

## **ПОДОБРЯВАНЕ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА НА ТЕРИТОРИЯТА НА СТРОИТЕЛНА ПЛОЩАДКА**

**Ивайло Анастасов, Чавдар Колев**  
[ivailo\\_an@abv.bg](mailto:ivailo_an@abv.bg), [ch\\_kolev@abv.bg](mailto:ch_kolev@abv.bg)

*Висшето транспортно училище „Тодор Каблешков”  
София, 1574, ул. "Гео Милев" 158  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** слаба почва, натискова плоча, опити in-situ, опитни резултати, МКЕ*

***Резюме:** Представени са резултатите от натурни експерименти за подобряване на земната основа в стоманобетонно хале, разположено върху слаба земна основа. Изпълнени са два тестови участъка. Те включват премахване на съществуващия насип и замяната му с нов по два варианта. Измерванията за модулите на еластичност и на деформация са с кръгла щампа, съгласно БДС 15130-80 и са проведени на всеки етап от изпълнението на пробните участъци. За целта е използвана следната механизация: вибровалък с тегло 10t, колесен багер с обратна лопата, мини – челен товарач, фреза Asphalt Zipper. Направена е оценка на годността на земната основа за надеждна експлоатация при бъдещия производствен процес в сградата. Разработен е числен модел по Метода на крайните елементи, чийто резултати са сравнени с тези от опитите in-situ и е оптимизирано техническото решение. Моделирани са два варианта на земната основа, първият от които е по Теорията на Mohr-Coulomb, а вторият е по Теорията на Boussinesq за линейно-еластична среда. След избора на проектните решения в процеса на изграждане са направени допълнителни натурни изследвания за доказване на проектните параметри на готовата конструкция. Така е постигната оптимизация на проектното решение чрез итерационно допълване на изчислителния модел с опитните резултати.*

### **1. Цел на изследването**

На територията на строителна площадка, изградена върху терен с кафява глина, е насипана основа за настилка с проектна дебелина 40 cm. Контролна проверка с натискова плоча установи, че не са постигнати проектните параметри за плътност и деформируемост на насипа. Хумусният слой е бил с непостоянна дебелина и не е изгребан напълно. Така на много места под насипа са останали лещи от хумус, които драстично влошават деформационните качества на пътната конструкция. Направено е изследване на земната основа, както и на насипа за физични и механични показатели. Доставеният насипен материал не е стандартен, представлява разкривка от кариерата – нехомогенна смес от трошен камък и глина, а дебелината на слоя е непостоянна – от 50 cm до 25 cm. Предвид високите експлоатационни изисквания се налага подобряване на

качествата на земната основа, което е и целта на изследването. Съобразно изискванията на Възложителят това трябва да стане само чрез влагането на трошен камък и за тази цел са проектирани и изпълнени два тестови участъка. Пътната конструкция на халето ще бъде стоманобетонна настилка с дебелина 20cm, изпълнена върху подобрената земна основа.

## 2. Кратък обзор на проблема

Подобряването на земната основа е позната задача от теорията и практиката, но винаги нейните решения са многовариантни, защото възникват нови и нови технологии за изпълнение, а геоложките предпоставки и експлоатационните натоварвания са най-разнообразни. В конкретната задача подходящите варианти за подобряване на земната основа, утвърдени в практиката биха били: замяна на съществуващата слаба почва с добра – трошен камък, пясък; изкуствено повърхностно заздравяване чрез смесване или пропиване на земната основа с различни химични вещества – цимент, вар, битум, смола; полагане на геомрежи в насипа. У нас е натрупан богат опит в заздравяването на лъсови почви, глинести пясъци и преовлажнени глини с високо ниво на почвените води. В [5] и [6] са дадени някои широко приложими методи за подобряване свойствата на земната основа – замяна на слабия пласт с качествен материал, ускоряване на консолидацията и т.н. Методите за химично заздравяване са описани в [7] и [9]. Съвременно заздравяване с геомрежи е представено в [8].

