

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

UDC 625.141-047.37

S. FISCHER^{1*}, A. NEMETH^{2*}, D. HARRACH^{3*}, E. JUHASZ^{4*}

^{1*}Dep. «Transport Infrastructure», Szechenyi Istvan University, Egyetem Sq., 1, Gyor, Hungary, 9026, tel. + 36 (96) 613 544, e-mail fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960

^{2*}Dep. «Transport Infrastructure», Szechenyi Istvan University, Egyetem Sq., 1, Gyor, Hungary, 9026, tel. + 36 (96) 613 544, e-mail nemeth.attila@sze.hu, ORCID 0000-0002-3477-6902

^{3*}Dep.«Structural and Geotechnical Engineering», Szechenyi Istvan University, Egyetem Sq., 1, Gyor, Hungary, 9026, tel. + 36 (96) 613 541, e-mail harrach.daniel@sze.hu, ORCID 0000-0003-4819-8506

^{4*}Dep.«Transport Infrastructure», Szechenyi Istvan University, Egyetem Sq., 1, Gyor, Hungary, 9026, tel. + 36 (96) 613 544, e-mail era_juhasz@hotmail.com, ORCID 0000-0002-5544-3146

SPECIFIC ASSESSMENT METHOD OF RAILWAY BALLAST PARTICLE DEGRADATION BASED ON UNIQUE LABORATORY TEST

Purpose. There are specific, standardized laboratory test methods to assess railway ballast particle degradation; they are the Los Angeles (EN 1097-2) and the Micro-Deval abrasion (EN 1097-1) tests. These testing methods can't take into consideration the real railway stress-strain circumstances of ballast materials, and they particles. In this paper the authors represent a specific laboratory fatigue breakage test of railway ballast materials. With this kind of testing method, the deterioration process of railway ballast particles can be assessed more realistic and precisely.

Methodology. A special layer structure is built-up with elastic sublayer system and 30 cm thick ballast samples (from two different type andesite base rocks) that is loaded by dynamic, pulsating forces. Particle size distribution functions have to be recorded before and after a more million cycle fatigue test, but intermediate measurements are also executed. The measured data should be processed, and different parameters have to be calculated that are offered by international literature and researches. The test doesn't consider the particle breakage due to hand-made and machine-made tamping, but it can simulate particle degradation due to more years' railway traffic in laboratory circumstances.

Findings. There is a development after the R&D work made and published in 2014; in 2017 and 2018 years the ballast particle deterioration process is given according to more intermediate fatigue cycles with individual measurements, that show more precise «picture» about the full particle degradation, i.e. breakage process. The authors give more precise correlation functions between the calculated parameters and load cycles during fatigue. **Originality.** The paper summed up the results of a specific developed laboratory test method for assessment of the breakage process of railway ballast particles according to two different railway ballast materials from andesite base rocks. **Practical value.** The results help with the calculation of approximate time interval of required ballast screening (cleaning) work in the future. This research is supported by the ÚNKP-17-4 New National Excellence Program of Ministry of Human Capacities.

Keywords: railway ballast material; particle degradation & breakage; specific laboratory test method; dynamic fatigue test

Purpose

In the EU's 2014-2020 Finance Programme Hungarian railway construction and rehabilitation projects can be financed by more than thousand billion Hungarian Forints, from which quantity of money important railway projects can be executed. The important part of these projects is the ballast that is the most component of superstructure. In

nowadays practice it is obvious aspect that required quality ballast [3, 5, 13-22] is achievable in requested quantity.

In the followings the authors point to those criteria because of that the future view is more shaded, and which are prescribed that special rock physics tests (Los Angeles and Micro-Deval abrasion tests) are highly suggested with more real loading conditions than the standardised tests considering available stone-rock qualities' limits.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

The grains' original – base rock-dependent – abrasion properties can be hardly modified by technology methods, these are mostly depending on «aggregate asset» and rocks' mechanical characteristics. In professional events more and more presentations are made about the fact that environmental, nature-reservational, heritage-protective, etc. regulations hitting the stone-mining industry aggravated year by year generally mean such restrictions [13, 14] on the access of the natural wealth that might lead to problems in base material supply and increasing quality hazard on the medium term.

