



Приета: 12.11.2015 г.

Преработена: 26.11.2015 г.

Одобрена: 10.12.2015 г.

ОЦЕНКА НА СЛЯГАНЕТО НА ПЪТНИ НАСИПИ НА АВТОМАГИСТРАЛА „ТРАКИЯ“ В ЕКСПЛОАТАЦИОНЕН ПЕРИОД

Л. Михова¹

Ключови думи: пътен насип, слягане, консолидация, МКЕ

РЕЗЮМЕ

Извършено е числено изследване на слягането на насипи на автомагистрала „Тракия“ след петгодишен период на експлоатация. За целта са проведени геоложки проучвания на насипа и земната основа за установяване на актуалните почвени характеристики. Въз основа на анализ на характеристиките в строителен и експлоатационен период са определени стойностите на почвените параметри за провеждане на изследването. Съставени са изчислителни модели по МКЕ за три представителни напречни профила на магистралата. За случаите на водонаситена земна основа е приложена консолидационната теория на Terzaghi-Fröhlich. Определени са абсолютни и относителни слягания на пътното платно и е направена оценка на резултатите в съответствие с нормативната база.

1. Въведение

Като част от мониторинга върху експлоатационното състояние на автомагистрала „Тракия“ е извършено теоретично изследване относно слягането на пътния насип и на земната основа след петгодишен период на експлоатация. За целта са проведени геоложки проучвания и са установени актуалните почвени параметри [1]. Последните са съпоставени с параметрите на почвата, определени при строителството на обекта. За

¹ Лена Михова, доц. д-р инж., кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: l_mihova@yahoo.com

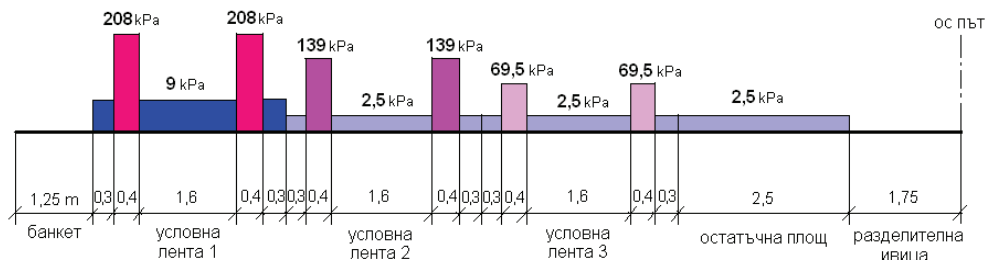
извършване на изследването са съставени изчислителни модели по метод на крайните елементи и е приложена консолидационната теория на Terzaghi-Fröhlich за случаите на водонаситена земна основа.

Определени са абсолютните и относителните слягания на пътната настилка в представителни напречни сечения на магистралата. Направен е анализ на сляганията в съответствие с изискванията на действащите нормативни документи у нас [4], [2]. Направена е и оценка на слягането съгласно документа *Geotechnical Design Standard – Minimum Requirements, Queensland Government, Department of Transport and Main Roads, February 2015*, [6].

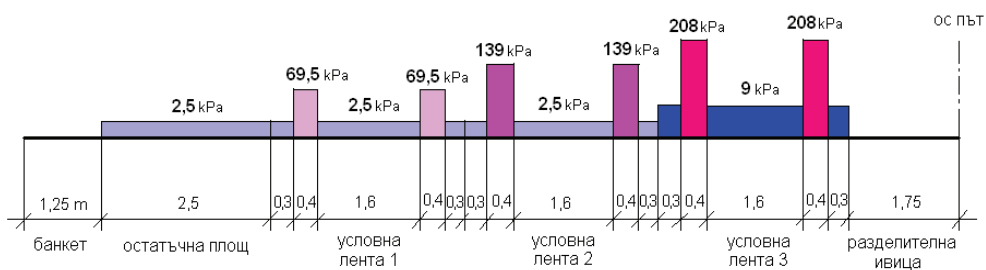
2. Методика на изследването

2.1. Натоварване от пътен трафик

Върху пътната настилка се прилага товарен модел LM1 според Еврокод [2], като печатообразните товари от автомобилните колела се заместват с еквивалентни равномерно разпределени товари върху площи с размери 0,4/3,6 m, съответно в напречно и в надлъжно направление на пътя, въз основа на правилото, посочено в [5]. Получени са два варианта на товарна схема, показани на фиг. 1 и фиг. 2, като вариант 1 е меродавната схема по отношение на максималните стойности на слягането на пътния насип.



