uwzględnić nowe formy eksploatacji (na przykład łączenie LGV i frachtu), konieczne stało się ponowne rozpatrzenie pewnych parametrów, takich jak:

- rozmieszczenie w stosunku do toru pasów dla pieszych,
- rozstaw torów,
- wolna wysokość pod mostami.

Aerodynamika i bezpieczeństwo wpływają oczywiście na konstrukcje podziemne, których przebieg podlega ograniczeniem projektowym (jedno lub dwu rurowe). Niezależnie od rozwoju prędkości, kluczowego parametru LGV, powstawanie projektów nowych linii opiera się na uzyskanym doświadczeniu w zakresie projektowania. W trosce o ujednoczenie badań oraz automatyzację kontroli geometrycznych, w przypadku linii dużej prędkości, należy unikać pewnych rozmieszczeń trasy, takich jak punkty pochylenia oraz pewne przejścia łuk - łuk, gdyż mogą one być niezgodne z osadzeniem toru, zalecanym w projekcie. W trosce o jakość geometryczną posadowienia torów:

- unika się, jeśli tylko to możliwe, nakładania połączeń klotoidalnych i cylindrycznych, które powodowałyby trudności w wyrównaniu poziomów oraz zwiększenie potrzeb konserwacji,
- ogranicza się ilość elementów geometrycznych o kształcie cylindrycznym na kilometr oraz stosuje się minimalne odstępstwa pomiędzy poruszającymi się pociągami; takie ustawienie przyczynia się również do zwiększenia komfortu podróźnych.

Aby zapewnić podróźowanie z dużą prędkością, stosuje się wyłącznie rozjazdy z ruchomym dziobem kierownicy osadzone na betonowym podłożu. Wykluczone jest zwijanie tych urządzeń jeśli posiadają ruchomy dziób kierownicy lub jeśli pozwalają na przejeżdżanie z dużą prędkością przez tor główny, w celu ograniczenia działania zewnętrznej siły poprzecznej na górne iglice toru głównego oraz zmniejszenia wysiłku przy obsłudze. W przypadku projektowania nowych linii, bardziej wydajnych, wymaga się więc z jednej strony uwzględnienia pewnego zapasu w geometrii toru, a z drugiej strony, wzięcia pod uwagę problemów z konserwacją linii.

3.2. Roboty i budowlę ziemne

Znajomość zachowania, zmiany oraz poznanie procesu starzenia się budowli ziemnych sieci LGV, pozwoliła na rozwój nowych metod projektowania oraz określiła zakres badań, które należy przeprowadzić przed sporządzeniem projektu.

W przypadku dużych budowli ziemnych, już w fazie koncepcyjnej, dokonuje się specjalnych badań oraz rozpoznania stabilności podłoża, z uwzględnieniem kwestii geologicznych, hydro-geologicznych oraz geotechnicznych po to, aby jak najlepiej poznać kontekst geologiczny oraz zdefiniować najodpowiedniejsze planowanie konstrukcyjne (geometria, etapy wykonania, nadzór powykonawczy, itd.), pozwalające na zmniejszenie ryzyka późniejszych niekorzystnych zmian tych budowli.

Poniżej przedstawione są trzy przykłady budowli, które uległy uszkodzeniu w trakcie eksploatacji linii, co doskonale pokazuje konsekwencje niedostatecznie zgłębionej wiedzy w fazie przedprojektowej:

- na linii LGV Méditerranée w przypadku dwóch wysokich wykopów, wykonanych w trudnym geotechnicznie terenie, konieczne były duże prace wzmacniające skarpy (600 000 m³ i 400 000 m³), które na skutek osunięcia się, spowodowały zmiany geometryczne toru,
- po uruchomieniu linii LGV Est Européenne, w dwóch wysokich wykopach wystąpiły szczytkowe ruchy podłoża oraz stwierdzono, że niektóre nasypy zlokalizowane są na powierzchni poślizgowej istniejącej w podłożu nośnym,
- na linii LGV Atlantique, zbudowano dwa wysokie nasypy o strukturze blaszkowej (głina i piasek); wniknięcie wody do tej struktury w czasie budowy spowodowało późniejsze osuwanie się gruntu w pierwszych latach eksploatacji linii oraz osiadanie, które trwa do dzisiaj.