The authors think it a base problem that the ability for railway ballast material is internationally required the Los Angeles abrasion and Micro-Deval abrasion tests [15, 16] in the product standard [17]. These laboratory tests are not able to simulate the real evolved stresses of railway ballast (it should be mentioned that in case of e.g. asphalt and concrete road pavements' «stone skeleton» [1, 10, 11] these laboratory tests are not the optimal solution, either). For the objective judgement of conformability special laboratory breakage test has to be used that consider the more real operation circumstances and stresses.

After the international literature review, the authors represent the own, unique solution for a special laboratory test procedure (method) that is able to simulate the stresses more realistic. The results are comparable to the conventional, standardised abrasion (degradation) tests [15, 16], the degradation qualifying parameters used internationally [8, 9, 12], as well as required cycle of ballast cleaning work [2, 12].

Methodology

In 2014 an R&D was made with the finance support of Colas Északkő Ltd.; the public information were published in [6, 7]. Below these results are shortly detailed:

- there is no strong correlation between any degradation parameters and their change, as well as the measured and calculated rock mechanic parameters. This result wasn't unexpected because of the base assembly of laboratory tests (rotating steel drum filled with ballast particles with or without steel balls vs. a «box» filled with ballast, pulsated by dynamic cyclic force),

- in the article [4] the particle degradation due to tamping technology was examined in the labora-

tory, the authors of this paper weren't able to verify neither physical nor mathematical correlation between the Los Angeles abrasion value of the samples and the particles shape parameters,

- the time interval values of ballast cleaning-screening work were determined according to earlier experience data of MÁV (Hungarian Railways) and international literature [2, 12].

The authors have supplementary plans compared to the research executed in 2014: more accurate measurement of the variation of ballast grains' degradation as a function of pulsating cycles (or elapsed time during the fatigue test) with the manner detailed below:

- testing of minimum two types of ballast samples with different rock mechanic properties (ballast samples from Colas Északkő Ltd.),

- ballast sample #1: $LA_{RB}=19\%$, $M_{DE}RB=17\%$,

- ballast sample #2: $LA_{RB}=16\%$, $M_{DE}RB=4\%$,

- fatigue tests connected to railway ballast material samples, definition of PSD (particle size distribution) before and after fatigue tests with the following load cycles: 0.1 million; 0.2 million; 0.5 million; 1 million and 1.5 million; 3 million and 5 million (the authors modified the initial plan and they will execute measurements with maximum 5 million cycles, but in this way they don't have the opportunity to make measurements with 3 separate measures),

- separate ballast sample should be for each fatigue test, i.e. the test series will be like the following:

- ballast sample should be cleaned and washed (the particles more than 22.4 mm are needed for the tests),

- PSD should be determined (BP – before pulsating test),

- 0.1 million loading cycles should be utilized,

- PSD should be determined (AP – after pulsating test),

- the ballast sample has to be thrown away,

- another (new) ballast sample should be cleaned and washed (the grains more than 22.4 mm are needed for tests),

- PSD should be measured (BP – before pulsating test),

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- 0.2 million loading cycles should be used,
 - PSD should be determined (AP – after pulsating test),
 - the ballast sample has to be thrown away,
 - etc. until 5 million loading cycles.
- F_V [12], BBI [9] parameters have to be determined,
- grain quantity $d < 22.4$ mm, $d < 0.5$ mm, $d < 0.063$ mm, the ratio d_{60}/d_{10} , moreover M and λ [8] parameters should be defined,
 - the goal is to effort determine mathematical-physical trends and correlation between characteristics (see above point) and loading cycles of fatigue test.
- The noticed measurements are also performed using of fresh railway ballast samples from andesite base rocks, as these measurements were executed in the research in 2014. The dynamic fatigue test series were able to be begun in March, 2018, the full results is able to be published in June, 2018.

Findings

In this paper the authors are able to sentence the results until 3 million loading cycles, because the measurements with fatigue tests are done as follows:

- ballast sample No. 1: 0.1 million; 0.2 million; 0.5 million, 1.5 million and 3 million;
- ballast sample No. 2: 0.1 million; 0.2 million; 0.5 million, 1 million and 3 million.

Fig. 1–8 represent the calculated parameters as a function of number of loading cycles (all the particle size distribution functions are not published because of the limited content only the calculated parameters that can be calculated from that).