Фиг. 1. Товарен модел LM1 – вариант 1



Фиг. 2. Товарен модел LM1 – вариант 2

2.2. Активна зона на слягане

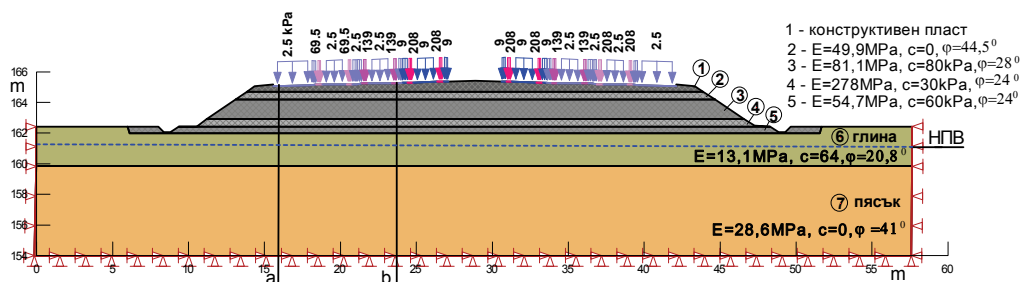
Активната зона на слягане се определя от условието [4]:

$$0,5\sigma_y = \sigma_z, \quad (1)$$

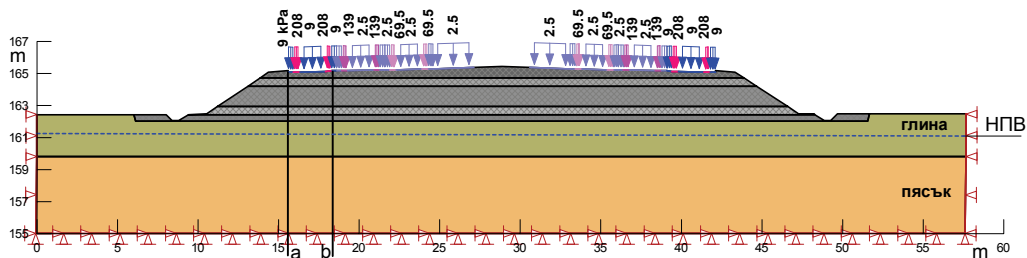
където σ_y и σ_z са напреженията в земната основа съответно от геоложки товар и от насипа.

2.3. Геотехнически характеристики и изчислителни модели на пътния насип

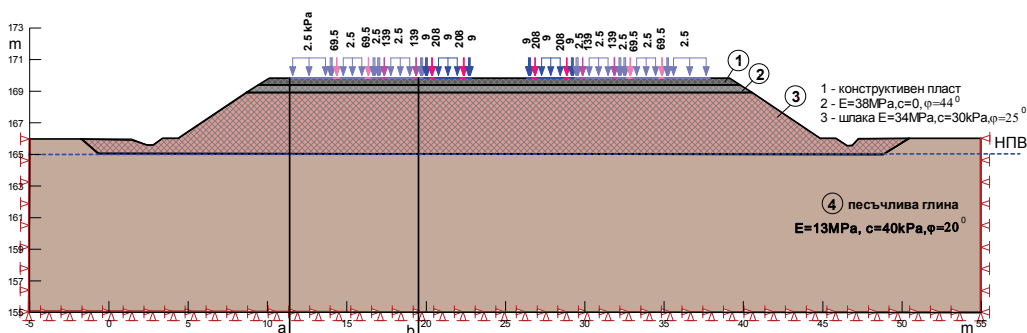
Изследват се три напречни профила на магистралата – DPM_4, MC_3 и DPM_16 с височини на пътния насип съответно $H_{\text{насип}} = 2,95 \text{ m}$, $3,85 \text{ m}$, $3,50 \text{ m}$. Характерно за профил MC_3 е, че пътният насип е изграден от материал шлага и в основата му има тръбен водосток. Земната основа и на трите профила съдържа консолидиращи глинести пластове, тъй като хидростатичното ниво се намира непосредствено под естествения терен. Съставени са 2D изчислителни модели по МКЕ за определяне на стойностите на тоталните слягания на насипа и на земната основа от действието на собственото тегло на насипа и пътния трафик. Схеми на изчислителните модели са показани на фиг. 3 – фиг. 6, където са дадени и почвените характеристики.



