

Libor IŽVOLT
Jerzy PAWLICKI

METODY WZMOCNIENIA PODTORZA DRÓG KOLEJOWYCH ŽSR I ČD

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki doświadczeń z nowym systemem wzmocnień podtorza geokompozytami, przeprowadzonych na eksperymentalnych odcinkach kolei słowackich i czeskich.

METHODS OF REINFORCING SUBGRADE OF ŽSR AND ČD RAILWAY LINES

Summary. In the paper, there are analysed some of the technological applications of increasing the railway subgrade bearing capacity, based on railway ground stabilisation, respectively on the filling of reinforced geometric materials up into railway ground. The mentioned methods were used in the particular rescued localities of corridor No. 1 in the Czech Railways (ČD) and in the broad-gauge line of the Slovak Railways (ŽSR) or in some common sample localities of both of Railways.

1. WPROWADZENIE

Warunki współpracy nawierzchni i podtorza można najogólniej przedstawić następująco [8]:

- nawierzchnia powinna przekazywać na podtorze tylko takie obciążenia, które nie spowodują nadmiernych trwałych odkształceń gruntów,
- podtorze gruntowe przez cały czas użytkowania drogi nie powinno powodować nadmiernych trwałych odkształceń nawierzchni.

Podczas gdy konstrukcja nawierzchni kolejowej jest stosunkowo dobrze przystosowana do przejmowania naprężeń wywołanych zwiększonymi naciskami osiowymi oraz

dużymi prędkościami pociągów, podtorze (z wielu powodów powszechnie znanych specjalistom) wymaga stosowania różnorodnych metod i środków wzmocnienia dobranych do lokalnych warunków geologiczno - inżynierskich [2, 3, 5, 6].

W piśmiennictwie polskim zagadnienia praktycznego stosowania metod wzmocnienia górnej strefy podtorza są omówione m.in. w [7, 8]. Opisane w [4] wyniki badań laboratoryjnych i terenowych prototypowego w warunkach PKP systemu GEOWEB, zastosowanego w celu zapewnienia nośności podłoża rozjazdów UIC 60, skłoniły autorów do przybliżenia doświadczeń kolei słowackich i czeskich z wdrażaniem współczesnych metod powierzchniowego wzmocnienia podtorza na stacjach oraz na odcinkach szlakowych ŽSR i ČD.

2. WZMOCNIENIE PODTORZA

Obok sprawdzonych w praktyce fizykomechanicznych metod wzmocnienia podtorza gruntowego, jak np. zagęszczanie, wymiana, konsolidacja i odwodnienie gruntu, użycie technologii termicznych, zabezpieczenie warstwą ochronną oraz zbrojenie gruntu, stosuje się wzmocnienie fizykochemiczne podłoża gruntowego poprzez:

- stabilizację warstwy powierzchniowej (cementem, wapnem, upłynnionym asfaltem, żywicami, żużlami, popiołami itp.),
- zastosowanie pali wapiennych i zastrzyków (cementacja, silikatyżacja, bitumizacja, wzmocnienie polimerami),
- elektroosmotyczne odwodnienie i elektroforetyczne zeskalenie,
- wykorzystanie środków powierzchniowo czynnych, w tym środków nadających cząsteczkom gruntu właściwości hydrofobowe - modyfikatorów - oraz komponentów prowadzących do uzyskania trwałych wiązań - stabilizatorów.

W okresie ostatnich kilkunastu lat stosuje się na skalę techniczną wiele środków powierzchniowo czynnych (obejmują tylko grunty spoiste), lecz dwa z nich: amerykański „Reynolds Road Pacer” - RRP-235 oraz dwuskładnikowy środek szwajcarskiej firmy Consolid AG z Heerburga są najbardziej rozpowszechnione [10]. Stabilizacja gruntów systemem CONSOLID polega na równoczesnym stosowaniu dwu składników:

Consolid 444 oraz dobranego spośród stabilizatorów Conservex, Solidry lub Consil. Consolid 444 jest środkiem działającym hydrofobowo eliminującym wodę błonkową i kapilarną; Conservex utrwalając grunt zapewnia jego nieprzepuszczalność. Wzrost wytrzymałości gruntu uzyskuje się dodatkowo przez zastosowanie stabilizatorów pod nazwą firmową Solidry i Consil, co potwierdzają wyniki badań laboratoryjnych i terenowych przedstawione w dalszej części artykułu.