Doświadczenia linii LGV Paris Sud Est, która została poddana znacznej ilości prac zabezpieczających na skalistych zboczach, pokazały konieczność wykonania zabezpieczenia tych zboczy, już na w trakcie jej eksploatacji. Wykonane na początku linii LGV Paris Sud Est wnęki do zatrzymywania kamieni, umieszczone u podnóża nasypów, okazały się niewystarczające i ucierpiały z powodu braku dostępu, który uniemożliwiałby ich systematyczną konserwację. Od tego czasu, dostęp do systemów zabezpieczenia nawierzchni kolejowej został ulepszony

oraz już w fazie projektowej uwzględnia się przeprowadzenie prac zapobiegających negatywnym zjawiskom, co ma prowadzić do ograniczenia do minimum późniejszej konserwacji (osiatkowanie). Problem zapadlisk pojawił się w sposób przypadkowy, lecz gwałtowny, po wykolejeniu się pociągu na linii LGV Nord Europe z powodu zapadliska pod nawierzchnią torową. Po tym doświadczeniu, z wykorzystaniem rozpoznania geofizycznego i geologicznego, w fazie przedprojektowej dokonuje się oceny ryzyka wystąpienia zapadlisk. W zależności od wyników rozpoznania, stosuje się zabiegi wstrzykiwania oraz wypełniania pustek w podłożu. Jako, że wystąpienie osiadań oraz zapadlisk związane jest z intensywnością opadów, po znacznym przekroczeniu współczynnika pluwiometrycznego, linie LGV Est i LGV Nord na bieżąco kontroluje się z helikoptera.



Rysunek 3. Przekop z zabezpieczeniami przed spadającymi kamieniami -LGV Rhin Rhône

Rosnąca wraz z eksploatacją i konserwacją znajomość funkcjonowania sieci LGV, jak również ograniczenia ekonomiczne i rozwój technik konstrukcyjnych, pozwoliły na znaczny rozwój w zakresie konstruowania budowli ziemnych. Przy realizacji linii LGV Paris Sud Est, podczas budowy nasypów ziemnych jedynie sporadycznie wykonywa-

no stabilizację gruntów. Począwszy od linii LGV Atlantique, znacznie rozwinięto stabilizację gruntów. Chodziło głównie o stabilizację wapnem gleb piaskowo-gliniastych oraz glin piaszczystych. Na linii LGV Nord stosowano przy budowie wysokich nasypów stabilizację gruntów wapnem i/lub cementem. W przypadku linii LGV Européenne prowadzono stabilizację spoiwem hydraulicznym, aby podstawa nasypu znajdująca się w strefie zalewowej lub wilgotnej była mało wrażliwa na działanie wody.

Jeśli chodzi o ograniczenia związane ze szczególnymi przypadkami gruntów niespoistych oraz gruntów wysadzinowych, nowe sposoby analizy technicznej wpłynęły na zmianę wytycznych projektowych, a w szczególności: zdefiniowanie dopuszczalnych osiadań. Obecnie, dla nasypów na gruncie ściśliwym, dozwolone jest maksymalne osiadanie 0,10 m w ciągu dwudziestu pięciu lat, przy prędkości 1 cm/rok. W przypadku budowli skonstruowanych na podłożu wysadzinowym, należy osiadania ograniczyć do niewielkich obszarów, co umożliwi długotrwałość infrastruktury.