## 3. Предпоставки и задачи на изследването

От проведените на по-ранен етап инженерногеоложки проучвания са установени следните физико-механични характеристики на земната основа (табл.1):

**Наличен насипен материал** – неравномерна и нехомогенна смес от глина и нефракциониран трошен камък.

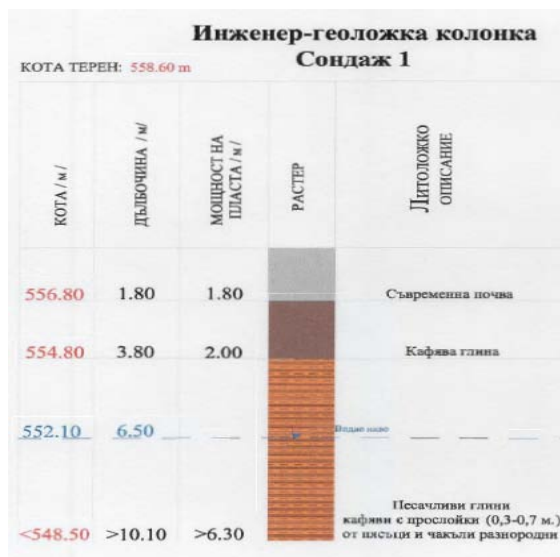
**Пласт 1** – съвременна почва, съдържаща глина и пясъчлива глина.

**Пласт 2** – кафява глина.

**Пласт 3** – кафява глина с прослойки от разноводни пясъци и чакъли.

Табл. 1. Физико-механични характеристики на земната основа

ФИЗИКО-МЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА								
Пласт №	мощност на пласта, m	обемна плътност, $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	обем на порите, n	ъгъл на вътрешно триене, $\varphi$ [°]	кохезия, c [kPa]	деформационен модул, $E_0$ [Mpa]	модул на еластичност, $E_{ел.}$ [Mpa]	коэффициент на Poisson, $\nu$
Насип	0,25 - 0,50	1,73	-	34	5	40	200	0,25
1	0,80 - 1,60	1,68 - 1,92	0,465 - 0,528	7	40	10 - 12	-	0,4
2	1,30 - 6,00	1,73 - 1,82	0,484 - 0,498	6 - 20	13-20	10 - 25	-	-
3	над 4,00	1,64 - 1,81	0,498 - 0,545	6 - 11	13-20	10 - 25	-	-



**Фиг. 1. Инженерногеоложка колонка**

Целта на изследването може да бъде постигната чрез оптимизация на пътната конструкция в халето като резултат от опитите и изчисленията за подобряване на земната основа. Халето е предназначено за високотехнологична апаратура, която изисква минимални слягания – до 4 mm при първи цикъл на натоварване при стандартно шампово изпитване и до 0,7 mm еластично слягане от експлоатационно натоварване 45kPa върху печат с диаметър 30cm при готова пътна конструкция (подобрена земна основа и стоманобетонна настилка с дебелина 20cm).

Задачите на изследването са следните:

- Да се направят два вариантни експериментални участъка със замяна на съществуващата земна основа с трошен камък, с които да се постигнат проектните експлоатационни изисквания;
- Да се съставят модели на наличния и проектния насип, с които да се прогнозира проектите резултати – напрежения и слягане при проектен товар;
- Да се проведат полеви изпитвания с натискова плоча по БДС 15130-80 [1];
- Да се проведе лабораторен зърнометров анализ на материала;
- Да се съпоставят опитните резултати с тези от модела и да се анализират разликите;
- Да се коригира моделът според анализа на опитните резултати и да се достигне до оптимално проектно решение.