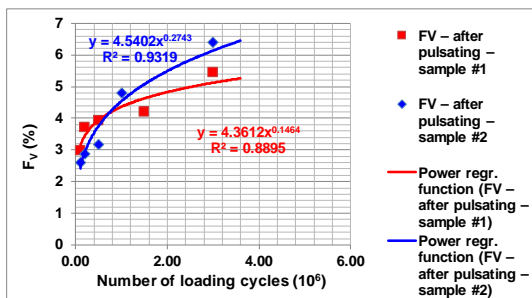


Fig. 1. Function of parameter F_V (%) as a function of number of loading cycles related to both ballast samples

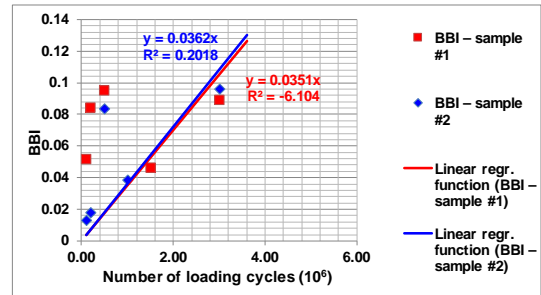


Fig. 2. Function of parameter BBI as a function of number of loading cycles related to both ballast samples

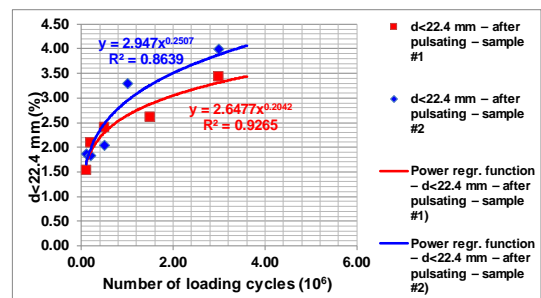


Fig. 3. Function of parameter $d < 22.4$ mm (%) as a function of number of loading cycles related to both ballast samples

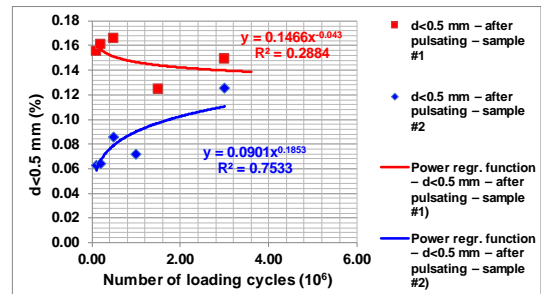


Fig. 4. Function of parameter $d < 0.5$ mm (%) as a function of number of loading cycles related to both ballast samples

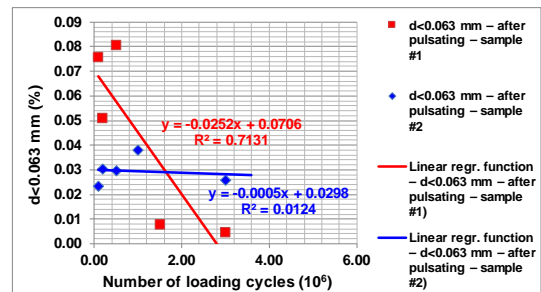


Fig. 5. Function of parameter $d < 0.063$ mm (%) as a function of number of loading cycles related to both ballast samples

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

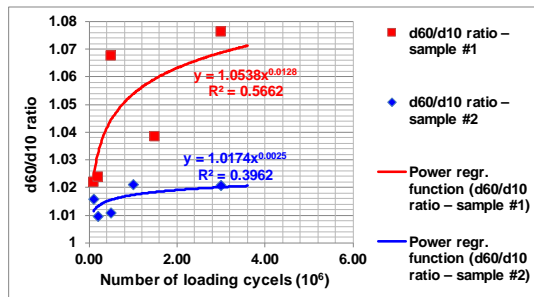


Fig. 6. Function of parameter d_{60}/d_{10} ratio as a function of number of loading cycles related to both ballast samples