W odniesieniu do geometrii zbocza w wykopie, okazało się, że do jego utrzymania rzadko używane są skarpowania. W rezultacie, zgodnie z aktualnie obowiązującymi parametrami technicznymi, w przypadku wykopów o głębokości większej niż 12 metrów, nie jest obowiązkowe wykonanie skarpy dla celów utrzymania zbocza. Jednakże obowiązek wykonania skarpy ze swobodnym dostępem do niej, występuje u podnóża. Od początku nowych linii kolejowych, dział inżynierii Francuskich Kolei Państwowych szczególną uwagę przywiązywał do bloków technicznych (BT), stanowiących przejście pomiędzy budowlą inżynierską a budowlą ziemną, w celu uniknięcia zbyt gwałtownego przejścia, jeśli chodzi o twardość podłoża, pomiędzy budowlą sztywną a budowlą elastyczną. Stopniowo, w trakcie realizacji kolejnych nowych linii, bloki techniczne podlegały zmianom, zarówno w kwestii ich ogólnej geometrii, jak i rodzaju składających się na nie materiałów, co spowodowało potrzebę ich rozwoju. Obecnie, stosuje się mur podporowy, odpowiadający dawnemu murowi z pospółki niezageszczonej; mur pośredni, odpowiadający murowi z pospółki oraz wybrane materiały. W przypadku tych ostatnich materiałów, wyznaczono minimalny współczynnik nośności, jak również maksymalną średnicę (D) elementów, uzupełnioną o stosunek elementów (20 mm do D). Z drugiej strony, pewne kategorie GTR (A3, A4) materiałów są za-

kazane, podobnie jak materiały mogące zawierać elementy ulegające korozji z betonem. W przypadku muru podporowego, obecnie można stosować materiały z pospólki wzmocnionej cementem lub materiał wzmocniony spoiwem, posiadający wytrzymałość na rozciąganie (Rt) określany po minimum 90 dniach oraz odpowiedni moduł sprężystości przy rozciąganiu (E).

W czasie dziesięcioleci, które nastąpiły od skonstruowania linii LGV Paris Sud Est, specyfikacje techniczne, dotyczące stosowanych materiałów zostały zmienione, aby uwzględnić ulepszenia w produkcji kruszywa, a w szczególności ujednoczenie ich cech geometrycznych, mechanicznych oraz ograniczeń finansowych i środowiskowych, które stały się niemożliwe do pominięcia przy projektach infrastruktury liniowej. Z tego względu, cechy materiałów ziarnistych, takich jak do zastosowania w Strefie Zalewowej (Z.I.) czy Strefie Wilgotnej (Z.H.) zostały złagodzone, zarówno w kwestii ziarnistości, jak i odporności (LA+MDE). Ponadto, dozwolone jest obecnie wykorzystywanie materiałów wzbogaconych wapnem, pod pewnymi warunkami, dotyczącymi ich charakterystyki po wzbogaceniu, z zastrzeżeniem, że budowa ziemna nie powstaje na podłożu nośnym ściśliwym. W przypadku materiałów drenujących, zmiany wprowadzone do wytycznych polegały na zwiększeniu limitu twardości granulatów. Wreszcie, obecnie obowiązujące wytyczne techniczne oraz niedawne badania nad nasypami wzmocnionymi metalowymi zbrojeniami, a w szczególności nad uwzględnieniem aspektu dynamicznego, doprowadziły do dopuszczenia tego typu wzmocnionych budowli do projektu nasypów.

3.3. Struktury podłoża

Koncepcja kolejowych struktur podłoża związana jest z rozwojem kolei dużej szybkości we Francji. W istocie, struktury podłoża nie były przedmiotem specjalnego projektowania w czasie powstawania tradycyjnej sieci. Trzeba jednak zwrócić uwagę na szczególną troskę zajmujących się siecią inżynierów o zdrenowanie nawierzchni kolejowej. Pierwsze modelowanie struktur podłoża miało miejsce w latach 70. w czasie przygotowywania linii LGV Paris Sud Est w oparciu o modele drogowe, dostosowywane do specyfiki kolejowej. Modele te powstały w oparciu o doświadczenie wyniesione z napraw nawierzchni kolejowych częściowo zniszczonych w trakcie II Wojny Światowej.