#### **4. Описание на опитите и провеждане на изследванията**

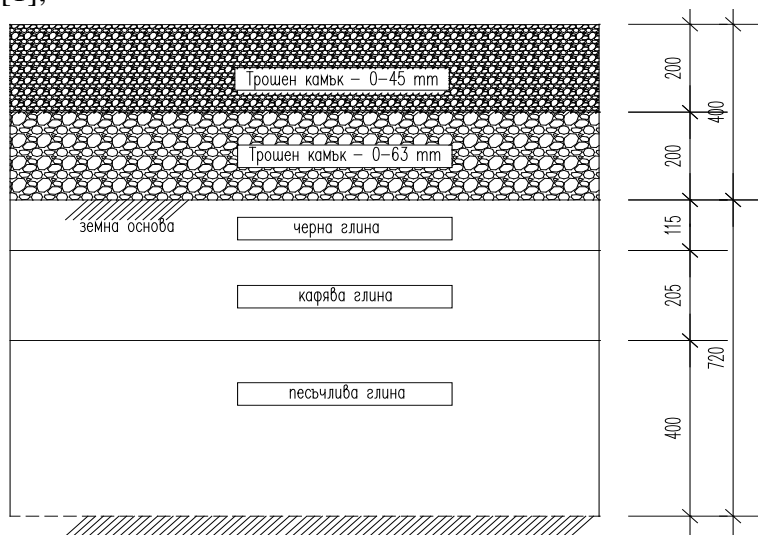
Разработени са два тестови участъка, изпълнени в рамките на производственото хале (фиг.2) – 1А и 1Б. В участък 1А се подменят горните 40cm от земната основа с два пласта по 20cm от различна фракция трошен камък. В участък 1Б се подменят горните 20cm. Доставен е трошен камък с подходящ зърнометричен състав по БДС EN 933-1:2012 [2] от 0 до 63 mm за долния слой с дебелина 20 cm и от 0 до 45 mm за горния слой с дебелина 20 cm, като коефициентът на разнозърност трябва да е над 15. Използваната механизация е: вибровалък с тегло 10t, колесен багер с обратна лопата, мини – челен товарач.



Фиг. 2. Площадка предназначена за изграждане на опитните варианти

- **Вариант 1А** (фиг. 3):

1. Трасиране и направа на изкоп до дълбочина 0,4m и извършване на стандартно измерване с натискова плоча по дъното му съгласно [1];
2. Полагане и уплътняване на пласт с дебелина 20cm от трошен камък 0-63 mm, чрез най-малко 10 преминавания на виброваляк с тегло 10t;
3. Провеждане на стандартно измерване с натискова плоча по уплътнения слой на насипа съгласно [1];
4. Полагане и уплътняване на пласт с дебелина 20cm от трошен камък 0-45 mm чрез най-малко 10 преминавания на виброваляк с тегло 10t;
5. Провеждане на стандартно измерване с натискова плоча по повърхността на готовия насип съгласно [1];

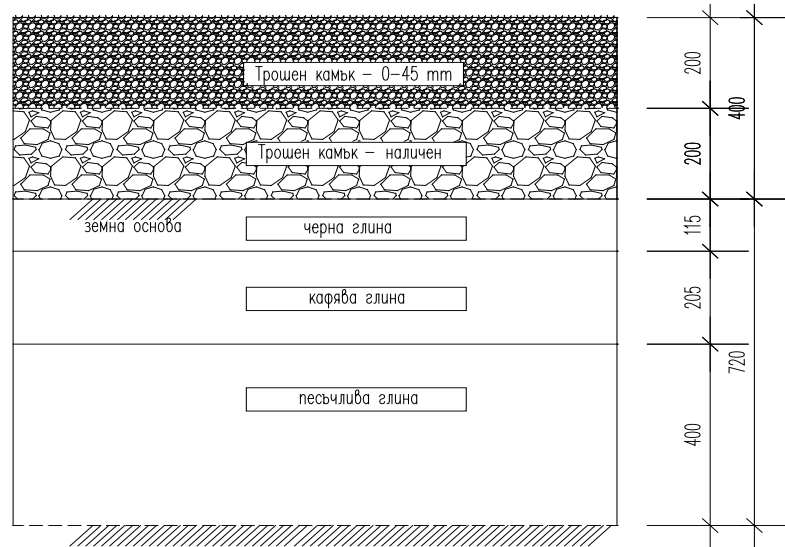


Фиг. 3. Схема на вариант 1А

- **Вариант 1Б** (фиг. 4):