Podwyższenie nośności konstrukcji podłoża podkładów można osiągnąć przez ułożenie na przygotowanym podtorzu następujących materiałów syntetycznych:

- geotekstyle tkane (wzmocnione) - charakteryzują się wytrzymałością na rozciąganie i przepuszczalnością; produkuje się je pod licznymi nazwami komercyjnymi, np. Geolon (produkt firmy Nokolon, Holandia), Stablenka (Huesker, Niemcy) i inne,
- geotekstyle kompozytowe (nie tkane) - spełniają funkcje wzmacniające i odseparowujące od siebie warstwy podłoża podkładów; znane nazwy to m.in. Polyfelt PEG (Austria), Comtrac (Huesker, Niemcy) i inne,
- geokratki - w odróżnieniu od wymienionych wyżej materiałów wymagają znacznie mniejszego zużycia surowca, są też bardziej wytrzymałe na rozciąganie; popularne nazwy - Tensar (Neue Fasertechnik, Niemcy), Nocogrid (Nocolon, Holandia), Fortrac (Huesker, Niemcy) i inne [9],
- geokomórka - jest to przestrzenny system geosyntetyczny zbudowany z polietylenu o dużej gęstości; istotą systemu jest ograniczenie swobody poprzecznych przemieszczeń ziaren podsypki zamkniętych w komórkach. „Mała odkształcalność wzdłużna materiału (...) oraz jego elastyczność sprawiają, że po rozłożeniu sekcji na warstwie geotekstylu i wypełnieniu pustych przestrzeni plastra dobrze zagęszczalnym materiałem sypkim, uzyskujemy przestrzenną strukturę wzmocnienia (...) podścielającego warstwę tłucznia” [4]. Komórkowy system ograniczający GEOWEB produkuje firma PRESTO (USA) w dwóch odmianach komórek (244 mm × 203 mm lub 488 mm × 406 mm) posiadających cztery rodzaje wysokości ścianek (75 mm, 100 mm, 150 mm i 200 mm), których dobór uzależniony jest od właściwości geotechnicznych podłoża.

3. PRZYKŁADY WZMOCNIENIA GRUNTÓW PODTORZA DWUSKŁADNIKOWYM ŚRODKIEM POWIERZCHNIOWO CZYNNYM „CONSOLID” NA KOLEJACH CZESKICH I SŁOWACKICH

Po raz pierwszy system CONSOLID (nazwa handlowa) zastosowano w celu wzmocnienia gruntu w podtorzu odcinka Bystřice nad Olší szlaku kolejowego Žilina - Dětmarovice w 1992 roku. Górną strefę podtorza stanowiła związana lepiszczem ilastym glina pylasta o znacznym stopniu uplastycznienia, niestabilna, silnie nawodniona nieprzepuszczalna i przemarzalna. Dwie warstwy gruntu o grubości 0,15 m każda poddano procesowi ulepszania preparatami Consolid 444 i Solidry. Warstwę górną uzupełniono piaskiem o 20%. Rezultaty statycznych obciążeń próbnych odnowionego odcinka podtorza przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Statyczne próby obciążeń podtorza na stacji kolejowej Bystřice nad Olší

Data wdrożenia systemu CONSOLID 26.06.1992 - 02.07.1992	Stan pierwotny: podłoże o różnej nośności, zakładany maksymalny moduł $E_0 = 15 \text{ MPa}$	
Próba laboratoryjna przyrostu wskaźnika CBR	CBR - podłoże nieulepszone 14,5 %	CBR - podłoże ulepszone 34,2 %
Statyczna próba obciążenia, wrzesień 1992 r.	km 303,400	21,8 MPa
Statyczna próba obciążenia, lipiec 1993 r.	km 303,520	40,3 MPa
	km 303,450	61,6 MPa
	km 303,430	86,0 MPa
Statyczna próba obciążenia, październik 1995 r.	km 303,420	30,8 MPa
	km 303,480	79,0 MPa

Zródło: [3]

Podobne zabiegi stabilizujące podtorze zastosowano we wrześniu 1993 na linii kolejowej Rajhrad - Modřice. Nienośną 20-centymetrową warstwę gliny piaszczystej z lepiszczem ilastym zmieszano z kombinacją spoiw Consolid 444 + Solidry (por. tabl. 2).