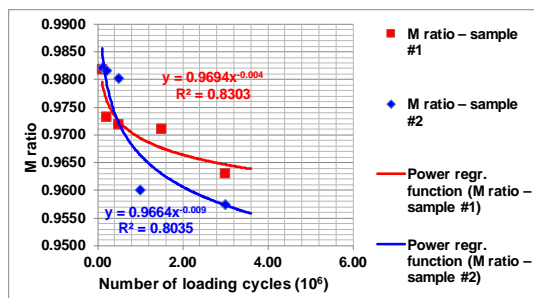


Fig. 7. Function of parameter M ratio as a function of number of loading cycles related to both ballast samples

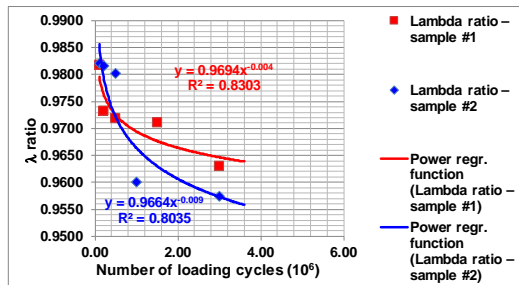


Fig. 8. Function of parameter λ ratio as a function of number of loading cycles related to both ballast samples

Originality and practical value

According to the Fig. 1-8 the following results can be determined, that are not the final results of the research, and they consider the maximum 3-million-fatigue cycles (not the 5 million):

– there are significant correlation ($R^2 > 0.8$) related to four calculated parameters from the eight (as a function of number of loading cycles), the regression functions are power regression function:

- F_v , i.e. the parameter that can forecast the necessity of ballast bed screening, this parameter is recommended by the South African Railways [12],

• $d < 22.4$ mm (in mass percent) related to after pulsating,

• M and λ parameters [8] that are recommended by researchers from the BME (Budapest University of Technology and Economics) (now the authors used the M and λ ratios: the ratio of numbers after pulsating and before pulsating, respectively).

– The regressions are not significant (neither with linear, nor with power regression functions) related to the other four calculated parameters,

– in detailed analysis (considering only the significant correlations) the authors can highlight the fact, that «speed» of the breakage (the tangent of the functions) is higher related to ballast sample #2 than ballast sample #1, that is very interesting because both the LA_{RB} and $M_{DE}RB$ parameters are better (lower) for ballast sample #2,

– to be able to sentence final results the missing measurements are needed (i.e. the measurements until dynamic fatigue with 5 million loading cycles).

Conclusions

This article introduces a research's results (but not the final results) supported by ÚNKP-17-4 New National Excellence Program of Ministry of Human Capacities. The accurate topic in the ÚNKP project is the «Innovative breakage test method of railway ballast material». In the authors' earlier paper the up-to-date international research achievements were resulted related to conventional (standardized) and non-conventional (non-standardized), additionally separate laboratory breakage and abrasion test methods and DEM simulations of ballast materials. The research plan was introduced and detailed for 2017 and 2018 years, it can be scored as the enhancement of the earlier research. The authors sentenced the results of the laboratory tests in the consideration of the maximal 3 million fatigue cycles for the two different andesite railway ballast samples. The developed method seems to be adequate for evaluating of the degradation process of railway ballast material according to railway.