1. Трасиране и направа на изкоп до дълбочина 0,2m и уплътняване на наличния пласт, чрез най-малко 10 преминавания на виброваляк с тегло 10t;

2. Провеждане на стандартно измерване с натискава плоча по дъното му съгласно [1];
3. Полагане и уплътняване на пласт с дебелина 20cm от трошен камък  $\varnothing$ :45 mm чрез най-малко 10 преминавания на виброваляк с тегло 10t;
4. Провеждане на стандартно измерване с натискава плоча по повърхността на готовия насип съгласно [1];



Фиг. 4. Схема на вариант 1Б

Направени са компютърни модели на изпитваните варианти с програмата Plaxis, по метода на крайните елементи, с предварително приети характеристики на пластовете.

Физични и механични характеристики на почвата и материалите приети в моделите:

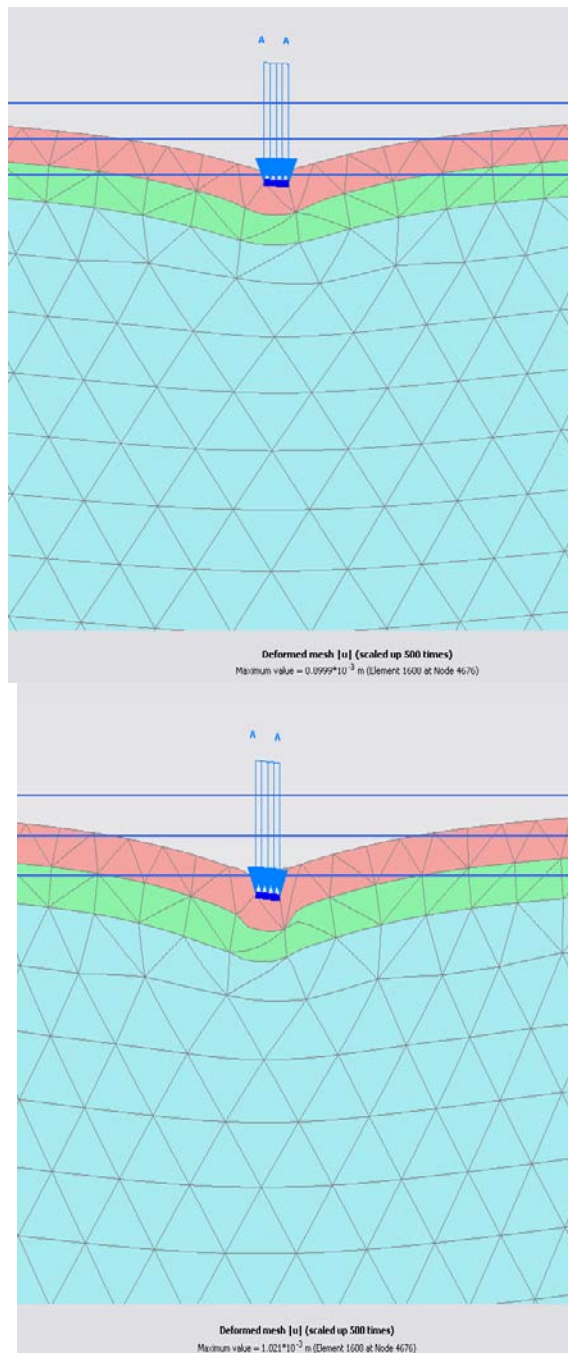
Земена основа:  $\gamma = 18,4 \text{ kN/m}^3$ ;  $\varphi = 5,3^\circ$ ;  $c = 24 \text{ kPa}$ ;  $E_0 = 14,7 \text{ MPa}$  (Модул на обща деформация);  $E_{\text{ел}} = 30 \text{ MPa}$  (Модул на еластичност);  $\nu = 0,4$  (коефициент на Poisson).