Tablica 2

Przyrost nośności podtorza na odcinku linii kolejowej

Stan pierwotny		Stan po 4 dniach		Stan po 10 miesią- cach eksploatacji		Stan po 3 latach eksploatacji	
km	E_0 [MPa]	km	E_0 [MPa]	km	E_0 [MPa]	km	E_0 [MPa]
136,260	14	136,280	59	136,290	113	136,020	111
135,630	9	136,000	61	136,020	99	136,290	60,8

Zródło: [3]

Opisaną powyżej technologię wzmocnienia niedostatecznie nośnego podtorza gruntowego wdrożono we wrześniu 1993 r. na szlakowym odcinku Břeclav - Podivín (tabl. 3).

Tablica 3

Zmiany nośności torowiska linii kolejowej Břeclav - Podivín w torze nr 1

Kilometraż [km]	Stan pierwotny	Stan po 2 miesiącach eksploatacji
	E_0	E_0
93,000	55 MPa	83 MPa
93,250	41 MPa	91 MPa

Źródło: [3]

Kolejny przykład chemicznej stabilizacji gruntu podtorza dotyczy odcinka linii Český Porod - Úvahy (wrzesień 1994 r.), na którym przeciętna nośność wynosiła $E_0 = 10,6$ MPa (8-13 MPa). Po zastosowaniu środka stabilizującego Consolid otrzymano następujące wartości: km 379,200 - 380,200 - średnia wartość $E_0 = 94$ MPa (45-168 MPa), km 382,300 - 382,500 - średnia wartość $E_0 = 111$ MPa (51-153 MPa).

Oprócz wymienionych fragmentów linii kolejowych, na których wdrożono technologię stabilizacji podtorza metodą chemiczną, koleje czeskie i słowackie testują przydatność systemu CONSOLID na torowych odcinkach doświadczalnych w różnych warunkach geologiczno - inżynierskich. Bazowy odcinek ŽSR utworzono w sierpniu 1995 r. na szlaku Budkovce - Trebišov w km 34,927 - 35,368. Podtorze gruntowe zbudowane jest z ilów o konsystencji zróżnicowanej: od stanu płynnego poprzez plastyczny aż do stanu zwałowego. Nośność warstwy wierzchniej przed zastosowaniem jej wzmocnienia wynosiła $E_0 = 12 - 30$ MPa (tabl. 4).

Tablica 4

Zestawienie wyników pomiaru nośności

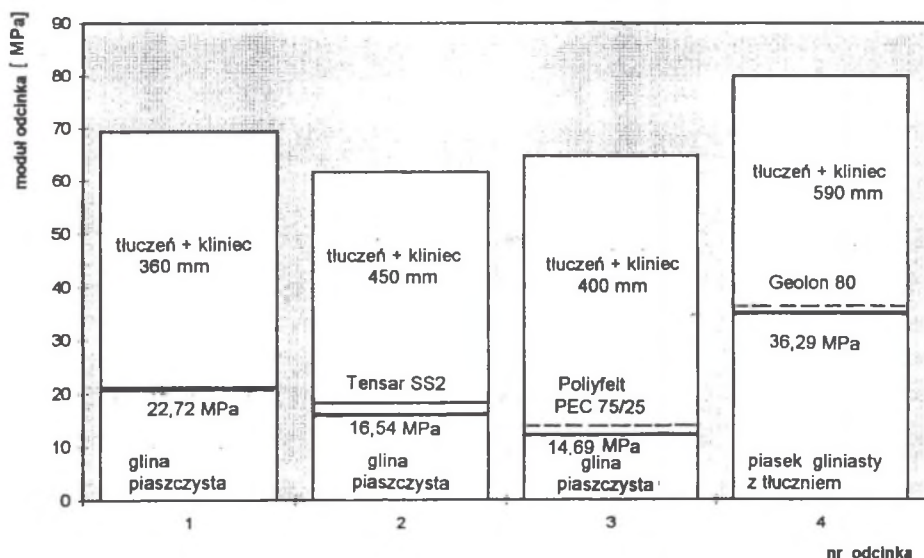
Podtorze	W stanie pierwotnym	Stabilizowane			
		Mechanicznie	Chemicznie		
			Po upływie 18 godzin	Po 2 tygodniach	Po 2 miesiącach
E_0 [MPa]	1 - 15	13 - 40	35 - 70	37 - 98	57 - 75

Źródła [3]

Koleje czeskie (ČD) natomiast od grudnia 1995 r. prowadzą terenowe badania systemu CONSOLID na odcinku Křimice - Kozolupy, w torze nr 2 km 357,500 - 358,000. Pomiaru nośności i w tym przypadku dały pozytywne wyniki: wartości E_0 mieściły się w granicach 55 - 60 MPa.