Acknowledgements

This paper is supported by the ÚNKP-17-4 New National Excellence Program of Ministry of Human Capacities.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Ambrus, K. Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok aszfaltkeverékek gyártásához, felületi bevonatok készítéséhez [Electronic resource] / K. Ambrus, I. Pallós. – 2012. – Available at: <http://docplayer.hu/9502775-Utepitesei-zuzottkovek-es-zuzottkavicsok-aszfaltkeverek-gyartasahoz-feluleti-bevonatok-keszitesehoz.html> – Title from the screen. – Accessed : 11.06.2018.
2. Arangie, P. B. D. The influence of ballast fouling on the resilient behaviour of the ballast pavement layer // Proc. of 6th Intern. Heavy Haul Railway Conf. (Cape Town, 1997, April 6–10). – Cape Town, 1997. – P. 241–256.
3. Claisse, P. Rail ballast: conclusions from a historical perspective / P. Claisse, C. Calla // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport. – 2006. – Vol. 159. – Iss. 2. – P. 69–74. doi: 10.1680/tran.2006.159.2.69
4. Douglas, S. C. Ballast Quality and Breakdown during Tamping / S. Caleb Douglas // 2013 Joint Rail Conference: Conf. Paper (Knoxville, Tennessee, USA, April 15–18, 2013). – 2013. doi: 10.1115/JRC2013-2553
5. DB. «TL DBS 918 061: Technische Lieferbedingungen Gleisschotter» (TL DBS 918 061: Technical delivery conditions Railway ballast). – Berlin, 2006/08.
6. Fischer, Sz. A vasúti zúzottkövek aprózódásvizsgálata egyedi laboratóriumi módszerrel / Sz. Fischer // Sínek Világa. – 2015. – Vol. 57, No. 3. – P. 12–19.
7. Fischer, Sz. Breakage Test of Railway Ballast Materials with New Laboratory Method / Szabolcs Fischer // Periodica Polytechnica Civil Engineering. – 2017. – Vol. 61, No. 4. – P. 794–802. doi: 10.3311/PPci.8549
8. Gálos, M. Ágyazati kőanyagok: A kutatás eredményei. 2 rész. / M. Gálos, L. Kárpáti, D. Szekeres // Sínek Világa. – 2011. – Vol. 55, No. 1. – P. 6–13.
9. Indraratna, B. Advanced rail geotechnology – Ballasted track / Buddhima Indraratna, Wadud Salim, Cholachat Rujikiatkamjorn. – London : CRC Press, 2011. – 432 p.
10. Kausay, T. Adalékanyagok közetfizikai tulajdonságai. Út- és hídépítési műszaki előírások és alkalmazási tapasztalataik [Electronic resource] / T. Kausay. – Budapest, 2011. – Available at: <http://www.betonopus.hu/szakmernoki/kozut-2-adalekanyag-kozetfizika.pdf> – Title from the screen. – Accessed : 11.06.2018.
11. Kausay, T. Zúzott betonadalékanyagok közetfizikai tulajdonságai a szabályozásban / T. Kausay // Mérnökgeológia Kőzetmechanika 2008. – Budapest, 2008. – P. 259–270.
12. Lichtberger, B. Track compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics / B. Lichtberger. – Hamburg : Eurailpress Tetzlaff-Hestra GmbH & Co, 2005. – 634 p.
13. MÁV. «A 102345/1995 PHMSZ előírás 3. számú módosítása» (Modification 3 in MÁV 102345/1995 PHMSZ. Railway substructure and ballast quality acceptance regulations instruction). – Budapest, 2008. – 5 p.
14. MÁV. «A 102345/1995 PHMSZ előírás 4. számú módosítása». (Modification 4 in MÁV 102345/1995 PHMSZ. Railway substructure and ballast quality acceptance regulations instruction). – Budapest, 2010. – 14 p.
15. MSZ EN 1097-1:2012. «Kőanyaghalmozatok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A kopásállóság vizsgálata (mikro-Deval)». (Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear (micro-Deval)). – Budapest, 2012. – 35 p.
16. MSZ EN 1097-2:2010. «Kőanyaghalmozatok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása». (Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Methods for the determination of resistance to fragmentation). – Budapest, 2010. – 35 p.
17. MSZ EN 13450:2003. «Kőanyaghalmozatok vasúti ágyazathoz». (Aggregates for railway ballast). – Budapest, 2003. – 33 p.
18. MSZ EN 1367-2: Kőanyaghalmozatok termikus tulajdonságainak és időjárás-állóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás. – Budapest, 2010. – 16 p.
19. MSZ EN 933-3: Kőanyaghalmozatok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A szemalak meghatározása. Lemezességi szám. – Budapest, 2012. – 12 p.
20. Paiva, C. E. L. Study of Railway Ballast Fouling by Abrasion-Originated Particles / Cassio E. L. de Paiva, Mauro L. Pereira, Lia L. Pimentel // Railway Engineering – 2017 : Proc. of the 14th Intern. Conf. (Edinburgh, Scotland, UK, 21st–22nd June 2017). – Edinburgh, 2017.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

21. Sadeghi, J. M. Developing Track Ballast Characteristic Guideline In Order To Evaluate Its Performanc / J. M. Sadeghi, J. Ali Zakeri, M. Emad Motieyan Najar // International Journal of Railway. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 2. – P. 27–35. doi: 10.7782/IJR.2016.9.2.027
22. Track ballast in Austria: Parts 1, 2, 3 [Electronic resource]. – P. 1–11. – Available at: https://www.plassertheurer.com/fileadmin/user_upload/Mediathek/Publikationen/ri_12888990.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 14.05.2018