Наличен насип:  $\gamma = 17,3 \text{ kN/m}^3$ ;  $\varphi = 34^\circ$ ;  $c = 5 \text{ kPa}$ ;  $E_0 = 40 \text{ MPa}$  (Модул на обща деформация);  $E_{\text{ел}} = 200 \text{ MPa}$  (Модул на еластичност);  $\nu = 0,25$  (коефициент на Poisson).

Трошен камък  $\varnothing$ :63 mm:  $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$ ;  $\varphi = 40^\circ$ ;  $E_0 = 100 \text{ MPa}$  (Модул на обща деформация);  $E_{\text{ел}} = 400 \text{ MPa}$  (Модул на еластичност);  $\nu = 0,2$  (коефициент на Poisson).

Трошен камък  $\varnothing$ :45 mm:  $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$ ;  $\varphi = 40^\circ$ ;  $E_0 = 120 \text{ MPa}$  (Модул на обща деформация);  $E_{\text{ел}} = 450 \text{ MPa}$  (Модул на еластичност);  $\nu = 0,2$  (коефициент на Poisson).

Натоварването в модела е прието 45kPa, разпределено върху печат с диаметър 30cm. по теорията на Mohr-Coulomb.



**Фиг. 5. Модел по МКЕ на Вариант 1А и Вариант 1Б**

Слягане при Вариант 1А – 0,90mm

Слягане при Вариант 1Б – 1,02mm

### **5. Анализ на резултатите**

Проведени са плануваните изследвания с натискава плоча и са съставени протоколи. Най-характерните изводи от тези изследвания са, че в повечето случаи има голяма разлика между първия и втория модул на деформация, а модулите на еластичност са относително големи.



## РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗПИТВАНЕТО ВАРИАНТ 1А

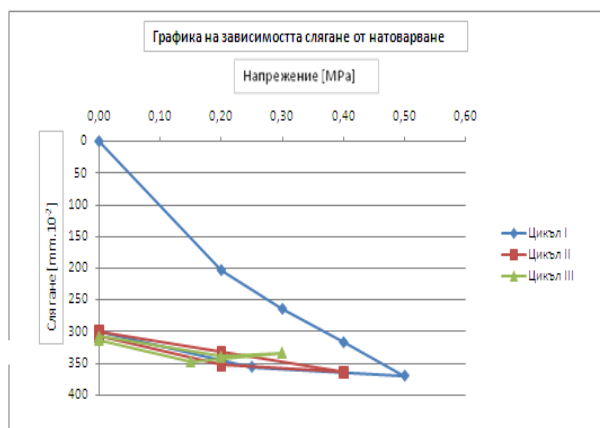
Цикъл	Натоварване върху почвата [Мра]	Слягане на почвата под плочата [mm.10 <sup>-2</sup> ]						S <sub>1</sub> [mm]
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5,3</sub>	S <sub>1,3</sub>	
I	0,00	0	0	0	0	0	0	
	0,20	228	227	154	609	203,0		
	0,30	293	292	207	792	264,0		
	0,40	348	350	252	950	316,7		
	0,50	405	406	297	1108	369,3		
	0,25	391	392	283	1066	355,3		
II	0,00	336	335	227	898	299,3	0,70	
	0,20	368	367	259	994	331,3		
	0,40	401	401	290	1092	364,0		
	0,20	390	389	279	1058	352,7		
III	0,00	345	344	234	923	307,7	0,56	
	0,20	377	376	265	1018	339,3		
	0,30	331	390	278	999	333,0		
	0,15	384	383	274	1041	347,0		
	0,00	350	348	240	938	312,7	0,20	