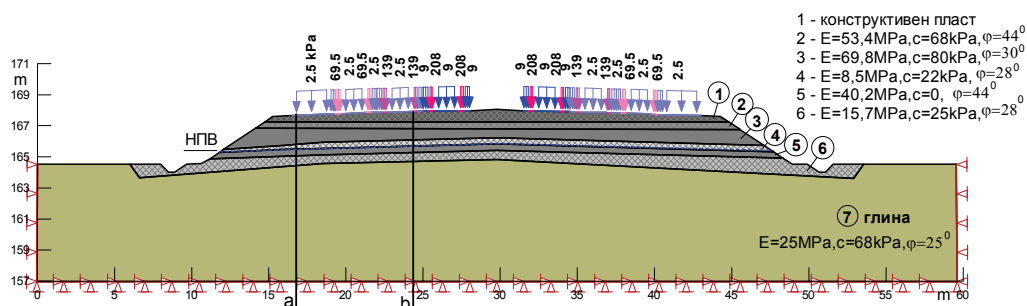
Фиг. 3. Профил DPM_4. Изчислителен модел с натоварване от пътен трафик вариант 1



Фиг. 4. Профил DPM_4. Изчислителен модел с натоварване от пътен трафик вариант 2



Фиг. 5. Профил MC_3. Изчислителен модел с натоварване от пътен трафик вариант 1



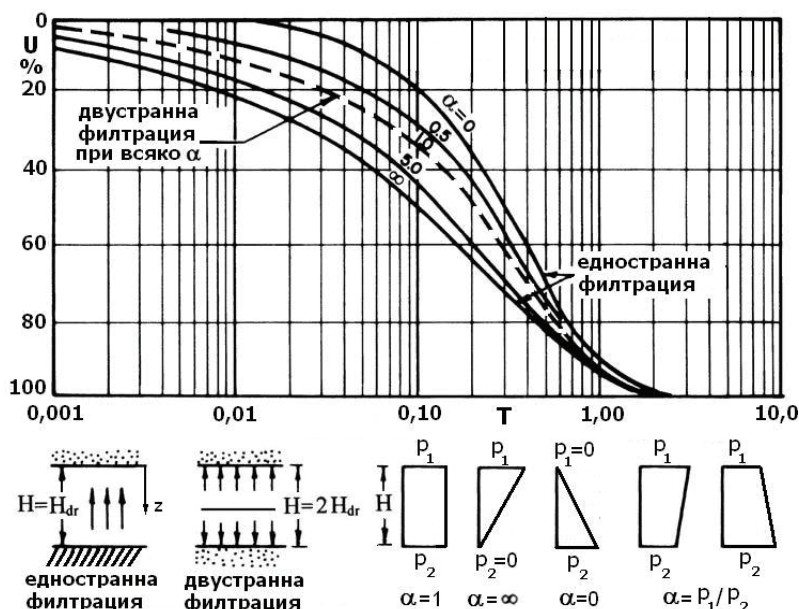
2.4. Консолидация на земната основа

За определяне на степента на консолидация на земната основа в експлоатационния период на съоръжението се прилага теорията на Terzaghi-Fröhlich за едномерна консолидация. По формула (2) се определя времето t за дадена степен на консолидация U на базата на бездимензионния фактор време T , отчетен от графика на фиг. 7 в зависимост от коефициента на консолидация C_v , и дължината на филтрационния път H_{dr} :

$$T = C_v t / H_{dr}^2; \quad (2)$$

$$C_v = k_f E / \gamma_w, \quad (3)$$

където k_f е коефициентът на филтрация, E – деформационният модул; γ_w – обемното тегло на водата.