С. ФІШЕР^{1*}, А. НЕМЕС^{2*}, Д. ХАРРАЧ^{3*}, Е. ЮХАС^{4*}

^{1*}Каф. «Інфраструктура транспорту», Університет Іштвана Сечені, пл. Університетська, 1, Д'єр, Угорщина, 9026, тел. + 36 (96) 613 544, ел. пошта fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960

^{2*}Каф. «Інфраструктура транспорту», Університет Іштвана Сечені, пл. Університетська, 1, Д'єр, Угорщина, 9026, тел. + 36 (96) 613 544, ел. пошта nemeth.attila@sze.hu, ORCID 0000-0002-3477-6902

^{3*}Каф. «Будівельне проектування та інженерна геологія», Університет Іштвана Сечені, пл. Університетська, 1, Д'єр, Угорщина, 9026, тел. + 36 (96) 613 541, ел. пошта harrach.daniel@sze.hu, ORCID 0000-0003-4819-8506

^{4*}Каф. «Інфраструктура транспорту», Університет Іштвана Сечені, пл. Університетська, 1, Д'єр, Угорщина, 9026, тел. + 36 (96) 613 544, ел. пошта era_juhasz@hotmail.com, ORCID 0000-0002-5544-3146

СПЕЦІАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ РУЙНУВАННЯ ЧАСТОК ЗАЛІЗНИЧНОГО БАЛАСТУ НА ОСНОВІ УНІКАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ВИПРОБУВАННЯ

Мета. Існують спеціальні стандартизовані методи лабораторних випробувань для оцінки руйнування частинок залізничного баластного шару – це випробування на стирання Лос-Анджелес (EN 1097-2) і Мікро-Деваль (EN 1097-1). Ці методи випробувань не враховують реальні умови напруженої деформації залізничних баластних матеріалів. Основною метою роботи є спеціальне лабораторне випробування на утомне руйнування залізничних баластних матеріалів. Такий метод випробування дозволяє більш реалістично і точно оцінити процес зносу часток матеріалу залізничного баластного шару. **Методика.** Спеціальну шарувату структуру, укріплену пружним нижнім шаром і баластними зразками товщиною 30 см (із двох різних порід андезитового щебеню), навантажують динамічними, пульсуючими силами. Слід записати функції розподілу розмірів часток до і після проведення більше ніж мільйона тестів на циклічну втому, а також виконати проміжні вимірювання. Потрібно опрацювати вимірні дані й розрахувати різні параметри, запропоновані в міжнародних наукових дослідженнях. Випробування не враховує руйнування часток внаслідок механічного чи ручного підбивання баласту, але дозволяє в лабораторних умовах імітувати руйнування часток від багаторічної дії залізничного руху. **Результати.** Після науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок руйнування баластного шару в 2014 році було опубліковано наукове дослідження. В 2017–2018 роках дослідження процесу руйнування часток баласту були представлені з урахуванням більш складних циклів навантаження, які мали індивідуальне оцінювання. Це дає більш точне уявлення про повне пошкодження часток баластного матеріалу, тобто про процес руйнування. Автори подають уточнені кореляційні функції між розрахунковими параметрами й циклами навантаження під час випробувань на втому. **Наукова новизна.** У цій роботі підсумовані результати розробленого лабораторного методу випробувань для оцінки процесу руйнування часток баластного матеріалу залізничного полотна із двох різних порід андезитового щебеню. **Практична значимість.** У подальшому результати можуть бути використані для обчислення приблизного часового інтервалу, необхідного для виконання робіт із очищення баласту. Це дослідження виконане відповідно до національної програми вдосконалення ÚNKP-17-4 Міністерства можливостей людини.