4. ZASTOSOWANIE GEOSYNTETYCZNYCH MATERIAŁÓW POWIERZCHNIOWYCH JAKO WZMOCNIENIE PODŁOŻA PODKŁADÓW

W celu określenia wpływu geosyntetycznych powłok wzmacniających nośność toru przygotowano w 1995 roku na linii Plzeń - Křimice - Kozolupy w torze nr 2 trzy 50-metrowej długości odcinki doświadczalne. Dodatkowy odcinek - nieuzbrojony - służył celom porównawczym. Na rysunkach 1 i 2 oraz w tablicy 5 przedstawiono wyniki pomiarów, modułów odkształcenia i obliczeń procentowego wzrostu nośności torowiska w odniesieniu do nośności podłoża gruntowego.



Rys. 1. Nośność warstw konstrukcyjnych podłoża podkładów

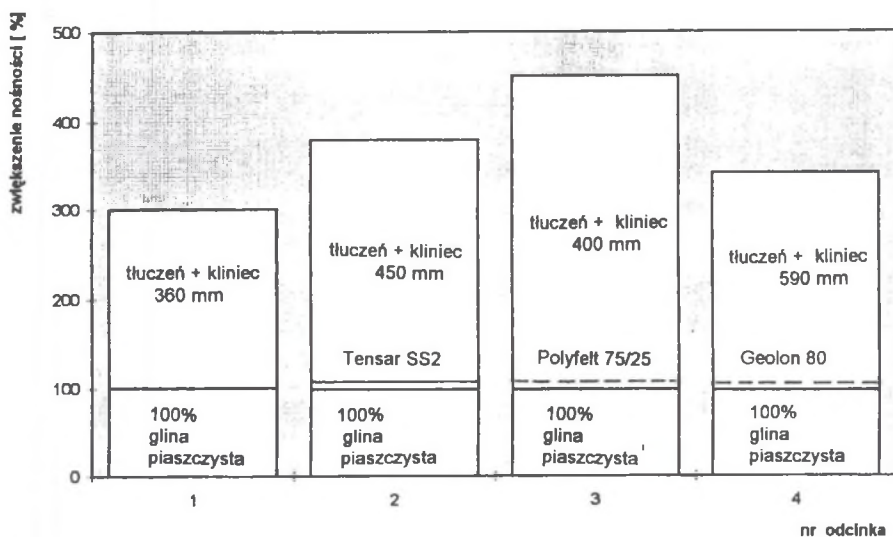
Fig. 1. Carrying capacity of constructional layers of sleeper basis

Tablica 5

Wyniki pomiaru nośności na warstwach konstrukcyjnych podłoża podkładów

Numer odcinka doświadczalnego	Moduł odkształcenia [MPa]		Zwiększenie nośności torowiska w % nośności podłoża gruntowego
	na podłożu gruntowym	na podłożu podsypki	
odcinek 1	22,72	69,20	304,7
odcinek 2	16,54	62,50	377,8
odcinek 3	14,69	65,21	446,3
odcinek 4	36,29	80,35	321,4

Zródło [3]



Rys. 2. Zwiększenie nośności podtorza

Fig. 2. Increase of subgrade carrying capacity

5. ZASTOSOWANIE PRZESTRZENNYCH MATERIAŁÓW GEOSYNTETYCZNYCH W KONSTRUKCJI PODŁOŻA PODKŁADÓW

Skuteczność komórkowego systemu ograniczającego GEOWEB obserwowano na okresowym poligonie doświadczalnym Rajec - Jestřebi. Odcinek wybudowano w 1996 r. w trakcie rekonstrukcji podtorza I korytarza kolejowego ČD na trasie Česka Třebová - Brno. Warstwę Geowebu ułożono na podtorzu gruntowym z gliny piaszczystej. Puste przestrzenie Geowebu o wysokości ścian komórek 100 mm wypełniono niesortowaną pospółką lub kliniecem o grubości od 50 do 150 mm. Wyniki pomiaru statycznego modułu odkształcenia E na spodniej powierzchni podkładu prezentuje tablica 6.