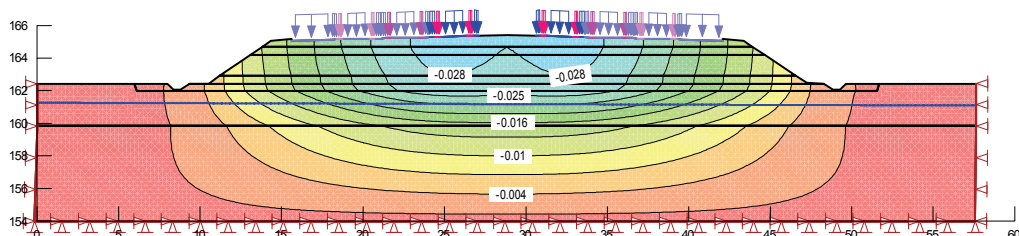
Фиг. 7. Зависимост между степен на консолидация U и фактора време T [3]

2.5. Гранични стойности на слягане

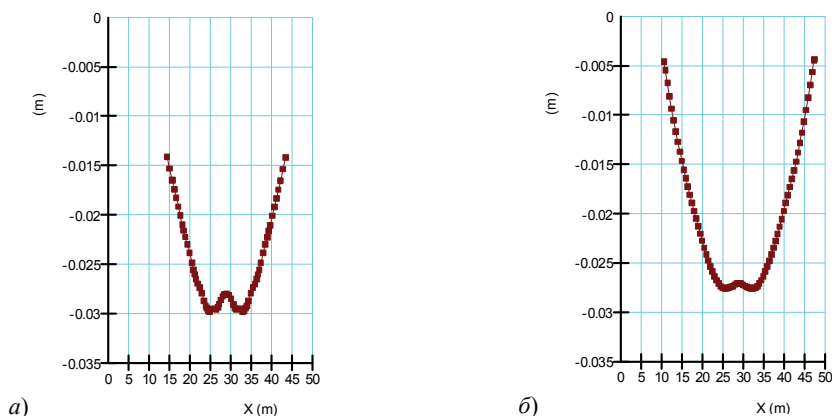
- Слягането на насипи при височина до 10 m трябва да попада в границите $S = (1\% - 0,2\%) H_{\text{насип}}$ [4];
- Съгласно стандарта [6] допустимата стойност на слягането в „конструктивна зона“ е 5 cm, като с термина „конструктивна зона“ е означен участък от пътя, с дължина не по-малка от 25 m, в който има конструкция (мост, водосток, пилоти); извън „конструктивната зона“ допустимата стойност на слягането е в границите 10 cm – 20 cm в зависимост от материалите, от които са изградени насипът и пътната конструкция;
- Разликите в слягането по вертикали в даден напречен профил от магистралата не трябва да са по-големи от 0,2% [4];
- Документ [6] регламентира максимален градиент на слягане 0,5% в рамките на 5 m в надлъжна и в напречна посока на пътя при пътен насип от несвързан материал и асфалтова настилка и съответно 0,3% – при пътен насип от други материали.

3. Резултати

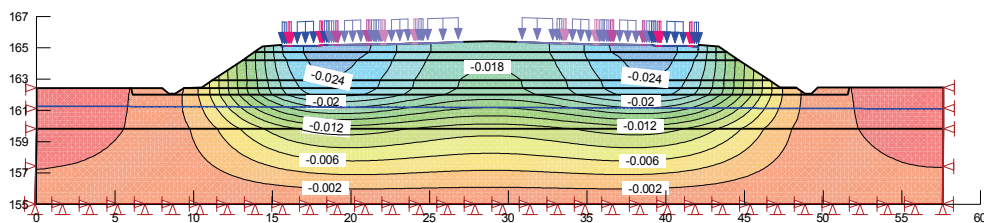
Резултати от решенията в графичен вид са представени на фиг. 8 – фиг. 15.