Ключові слова: залізничний баластний матеріал; пошкодження й руйнування часток; спеціальний метод лабораторних досліджень; випробування на динамічну втому

С. ФИШЕР^{1*}, А. НЕМЕС^{2*}, Д. ХАРРАЧ^{3*}, Е. ЮХАС^{4*}^{1*}Каф. «Инфраструктура транспорта», Университет Иштвана Сечени, пл. Университетская, 1, Дьер, Венгрия, 9026, тел. +36 (96) 613 544, эл. почта fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960^{2*}Каф. «Инфраструктура транспорта», Университет Иштвана Сечени, пл. Университетская, 1, Дьер, Венгрия, 9026, тел.+ 36 (96) 613 544, эл. почта nemeth.attila@sze.hu, ORCID 0000-0002-3477-6902^{3*}Каф. «Строительное проектирование и инженерная геология», Университет Иштвана Сечени, пл. Университетская, 1, Дьер, Венгрия, 9026, тел. +36 (96) 613 541, эл. почта harrach.daniel@sze.hu, ORCID 0000-0003-4819-8506^{4*}Каф. «Инфраструктура транспорта», Университет Иштвана Сечени, пл. Университетская, 1, Дьер, Венгрия, 9026, тел. +36 (96) 613 544, эл. почта ega_juhasz@hotmail.com, ORCID 0000-0002-5544-3146

СПЕЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ РАЗРУШЕНИЯ ЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО БАЛЛАСТА НА ОСНОВЕ УНИКАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ИСПЫТАНИЯ

Цель. Существуют специальные стандартизированные методы лабораторных испытаний для оценки разрушения частиц железнодорожного балластного слоя – это испытания на истирание Лос-Анджелес (EN 1097-2) и Микро-Деваль (EN 1097-1). Данные методы испытаний не учитывают реальные условия напряженной деформации железнодорожных балластных материалов. В работе представлено специальное лабораторное испытание на усталостное разрушение железнодорожных балластных материалов. Такой метод испытания позволяет более реалистично и точно оценить процесс износа частиц материала железнодорожного балластного слоя. **Методика.** Специальная слоистая структура, укрепленная упругим нижним слоем и балластными образцами толщиной 30 см (из двух разных пород андезитового щебня), нагружается динамическими, пульсирующими силами. Следует записать функции распределения размера частиц до и после проведения более чем миллиона испытаний на циклическую усталость, а также выполнить промежуточные измерения. Необходимо обработать измеряемые данные и рассчитать различные параметры, предложенные в международных научных исследованиях. Испытание не учитывает разрушение частиц в результате механической или ручной подбивки балласта, но позволяет в лабораторных условиях имитировать разрушение частиц от многолетнего действия железнодорожного движения. **Результаты.** После научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок разрушения балластного слоя в 2014 году было опубликовано научное исследование. В 2017–2018 годах исследования процесса разрушения частиц балласта были представлены с учетом более сложных циклов нагрузки и имели индивидуальное оценивание. Это дает более точное представление о полном повреждении частиц балластного материала, т. е. о процессе разрушения. Авторами представлены уточненные корреляционные функции между расчётными параметрами и циклами нагрузки во время испытания на усталость. **Научная новизна.** В данной работе подытожены результаты конкретного разработанного лабораторного метода испытаний для оценки процесса разрушения частиц балластного материала железнодорожного полотна из двух различных пород андезитового щебня. **Практическая значимость.** В дальнейшем результаты могут быть использованы для вычисления приближительного временного интервала, необходимого для выполнения работы по очистке балласта. Данное исследование выполнено в соответствии с национальной программой совершенствования ÚNKP-17-4 Министерства возможностей человека.

Ключевые слова: железнодорожный балластный материал; повреждение и разрушение частиц; специальный метод лабораторных исследований; испытание на динамическую усталость

REFERENCES

1. Ambrus, K., & Pallós, I. (2012). *Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok aszfaltkeverékek gyártásához, felületi bevonatok készítéséhez*. Retrieved from <http://docplayer.hu/9502775-Utepitesei-zuzottkovek-es-zuzottkavicsok-aszfaltkeverek-gyartasahoz-feluleti-bevonatok-keszitesehoz.html> (in Hungarian)
2. Arangie, P. B. D. (1997). The influence of ballast fouling on the resilient behaviour of the ballast pavement layer. *Proceedings of 6th International Heavy Haul Railway Conference (Cape Town, April 6-10)*, 241-256. (in English)
3. Claisse, P., & Calla, C. (2006). Rail ballast: conclusions from a historical perspective. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 159(2), 69-74. doi: 10.1680/tran.2006.159.2.69 (in English)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