Wynikające z tego modelowania wyznaczanie parametrów podłoża opiera się głównie na charakterystyce geotechnicznej oraz na stanie wodnym podłoża. Struktury podłoża w dwóch pierwszych liniach dużej prędkości zostały zaprojektowane zgodnie z tym modelowaniem. Badania, prowadzone przed budową trzeciej linii dużej prędkości, pozwoliły z kolei zoptymalizować koncepcję struktury podłoża. Linia ta znajduje się na północy Francji, w regionie ubogim w materiały dobrej jakości. Problemy zaopatrzeniowe skłoniły Francuskie Koleje Państwowe do analizy możliwości zmniejszenia grubości warstwy ochronnej, dzięki lepszej jakości użytych materiałów z kamieniołomów. Zwrócono się wówczas do LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - Centralne Laboratorium ds. Dróg i Mostów) o wykonanie analizy, która pokazała, że warstwa ochronna ma niewielki wpływ na siły i odkształcenia toru. Okazało się również, że warstwa ochronna jest potrzebna bardziej krótkoterminowo, w czasie realizacji budowli, niż podczas życia budowli.



Rysunek 4. Podłoże stabilizowane wapnem, pokryta warstwą ochronną - linia LGV Nord

W celu zwiększenia przystosowania „zredukowanej” warstwy ochronnej do ruchu technologicznego w trakcie budowy, warstwę podłoża zastabilizowano wapnem. To projektowanie odpowiada ak-

tualnym wytycznym dotyczącym struktur podłoża. Właśnie tego typu podejście projektowe zostało zastosowane dla LN4 i LN5. Ostatnią oddaną do użytku linią dużej prędkości jest linia Est Européenne. Konstrukcja linii pozwoliła na wprowadzenie pewnych innowacji: budowy bitumicznej (3 km) oraz toru bez podsypki (1,7 km). Ponadto ostatnie badania pokazały wykonalność oraz zasady wymiarowania warstw z materiałów stabilizowanych.



Rysunek 5. Stabilizacja podłoża wapnem - linia LGV Rhin Rhône

Podsumowując, należy stwierdzić, iż po pierwszej optymalizacji jakości materiałów ziarnistych, związanej z lepszą znajomością ich właściwości, aktualnie dokonują się nowe optymalizacje w zakresie materiałów stabilizowanych w warstwie pod podsypką (pospółka bitumiczna) lub w warstwie podłoża (materiały wzbogacone cementem).

3.4. Odwodnienia i drenaż

Doświadczenie, zdobyte podczas opracowywania wyposażenia odwodnieniowego oraz drenującego znajduje swoje odzwierciedlenie w dwóch kwestiach, istotnych ze względu na ich wpływ na koszt obsługi technicznej i trwałości budowli. Pierwszą jest wylew wód opado-

wych z sieci zbierającej, od szczytu przekopu, wzdłuż infrastruktury, aż do ich odpływu w dół, uzupełniony przez analizę wypadków w budowlach ziemnych, spowodowanych hydrauliką. Druga kwestia dotyczy problemu wyboru urządzeń odwadniających oraz trudności w ich utrzymaniu, a w szczególności kolektorów drenujących.

Od roku 1984 na linii LGV Paris Sud Est dochodzi do uszkodzeń, w czasie gwałtownych burz, jak na przykład na 360,500 kilometrze, gdzie przelane fosy wymyły zewnętrzną część przyzmy podsypkowej i wywołały erozję ławy torowiska, powodując deformację toru. Inne przypadki wymycia podsypki stwierdzono w czasie burz letnich, których częstotliwość przekraczała średnią dziesięcioletnią, jak w wykopie w Bois Clair na 319,469 kilometrze w dniu 5 lipca 1993 r., z powodu niewystarczającej pojemności rury na skrzyżowaniu pod torowiskiem lub jak w St Clement, od 76 do 81 kilometra, w dniu 26 sierpnia 1996 r., gdzie pojemność rury na skrzyżowaniu odwodnień okazała się niewystarczająca do odprowadzenia opadów, które zalały sąsiedni przekop i zniszczyły 2200 m podtorza. Uszkodzenie podtorza w Sarry, w dniu 12 września 2000 roku miało negatywne skutki dla ruchu kolejowego linii LGV, stanowiło również punkt wyjścia dla ekspertyzy hydrotechnicznej i hydrologicznej dla całej sieci LGV i zaowocowało, z jednej strony opracowaniem planu robót naprawczych, z drugiej zaś nadzorowaniem całej linii LGV Paris Sud Est, za pomocą radaru pogodowego. Uwzględnienie ryzyka wymycia podsypki, nazwane „ryzykiem Sarry”, stanowi obecnie przedmiot szczególnych zaleceń w dokumentacji projektowej.