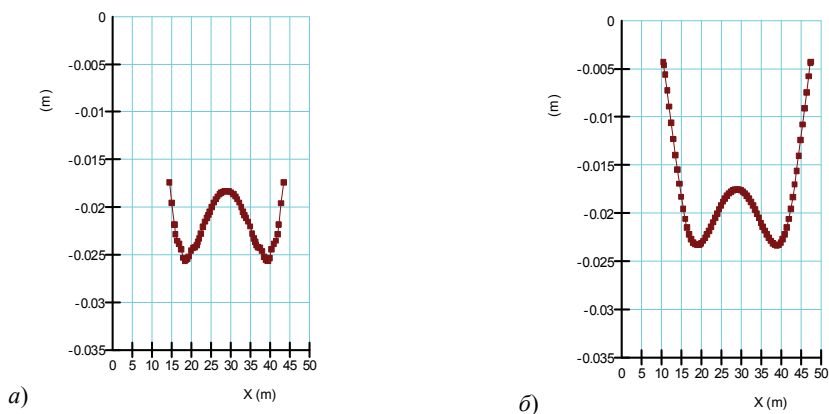
Фиг. 8. Профил DPM_4 – пътен трафик вариант 1. Графики на вертикалното преместване в m



Фиг. 9. Профил DPM_4 - пътен трафик вариант 1
а) слягане на пътното платно; б) слягане на земната основа

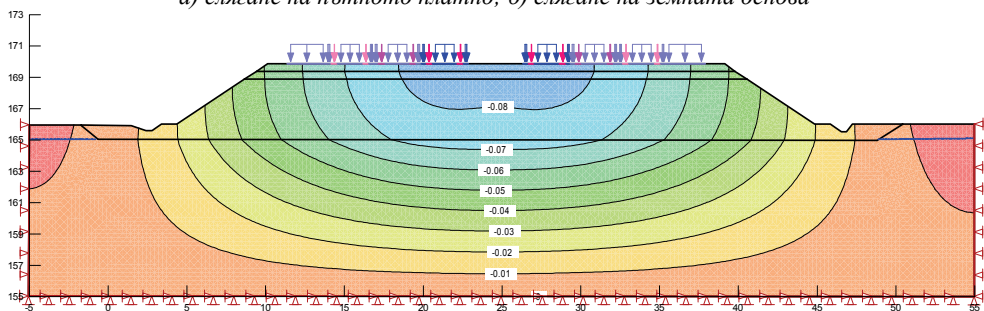


Фиг. 10. Профил DPM_4 – пътен трафик вариант 2. Графики на вертикалното преместване в m