Цикъл	Деформационен модул [Мра]							Модул на еластичност [Мра]		
	Натоварване [Мра]			Слягане [mm.10 <sup>-2</sup> ]				P	S <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>
	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> -P <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	E			
I	0,50	0,20	0,30	369,3	203,0	166,3	40,6	0,5	0,70	192,9
II	0,40	0,00	0,40	364,0	299,3	64,7	139,2	0,4	0,56	191,7
III	0,30	0,00	0,30	333,0	307,7	25,3	266,4	0,3	0,20	398,4
$E_2 : E_1 = 3,429653 > 2,2$								$E_{e, ек} = 261,0$		

$$E = 0,75 \cdot D \cdot (\Delta P / \Delta S)$$

$$D = 0,30 \text{ m}$$

$$E_e = 0,9 \cdot D \cdot (P / S_e)$$



Вариант 1А дава резултати под граничната стойност за пълно слягане при първи цикъл на натоварване – 3,7mm < 4mm, докато при Вариант 1Б тази стойност е надвишена – 5,74mm. Респективно сляганията за стойност на натоварването 45kPa, отчетени от зависимостта напрежения - деформации са по-малки от получените в компютърния модел и при двата опита.

В същото време, в резултат от проведените опити върху разкритата земна основа е установено, че стойностите на еластичния и деформационен модул, отчетени при изследването, имат по-висока стойност от приетите в компютърния модел (фиг. 7).

Отношението на получения към приетия деформационен модул  $E_0$  е 1,43.

Отношението на получения към приетия модул на еластичност  $E_{ел}$  е 2,75.

В модела са приети нови стойности на деформационните характеристики на земната основа:  $\gamma = 18,4 \text{ kN/m}^3$ ;  $\varphi = 5,3^\circ$ ;  $c = 24 \text{ kPa}$ ;  $E_0 = 21 \text{ MPa}$  (Модул на обща деформация);  $E_{ел} = 80 \text{ MPa}$  (Модул на еластичност),  $\nu = 0,4$  (коефициент на Poisson).

## РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗПИТВАНЕТО ВАРИАНТ 1Б

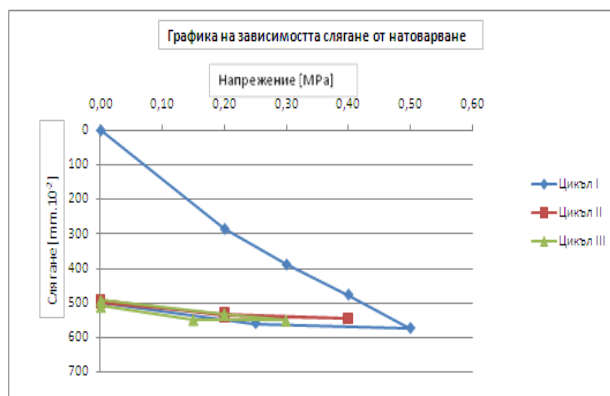
Цикъл	Натоварване върху почвата [Мра]	Слягане на почвата под плочата [mm.10 <sup>-2</sup> ]					
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>
	Мра						S <sub>7</sub> [mm]
I	0,00	0	0	0	0	0	
	0,20	396	242	220	858	286,0	
	0,30	523	313	332	1168	389,3	
	0,40	604	352	474	1430	476,7	
	0,50	710	433	578	1721	573,7	
	0,25	698	415	564	1677	559,0	
II	0,00	637	353	505	1495	498,3	0,75
	0,20	666	388	537	1591	530,3	
	0,40	690	393	550	1633	544,3	
	0,20	675	390	546	1611	537,0	
III	0,00	626	350	497	1473	491,0	0,53
	0,20	662	393	537	1592	530,7	
	0,30	682	413	553	1648	549,3	
	0,15	681	409	550	1640	546,7	
	0,00	645	368	515	1528	509,3	0,40