Wzmocnienie podtorza gruntowego sekcjami Geowebu zastosowały koleje słowackie podczas rekonstrukcji strefy rozjazdów 1 - 8 stacji kolejowej Púchov (tzw. žilińska głowica) [1]. Stwierdzono wówczas niewystarczającą nośność równi stacyjnej pod rozjazdami nr 3 i 4 ($E_0 < 15$ MPa). Komórki Geowebu o wysokości ścian 100 mm

wypełniono pospółką z nadsypką 150 mm i ułożono pod wyjazdem nr 3. Rozjazd nr 4, który spoczywał na 30-centymetrowej warstwie pospółki, posłużył za obiekt odniesienia, mający wykazać celowość stosowania systemu komórkowego. Pod obydwooma rozjazdami rozpostarto na gruncie warstwę geotekstylu. Po dwumiesięcznej eksploatacji (listopad 1996 r.) otrzymano następujące wartości ekwiwalentnego modułu odkształcenia w poziomie spodniej powierzchni podkładów:

- rozjazd nr 3 - 95,4 MPa i 86,5 MPa
- rozjazd nr 4 - 61,6 MPa

Tablica 6

Nośność warstw konstrukcyjnych podłoża podkładów wzmocnionego geowebem

Kilometra	Podłoże gruntowe, GTX, 0,1 m P [MPa]	Podłoże podsypki [MPa]	Spodnia warstwa podkładu [MPa]	Uwagi (P - pospółka, TK - tłuczeń z klinćem)
186,817	8,21	39,24	74,56	Geoweb + 0,1 m nadsypki P
187,820	8,82	11,78	69,24	Geoweb + 0,5 m nadsypki P
187,825	7,67	14,98	76,30	Geoweb + 0,5 m nadsypki TK
187,830	13,91	32,80	78,20	0,15 m P + 0,15 m TK
187,838	25,87	50,40	79,80	0,15 m P + 0,15 m TK

Zródło [3]

6. PODSUMOWANIE

Przytoczone rezultaty eksperymentów i konkretnych zastosowań nowych technologii zwiększenia nośności podtorza stanowią zapowiedź przydatności technicznej i efektywności ekonomicznej rozwiązań wzmocnienia wszystkich warstw konstrukcji toru od podtorza gruntowego poczynając.

Do zalet systemu CONSOLID należą:

- bardzo szybki przyrost wytrzymałości i modułu odkształcenia warstwy nienośnej lub słabonośnej, co pozwala na ograniczenie liczby i skrócenie czasu zamknięć torowych, jak też wprowadzenia ruchu ciężkich maszyn drogowych po krótkim okresie stabilizacji,
- polepszenie własności fizykomechanicznych gruntu, jak np. obniżenie wrażliwości na wodę, a przez to zmniejszenie kurczliwości, pęcznienia, plastyczności, przepuszczalności, oddziaływania mrozu, podciągania kapilarnego,
- ułatwienie procesów obróbki i zagęszczania gruntu,

- wyeliminowanie konieczności pracochłonnych i kosztownych prac związanych ze zdjęciem i odwozem gruntu nieprzydatnego w podtorzu.

Zakres stosowania preparatu ograniczają:

- uzależnienie od warunków atmosferycznych (opady deszczu),
- mało konkurencyjna cena w porównaniu z innymi surowcami używanymi do stabilizacji (cement, wapno),
- brak zaufania inwestorów do technologii ze względu na trudność określenia żywotności stabilizowanych od niedawna doświadczalnych odcinków podtorza.

Kontrolne pomiary nośności konstrukcji z wbudowanymi wzmocnieniami geosyntetycznymi dowiodły, że ich skuteczność jest uzależniona od nośności podłoża - jest wyraźniejsza przy słabej nośności gruntu ($E_0 < 15$ MPa) niż przy wyższej ($E_0 = 15$ - 30 MPa). Oznacza to jednak przede wszystkim, że pomimo występowania gruntu o nośności niższej niż dopuszczalna $E_{0 \min} = 15$ MPa (ŽSR) oraz $E_{0 \min} = 20$ MPa (ČD) zastosowanie materiałów geosyntetycznych zapewnia wymaganą nośność podłoża szynowego. Dotyczy to głównie geotekstylii z właściwościami filtracyjnymi. Geokratki stosuje się zwykle w połączeniu z geotekstyliami. Odzyskanie warunków sprężystości pracy konstrukcji następuje, podobnie jak w przypadku stabilizacji podłoża gruntowego preparatami Consolid, bardzo szybko.