4. Douglas, S. C. (2013). Ballast Quality and Breakdown during Transport. *2013 Joint Rail Conference: Conference Paper (Knoxville, Tennessee, USA, April 15-18)*. doi: 10.1115/JRC2013-2553 (in English)
5. TL DBS 918 061: Technische Lieferbedingungen Gleisschotter. TL DBS 918 061: Technical delivery conditions Railway ballast. (2006). Berlin, 2006/08. (in German)
6. Fischer, S. (2015). A vasúti zúzottkövek aprózódásvizsgálata egyedi laboratóriumi módszerrel. *Sínek Világa*, 57(3), 12-19. (in Hungarian)
7. Fischer, S. (2017). Breakage Test of Railway Ballast Materials with New Laboratory Method. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61(4), 794-802. doi: 10.3311/PPci.8549 (in English)
8. Gálos, M., Kárpáti, L., & Szekeres, D. (2011). Ágyazati köanyagok: A kutatás eredményei. 2 rész. *Sínek Világa*, 55(1), 6-13. (in Hungarian).
9. Indraratna, B., Salim, W., & Rujikiatkamjorn, C. (2011). *Advanced rail geotechnology – Ballasted track*. London: CRC Press. (in English)
10. Kausay, T. (2011). *Adalékanyagok közetfizikai tulajdonságai. Út- és hidépítési műszaki előírások és alkalmazási tapasztalataik*. Budapest. Retrived from <http://www.betonopus.hu/szakmernoki/kozut-2-adalekanyag-kozetfizika.pdf> (in Hungarian)
11. Kausay, T. (2008). Zúzott betonadalékanyagok közetfizikai tulajdonságai a szabályozásban. *Mérnökgeológia Kőzetmechanika*, 259-270. (in Hungarian)
12. Lichtberger, B. (2005). *Track compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics*. Hamburg: Eurailpress Tetzlaff-Hestra GmbH & Co. (in English)
13. A 102345/1995 PHMSZ előírás 3. számú módosítása (Modification 3 in MÁV 102345/1995 PHMSZ. 'Railway substructure and ballast quality acceptance regulations instruction'), MÁV (2008). (in Hungarian)
14. A 102345/1995 PHMSZ előírás 4. számú módosítása (Modification 4 in MÁV 102345/1995 PHMSZ. 'Railway substructure and ballast quality acceptance regulations instruction'), MÁV (2010). (in Hungarian)
15. Köanyaghalmozok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A kopásállóság vizsgálata (mikro-Deval). (Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear (micro-Deval), MSZ EN 1097-1:2012 (2012). (in Hungarian)
16. Köanyaghalmozok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása. (Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Methods for the determination of resistance to fragmentation), MSZ EN 1097-2:2010 (2010). (in Hungarian)
17. Köanyaghalmozok vasúti ágyazathoz. (Aggregates for railway ballast). MSZ EN 13450:2003 (2003). (in Hungarian)
18. Köanyaghalmozok termikus tulajdonságainak és időjárás-állóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás. MSZ EN 1367-2 (2010). (in Hungarian)
19. Köanyaghalmozok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A szemalak meghatározása. Lemezességi szám. MSZ EN 933-3 (2012). (in Hungarian)
20. Paiva, C. E. L., Pereira, M. L., & Pimentel, L. L. (2017). Study Of Railway Ballast Fouling By Abrasion Originated Particles. *Railway Engineering: Proc. of the 14th Intern. Conf. (Edinburgh, Scotland, UK, 21st-22nd June 2017)*. (in English)
21. Sadeghi, J. M., Zakeri, J. Ali, & Najar, M. E. M. (2016). Developing Track Ballast Characteristic Guideline In Order To Evaluate Its Performanc. *International Journal of Railway*, 9(2), 27-35. doi: 10.7782/IJR.2016.9.2.027 (in English)
22. Track ballast in Austria: Parts 1, 2, 3, 1-11. Retrived from https://www.plassertheurer.com/fileadmin/user_upload/Mediathek/Publikationen/ri_12888990.pdf (in English)

Ass. Prof. D. M. Kurhan, Dr. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Feb. 23, 2018

Accessed: May 30, 2018