Цикъл	Деформационен модул [Мра]							Модул на еластичност [Мра]		
	Натоварване [Мра]			Слягане [mm.10 <sup>-2</sup> ]				P	S <sub>e</sub>	E <sub>e</sub>
P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> -P <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	E				
I	0,50	0,20	0,30	573,7	286,0	287,7	23,5	0,5	0,75	179,2
II	0,40	0,00	0,40	544,3	498,3	46,0	195,7	0,4	0,53	202,5
III	0,30	0,00	0,30	549,3	491,0	58,3	115,7	0,3	0,40	202,5
E <sub>2</sub> :E <sub>1</sub> = 8,338164 > 2,2							E <sub>e, ср.</sub> = 194,7			

$$E = 0,75 \cdot D \cdot (\Delta P / \Delta S)$$

$$D = 0,30 \text{ m}$$

$$E_e = 0,9 \cdot D \cdot (P / S_e)$$



Фиг. 6. Резултати от изследвания с натискава плоча на Варианти 1А и 1Б

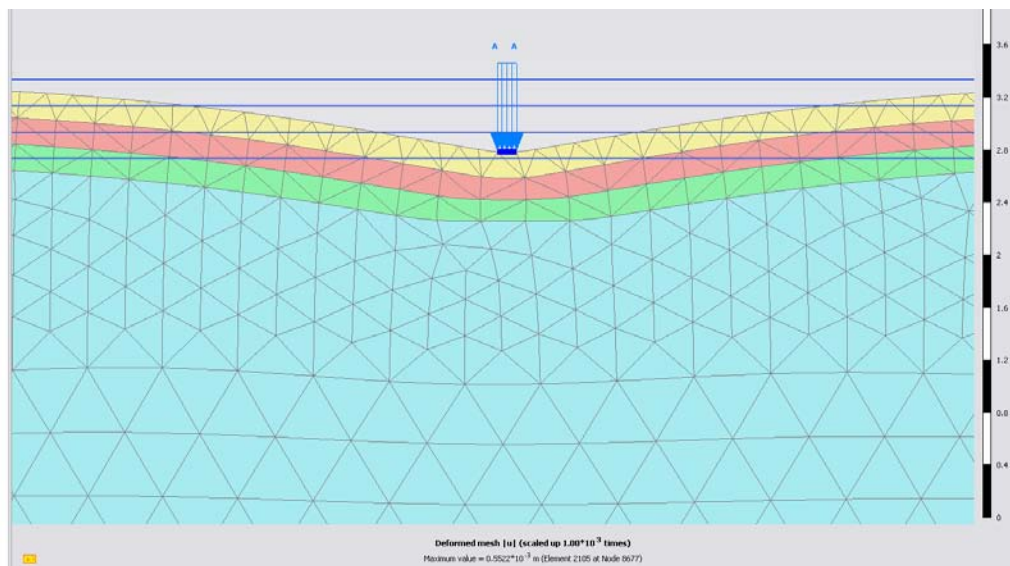
Цикъл	Деформационен модул [Мра]							Модул на еластичност [Мра]		
	Натоварване [Мра]			Слягане [mm.10 <sup>-2</sup> ]				P	S <sub>e</sub>	E <sub>e</sub>
P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> -P <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	E				
I	0,50	0,20	0,30	431,7	116,3	315,3	21,4	0,5	1,64	82,5
II	0,40	0,00	0,40	382,7	268,0	114,7	78,5	0,4	0,99	108,7
III	0,30	0,00	0,30	355,3	283,3	72,0	93,8	0,3	0,69	116,8
E <sub>2</sub> :E <sub>1</sub> = 3,666667 > 2,2							E <sub>e, ср.</sub> = 102,7			

Фиг. 7. Резултати от изследвания с натискава плоча на земната основа

Стоманобетонна настилка:  $\gamma = 24,0 \text{ kN/m}^3$ ;  $\varphi = 42^\circ$ ;  $c = 300 \text{ kPa}$ ;  $E_{\text{ел}} = 25000 \text{ MPa}$  (Модул на еластичност на бетона),  $\nu = 0,1$  (коэффициент на *Poisson*).

Въз основа на резултатите от полевите изследвания се коригират компютърните модели и получените резултати са основа за избор на вариантно решение за подобряване на земната основа. Получават се достатъчно ниски стойности за сляганията под печат с диаметър 30 cm и натоварване от 45 kPa.





Фиг. 8. Модел по МКЕ на Вариант 1А със стоманобетонна настилка 20см.