Jeśli chodzi o nowsze linie LGV, takie jak LGV Atlantique, Rhône Alpes i Nord, główne awarie hydrotechniczne powodują osuwanie lub erozję zboczy, tak jak na nasypie w Courgeon na 167,330 kilometrze linii LGV Atlantique, w czasie zdarzenia występującego raz na sto lat, które miało miejsce w dniu 30 lipca 1994 roku lub na nasypie w Sablons linii LGV Atlantique na 165,500 kilometrze, gdzie to samo wydarzenie spowodowało osunięcie jednej czwartej stożka sąsiedniego mostu kolejowego poprzez wylanie odpływów, zablokowanych przez umieszczoną w fosie rurę o średnicy 300 mm. Uszkodzenie linii LGV Nord na przejeździe przez Autostradę A1 na 10,600 kilometrze, spowodowany był również wylewem z fosy odwadniającej bezpośrednio na torowisko, gdyż prędkości płynącej wody nie pozwalały jej zmienić kierunku spływu.

Niemal jedyną przyczyną tych problemów jest brak urządzeń rozpraszających energię lub nieopracowanie budowli zbierających wodę, takich jak kanały odpływowe. Przeszkody, gwałtowne redukcje sekcji hydraulicznych lub zmiany kierunków przepływu powodują nadmierne prędkości lub nadmierne wzniesienia linii wody i stanowią przyczynę wylewów i obserwowanych uszkodzeń. Panowanie nad wodami opadowymi od szczytu wykopu aż do ich utylizacji w dole infrastruktury osiąga się poprzez dobre zaprojektowanie kanałów odpływowych, studzienek zbiorczych oraz elementów rozpraszających energię dla każdej zmiany spadku, kierunku lub sekcji hydraulicznej. Bogata analiza przypadków uszkodzeń linii LGV pokazała, że uszkodzenia te bardzo rzadko miały wpływ na ruch kolejowy.

Problemy z funkcjonowaniem LGV mają głównie miejsce w czasie anomalii pogodowych, przekraczających parametry przyjęte przy projektowaniu. Od linii LGV Méditerranée, parametry wyposażenia hydraulicznego nie są już określone za pomocą prostego prawa tarcia (Manning-Strickler), ale przez obliczenie max. poziomu wody, z uwzględnieniem warunków brzegowych oraz utraty ciężaru. Kanały odpływowe wody projektowane są w oparciu o prawa progowe i wyposażone są w ściany boczne oraz w studzienkę zbierającą wodę, a także w elementy rozpraszające energię. W przypadku zboczy o znacznym spadku i wysokości, obowiązkowe jest wykonanie spadów wcześniej, bez czekania na dół skarpy. Na spady te składa się podsypka, która tłumi turbulencje, rozpraszając w ten sposób energię kinetyczną płynącej wody. Obliczenia w latach 70 na podstawie średnich dziesięcioletnich opadów, były więc oparte na metodach niedostosowanych do słabej przepuszczalności terenu. Trzeba było poczekać do roku 1982 i do zaleceń SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes - Wydział Badań Technicznych nad Drogami i Autostradami), aby na sieci dróg i autostrad zaczęła obowiązywać formuła racjonalna, skutkująca uzyskaniem bezpieczniejszych wartości opadowych. W trakcie uruchamiania badań nad linią LGV Méditerranée, szczególne cechy hydrologiczne i topograficzne regionu śródziemnomorskiego, w świetle katastrofalnych powodzi w Nîmes (1989) oraz Vaison-la-Romaine (1993), które miały miejsce po okresie, trwającej kilkadziesiąt lat, względnej suszy we Francji, skłoniły Francuskie Koleje Państwowe do powołania czterech ekspertów w celu zrewidowania metod oceny natężenia opadów oraz kryteriów wymiarowania wyposażenia hy-