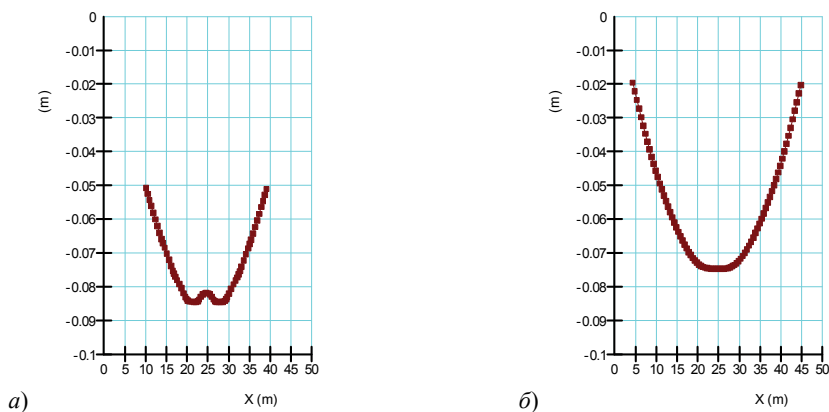


Фиг. 11. Профил DPM_4 – пътен трафик вариант 2

а) слягане на пътното платно; б) слягане на земната основа

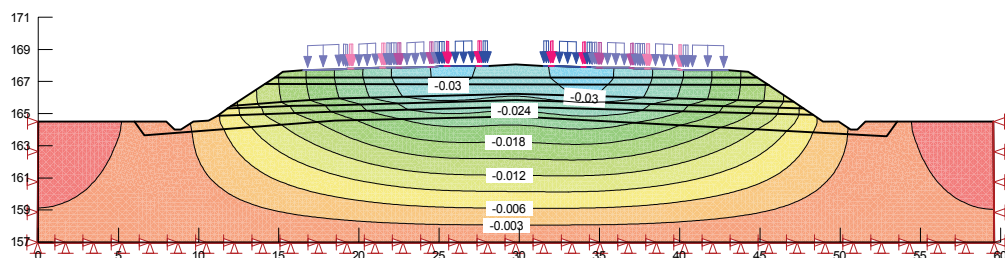


Фиг. 12. Профил MC_3 – пътен трафик вариант 1. Графики на вертикалното преместване в m

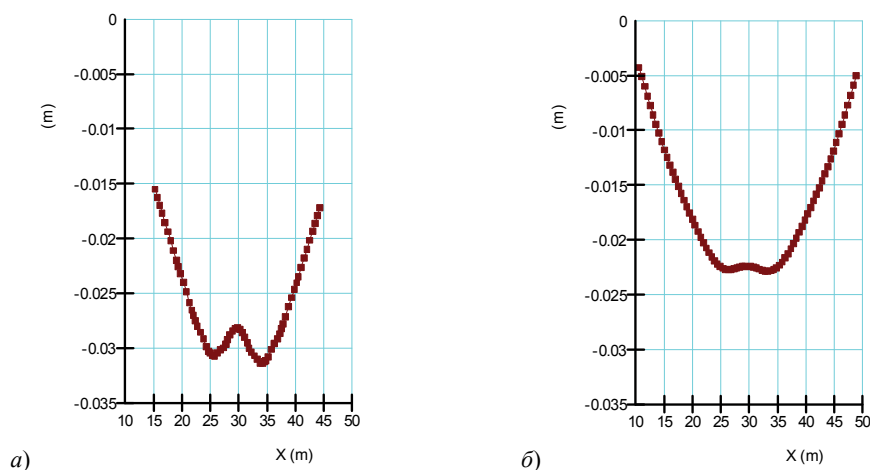


Фиг. 13. Профил MC_3 – пътен трафик вариант 1

а) слягане на пътното платно; б) слягане на земната основа



Фиг. 14. Профил DPM_16 – пътен трафик вариант 1. Графики на вертикалното преместване в m



Фиг. 15. Профил DPM_16 – пътен трафик вариант 1
а) слягане на пътното платно; б) слягане на земната основа

В табл. 1 и 2 са обобщени резултатите от решенията за трите напречни профила.

В табл. 1 са дадени стойностите на следните величини:

S_1 – максимално слягане на пътното платно;

S_2 – максимално слягане на земната основа;

$S_{\text{насип}} = S_1 - S_2$ – слягане на материала на насаipa;

$(S_{\text{max}} - S_{\text{min}})/L$ – относително слягане на пътната настилка, където S_{max} и S_{min} са съответно максималното и минималното слягане на пътното платно в даден напречен профил, а L е разстоянието между тях; максималното слягане S_{max} се получава във вертикалата с максимална стойност от 208 kPa на колесен товар (вертикала „b“ на фиг. 3 – фиг. 6), а минималното слягане S_{min} – във вертикалата на външния ръб на пътното платно (вертикала „a“ на фиг. 3 – фиг. 6).

Таблица 1

Профил	S_1 (cm)	S_2 (cm)	$S_{\text{насип}} = (S_1 - S_2)$ (cm)	$(S_{\text{max}} - S_{\text{min}})/L$ (%)
DPM_4 – трафик 1 вариант	2,98	2,76	0,22	0,16
DPM_4 – трафик 2 вариант	2,57	2,34	0,23	0,14
MC_3 – трафик 1 вариант	8,47	7,47	1,00	0,33
DPM_16 – трафик 1 вариант	3,14	2,28	0,86	0,17

В табл. 2 са обобщени резултатите от изследванията за консолидация на глинестите пластове от земната основа. Определено е времето t_{90} за степен на консолидация $U = 90\%$, като за коефициента α от фиг. 7 е приета стойност 1, съответстваща на равномерно разпределени напрежения в земната основа, а за дължината на филтрационния път H_{dr} – дебелината на консолидиращия пласт.