Резултатите за слягането от модела по МКЕ за Вариант 1А със стоманобетонна настилка 20см е  $s = 0,55\text{mm}$ . За гранично слягане е приета стойността  $0,7\text{mm}$ .

## 6. Изводи и заключения

- Замяната на съществуващата земна основа с два пласта трошен камък е по-подходящият вариант за решение в конкретната ситуация. Постигат се експлоатационните изисквания и е налична необходимата механизация за изпълнението му. Материалите за насипа трябва да съответстват на [2]. Земната основа и насипните пластове да се уплътняват с вибровалък 10t с по 10 проходки през точка.
- Съответствието между физическия и компютърния модел се постига при завишаване на стойностите на еластичния и деформационния модул на земната основа. При едни и същи дебелини на пластове и първоначално приети модули на еластичност се получават разлики в сляганята от порядъка на 40÷60%. Това може да се обясни с големия диапазон на модулите на земната основа, дължащ се на нееднородността и нехомогенността на почвата и локалните ефекти влияещи върху резултатите от опитите.
- Остатъците от хумус под насипа следва да се изгребат и затова новият насип ще бъде дебел поне 60 cm, което значително ще повиши коравината на пътната конструкция.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. БДС 15130-80, Почви строителни. Определяне на еластичния и деформационен модул чрез натоварване с кръгла плоча.
- [2]. БДС EN 933-1:2012, Изпитвания за определяне на геометричните характеристики на скалните материали. Част 1: Определяне на зърнометричния състав. Метод чрез пресяване.
- [3]. БДС EN 1997-1.: Геотехническо проектиране. Основни правила.
- [4]. БДС EN 1997-2.: Геотехническо проектиране. Изследване и изпитване на земната основа.
- [5]. Дингозов, Г.А., Т.Етимов, Б.Киров, Фундиране в слаби почви, Техника, София, 1980.

- [6]. Илов, Г., Т.Германов, Ж.Желев, Б.Киров, Д.Денев, Л.Михова, Р.Върбанов, А.Тоцев, М.Тодоров, Ив.Иванов, РЪКОВОДСТВО по геотехника, КИИП, София, 2012.
- [7]. Етимов, Т., Земна механика. Фундиране, АБС Техника, София, 2011.
- [8]. Michova, L., C. Kolev - Improvement of the Soil under the Concrete Pavement of a Plant's Hall - Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013
- [9]. Евстатиев, Д. - Методи за подобряване на строителни почви, С. БАН, 2009.

## **GROUND FOUNDATION IMPROVEMENT IN THE TERRITORY OF THE CONSTRUCTION FIELD**

**Ivaylo Anastasov, Chavdar Kolev**  
[ivailo\\_an@abv.bg](mailto:ivailo_an@abv.bg), [ch\\_kolev@abv.bg](mailto:ch_kolev@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia 1574, 158 Geo Milev Str.,  
BULGARIA*

**Key words:** *weak soil, plate loading test, in-situ tests, test results, FEM*

**Abstract:** *The presented results are of field experiments aiming to improve the ground in concrete warehouse situated on weak ground base. Two test areas are executed. The blades include the removal of the existing embankment and its replacement with new in two options. Measurements of the elastic and the deformation modulus are with static plate according to BDS 15130-80 and performed every stage of the trial areas. For this purpose, the following equipment is used: vibro roller weighing 10t, a wheel backhoe excavator, mini - wheel loader, cutter Asphalt Zipper. The suitability of the ground for reliable operation in the future production process in the building is evaluated. A numerical model with FEM is developed, the results were compared with those of in-situ experiments and the technical solution is optimized. Two versions of the ground are modelled, the first of which is based on the Mohr-Coulomb Theory, and the second one – on the Boussinesq Linear elasticity Theory. After selecting the design decisions in the course of construction extra in-situ tests were performed to establish the design parameters of the finished structure. Optimization is achieved of the design solution by iterative complement the analytical model with experimental results.*