drotechnicznego dla danego projektu. Główne wnioski doprowadziły do wybrania jako punkt odniesienia, w przypadku drenażu, średniej opadów z okresu stu lat, zamiast dziesięciu lat, zalecanych przez SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes - Wydział Badań Technicznych nad Drogami i Autostradami) oraz do przyjęcia współczynnika opadów wyższego niż 0,7, z wyjątkiem północnej części projektu, do zastosowania metody racjonalnej, bezpośrednio na podstawie parametrów hydrologicznych Montana, dotyczących średnich opadów z okresu stu lat, do obliczeń mających zastosowanie do małych dopływów do 10 lub 20 km². Rozpoczęto testy, zwane testami wrażliwości natężeń opadów 1,8 Q, dla wyposażenia znajdującego się w strefach wrażliwych, w celu potwierdzenia braku występowania efektu progów, mającego wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego lub terenów nadbrzeżnych. Mimo, że średnia drenażu dla linii LGV Est, przyjęta w wytycznych projektowych, wyniosła Q10, testy wrażliwości zostały uznane za konieczne. Poważne ograniczenia ekonomiczne, które pojawiły się przy projektowaniu linii LGV Nord, spowodowały rozważanie możliwości umieszczenia kolektorów drenujących, w celu optymalizacji odpływu do ziemi, pozwalając na znaczne oszczędności na robotach ziemnych. Doświadczenie pokazało, że urządzenia są obciążone wysokim ryzykiem zamulenia przez powłoki i konglomeraty szpatu wapiennego. Zjawiska te występują w rejonach wykopów wilgotnych, bez żadnego związku z właściwościami chemicznymi otaczających materiałów. Mogą pojawić się już w pierwszym roku życia budowli, a w przypadku linii LGV Paris Sud Est osiągnęły znaczne rozmiary. Działania odmulające (odmulanie wodą pod bardzo wysokim ciśnieniem) są sztuczne i kosztowne, gdyż wymagają przyprowadzenia cysterny, zazwyczaj przez pociąg roboczy, a więc konieczne jest zatrzymanie ruchu kolejowego.

Ponadto, kolektory drenujące są mało skuteczne przy intensywnych opadach deszczu i odprowadzaniu wód opadowych, które wpływają wówczas na nawierzchnię kolejową, mogąc powodować erozję i rozpad zbocza na styku wykop/nasyp. Tak więc, począwszy od linii LGV Méditerranée, zdecydowano o używaniu tych urządzeń tylko w ostateczności, gdy natężenie przepływu nie pozwala na zastosowanie fosy odkrytej lub fosy betonowej z otworem drenażowym.



Rysunek 6. Kanał odpływowy z progami rozpraszającymi energię spływającej wody - linia LGV Méditerranée



Rysunek 7. Przygotowana fosa z otworami drenażowymi; złożone szpatu wapiennego w kolektorze odpływowym - LGV Nord

Z drugiej strony, w przypadkach nie do pominięcia, szerokość szczelin w tych kolektorach została zwiększona do 15 mm, aby ograniczyć występowanie tego zjawiska przy średnicy do 600 mm, gdyż wytrzymałość mechaniczna przy większych średnicach była niewystarczająca. Pozostają nadal do znalezienia rozwiązania, mające na celu rozszerzenie wachlarza urządzeń drenujących wzdłużnych, szczególnie przy dużym natężeniu przepływu i głębokim drenażu (większym niż 1,5 m). Wykorzystanie geosyntetycznych kompleksów drenujących oraz wzbogacenie podłoża w pierwotnym środowisku, powinno prowadzić do rozwiązań bardziej wydajnych i bardziej zaangażowanych w politykę ochrony środowiska.