Jeśli wszystkie zaprezentowane wyniki zostaną potwierdzone po kilkuletnim działaniu czynników eksploatacyjnych i pozatransportowych (wpływy atmosferyczne, warunki wodne), będzie można uważać nowe metody podwyższenia nośności podłoża podkładów za efektywne technologicznie i ekonomicznie, zapewniające uzyskanie przez długi czas stałego położenia toru w planie i profilu.

LITERATURA

1. Gombitová J., Ižvolt L., Koreň J.: Správa o výsledkoch geotechnického prieskumu a meraniach únosnosti konštrukčných vrstiev podvalového podložia so zabudovaným bunkovým systémom GEOWEB v žst. Púchov-žilinské zhlavie. Etapová správa za rok 1996, KŽSTH, VŠDS Žilina.

2. Ižvolt L., Slepecky J.: Navrh novej metodiky prieskumu príčin a kategorizácie poruch železničného spodku pre modernizované trate ŽSR. Zbier referatů VII Międzynarodowej Konferencji Wyższej Szkoły Transportu i Łączności, Żilina 1996, ss.73-79.
3. Ižvolt L.: Skúsenosti z aplikácie nových metód zvyšovania únosnosti podvalového podlažia u ŽSR a ČD. Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji i Specjalistycznej Wystawy „Rozwój infrastruktury transportowej Śląska i Północnych Moraw” tom II, Instytut Transportu Politechniki Śląskiej w Katowicach, Ostrawa-Katowice 1997, ss.217-224.
4. Klosek K.: Nové pristupy pri diagnostike a posudzovaní únosnosti podvalového podlažia s GEOWEBOM na modernizovaných vysokorychlostných tratiach. Zborník VIII medzinárodnej konferencie „Vysokorychlostné trate”, Žilinská Univerzita, Žilina 1997, ss. 57-62.
5. Pawlicki J., Hřebačka M.: Ocena stanu rozwoju korytarzy kolejowych dużych prędkości ČD i ŽSR w aspekcie integracji techniczno - eksploatacyjnej z siecią kolejową w Polsce. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej serii „Transport” z.28, Gliwice 1996, ss.137-154.
6. Pawlicki J., Ižvolt L., Slepecky J.: Metodyka rozpoznawania przyczyn i klasyfikacja odkształceń podtorza na modernizowanych drogach kolejowych ŽSR i PKP. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej serii „Transport” z.29, Gliwice 1997, ss.83-91.
7. Siewczyński Ł.: Modernizacja podtorza linii kolejowej dla dużej prędkości. Zbier referatů VII Międzynarodowej konferencji Wyższej Szkoły Transportu i Łączności, Żilina 1996, ss. 65-70.
8. Sysak J., red.: Drogi kolejowe. PWN, Warszawa 1986.
9. Tyc P., Nejezchleb M.: Zvýšení únosnosti konstrukce pražcového podlaží pomocí výtužných geosyntetických materiálů. Nová železniční technika 4/96, ss.117-120.
10. CONSOLID CZ s.r.o. Prostředky - Výsledky měření únosnosti zemín pláně stabilizovaných systémem CONSOLID (Správy, propagačné materiály).

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Abstract

Bringing the higher railway speed and axle pressure, the requirement of the sufficient bearing railway subgrade capacity ensuring comes forward. In the case of small railway ground bearing capacity ($E_0 < 15$ MPa) can be guaranteed using various technologies of increasing its bearing capacity.

In the paper, some of the technological applications of increasing the railway subgrade bearing capacity have been analysed. They have been based on railway ground stabilisation (System CONSOLID), respectively on the filling of reinforced geometric materials (Tensar, Polyfelt, PEC, Geolon 80, System GEOWEB) up into railway ground. The mentioned methods were used in the particular rescued localities of corridor No. 1 in the Czech Railways (ČD) and in the broad-gauge line of the Slovak Railways (ŽSR) or in some of common sample localities of both of Railways.

Advantages and disadvantages of above technologies are presented, but the main contribution of their using is an immediate increase of railway subgrade bearing capacity and in the reduction of constructed thickness of bottom level in 30% - 40%. Most of all, the reinforced geometric materials building is simple and requires little place. The costs of unsuitable material exploiting falls down too, and therefore the full saving outcome is increased.