Таблица 2

Профил	k_f (m/d)	H_{dr} (m)	C_v (m ² /d)	t_{90} (d)
DPM_4	$0,864 \times 10^{-5}$	2,20	0,01132	342
MC_3	$0,860 \times 10^{-4}$	9,00	0,01123	577
DPM_16	$0,864 \times 10^{-5}$	3,50	0,02160	454

4. Оценка на слягането

Настоящото изследване показва, че в разгледаните участъци от магистрала „Тракия“ за експлоатационен период от 5 години консолидацията на земната основа е приключила и сляганията, дължащи се на уплътняване вследствие на филтрационни процеси, вече са се реализирали.

Деформационните характеристики на материала на насипа свидетелстват за настъпило увеличаване на коравината на насипа под действието на собственото тегло и натоварването от пътен трафик.

Максималните стойности на слягането на пътната настилка при върха на насипа за профили DPM_4 и DPM_16 са в допустимите граници според цитираните нормативи. За профил MC_3, който е с най-голяма височина на насипа и е в зоната на водосток, слягането е по-голямо от 5 cm, стойност, регламентирана като гранична в документ [6].

Слягането на материала на насипа за профил DPM_4 е $S_{\text{насип}} < (0,2\% \cdot H_{\text{насип}})$. За профили MC_3 и DPM_16 $S_{\text{насип}}$ попада в границите $(0,2\% - 1,0\%) \cdot H_{\text{насип}}$.

Разликите в слягането на пътната настилка при профили DPM_4 и DPM_16 не надвишават допустимата стойност 0,2% съгласно [4]. При профил MC_3 от външния ръб на пътното платно до оста на най-тежкия колесен товар се получава градиент на слягането, по-голям от 0,2%.

5. Заключение

Извършено е числено изследване на слягането на пътни насипи на магистрала „Тракия“ с височина до 4,0 m след петгодишен експлоатационен период на съоръжението. Натоварването от пътен трафик е прието като квазистатично по модела LM1, дефиниран в Еврокод 1. Не се отчитат особеностите на деформационното поведение на пътния насип и земната основа при динамичното въздействие на превозните средства. Насипите са изградени върху водонаситена земна основа, поради което е направена оценка относно степента на консолидация за изтеклия период на експлоатация. Получените стойности на слягането и на градиента на слягането на пътното платно показват неудовлетворяване на нормативните изисквания в един от профилите, което може да доведе до нарушаване на нормалната експлоатация на съоръжението.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ангелов, Л. Инженерно-геолошко проучване на пътни насипи на АМ „Тракия“, 2015.
2. Еврокод 1. БДС EN 1991. Въздействия върху строителните конструкции.
3. Илов, Г. и др. Ръководство по геотехника съгласно изискванията на Еврокод 7, 2012.
4. Наредба №1 за проектиране на пътища, 2000 г.
5. Норми за проектиране на пътни и железопътни мостове и водостоци. 1989.
6. Geotechnical Design Standard – Minimum Requirements, Queensland Government, Department of Transport and Main Roads, February 2015.

IN-SERVICE SETTLEMENT ANALYSIS OF ROAD EMBANKMENTS ON THE TRAKIA HIGHWAY

L. Mihova¹

Keywords: *road embankment, settlement, consolidation, FEM*

ABSTRACT

Numerical analysis of road embankments settlement is performed after five years servicing of the Trakia highway. In situ investigations are done and the soil properties are determined. Finite element models are created for three representative profiles of the road embankments. Consolidation analysis according to Terzaghi-Fröhlich's theory is performed for the cases of saturated ground. Maximum total settlements and settlement gradients of the road pavement are estimated.

¹ Lena Mihova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geotechnics", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: l_mihova@yahoo.com