4. Wnioski

Obecnie, po 40 latach doświadczeń w projektowaniu, pracach, utrzymaniu oraz nadzorem nad liniami LGV, jeśli chodzi o projektowanie, roboty ziemne oraz hydrotechnicznych, pierwsza rada polega na lepszym przestrzeganiu wytycznych projektowych, gdyż większość problemów, stwierdzonych w czasie eksploatacji, związana jest z odstępstwami od nich, czego konsekwencje w dłuższym okresie czasu są już znane.

Nachylenie zbocza niedostosowane do występujących gruntów, brak nachylenia na szczytach zbocza, „niecofnięcie” nadmiernego nasypu, brak zamknięcia budowy w zimie, zbyt krótkie oczekiwanie na zagęszczenie podłoża ściśliwego, brak ziemi uprawnej na budowlach, w tym na podłożach wzmacniających, brak ochrony zbocza, kanały odpływowe położone bezpośrednio na ziemi i źle zwymiarowane, odprowadzenie wody w górę linii, brak połączenia pomiędzy odpływami powodują trudności w utrzymaniu lub w nadzorze oraz w eksploatacji budowli. W najgorszych przypadkach, te złe praktyki są źródłem poważnych prac, które należy wykonać w bardzo trudnych warunkach lub niemożliwych do wykonania, powodując konieczność bardzo trudnego nadzoru oraz konsekwencje finansowe. Linie dużej prędkości wymagają szczególnej troski przy powstawaniu budowli. Zastosowanie nowej techniki musi opierać się również na wystarczającym doświadczeniu, w celu uniknięcia problemów z funkcjonowaniem, które mają poważne konsekwencje dla kosztów utrzymania, eksploatacji,

i w niektórych przypadkach wymagałyby nieproporcjonalnych nakładów finansowych i technicznych. Od około czterdziestu lat, można było zaobserwować, że stale ulepszenia techniki stabilizowania gruntów, podnoszenia jakości materiałów ziarnistych, jak również analiza zdobytych doświadczeń, pozwalają na rozwój w zakresie projektowania robót ziemnych, przeznaczonych dla infrastruktury nowej linii dużej szybkości. Jednakże, trzeba pamiętać, że każda zmiana w wytycznych projektowych, wymaga uprzedniej, wystarczająco długiej obserwacji zachowania budowli po wpływie ruchu kolejowego a zwiększenie prędkości jazdy, zmieniające dynamiczne siły zewnętrzne, działające na budowlę, musi być koniecznie uwzględnione w tejże analizie. Wymagania dotyczące wyników, powodują ciągłą konieczność przeprowadzania prób i badań jakościowych w tym zakresie, a przede wszystkim wielką zdolność projektanta do wybiegania myślą w przyszłość.

Bibliografia

- [1] Linia dużej prędkości Paris Sud-Est: analiza trasy oraz projekt budowy inżynierii lądowej i wodnej - A.PRUD'HOMME, zastępca dyrektora ds. wyposażenia, G.VERRIER, Szef departamentu ds Nowych Linii i Budowli Ziemnych, E. CHAMBRON, Szef departamentu ds. Budowli Inżynierskich - Roczniki Instytutu Technicznego Budownictwa i Robót Publicznych, Nr 366, listopad 1978.
- [2] GTR – NFP 11300 – Klasyfikacja materiałów - Przewodnik Techniczny, Wykonywanie drogowych nasypów i warstw formujących, SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes - Wydział ds. Badań Technicznych nad Drogami i Autostradami) 2000.
- [3] Odprowadzanie wody - SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes - Wydział Badań Technicznych nad Drogami i Autostradami), 1982

40 YEARS EXPERIENCES IN HIGH SPEED RAILWAY LINES BUILDING, ROUTES PLANNING, SUBGRADE AND HYDROTECHNICS, PRACTICE, REQUIREMENTS AND DEVELOPMENT

Summary

The 40 years experiences in research, building works and operation of high-speed rail network have been presented in the paper. Routes planning process, earthworks, tracks, equipment have been considered.

Keywords: *planning, high speed railway line, drainage, track, experience*