



Получена: 31.05.2019 г.

Приета: 01.07.2019 г.

ПОДОБРЯВАНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА ЧРЕЗ ИМПУЛСНО УПЛЪТНЯВАНЕ – ПРАКТИЧЕСКИ ПРИМЕР С ЕДНОФАМИЛНА КЪЩА В ГР. СОФИЯ

Н. Милев¹, И. Иванов², П. Дюлгеров³, Г. Георгиев⁴

Ключови думи: импулсно уплътняване, механични почвени параметри, неуплътнен насип, носимостпособност на земната основа, слягания под фундаменти

РЕЗЮМЕ

Представен е методът за подобряване на механичните параметри на земната основа чрез импулсно уплътняване. Възприетият подход е демонстриран чрез практически пример – еднофамилна къща в кв. Горна баня (гр. София). Статията описва спецификата на геоложките условия, наложили избора на технологията, като специално внимание е обърнато върху параметрите на използваната механизация и количественото и качествено остойносттаване на постигнатия ефект от уплътняването.

1. Въведение

Обект на настоящата разработка е еднофамилна къща, намираща се в гр. София, кв. Горна Баня, местност „в.з. Горна баня“, р-н „Овча купел“. Къщата се състои от един сугеренен и два надземни етажа. Конструкцията на сградата е монолитна, стоманобетонна – скелетно безгредова. Съставена е от безгредови плочи, предаващи вертикално и хоризонтално натоварване върху колони и стени, които от своя страна стъпват върху фундаментна конструкция.

¹ Николай Милев, гл. ас. д-р инж., кат. „Геотехника“, ФТС, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: milev_fte@uacg.bg

² Ивайло Иванов, доц. д-р инж. геол., кат. „Геотехника“, ФТС, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bulgeo@dir.bg

³ Павел Дюлгеров, инж., „Йода“ ООД, ул. „Купените“ 10, 1618 София, e-mail: office@yoda-bg.com

⁴ Георги Георгиев, инж., „Йода“ ООД, ул. „Купените“ 10, 1618 София, e-mail: office@yoda-bg.com

Характерна особеност на разглеждания обект са геоложките условия под фундаментната конструкция – слабо уплътнени насипи с различна възраст, достигащи до дълбочина от около 10 m. За да бъдат предотвратени прекомерни абсолютни и неравномерни слягания на сградата, фундирането е решено с фундаментна плоча с дебелина 40 cm, а като допълнителна мярка е възприето импулсно уплътняване на земната основа за целите на подобряването на механичните почвени параметри.

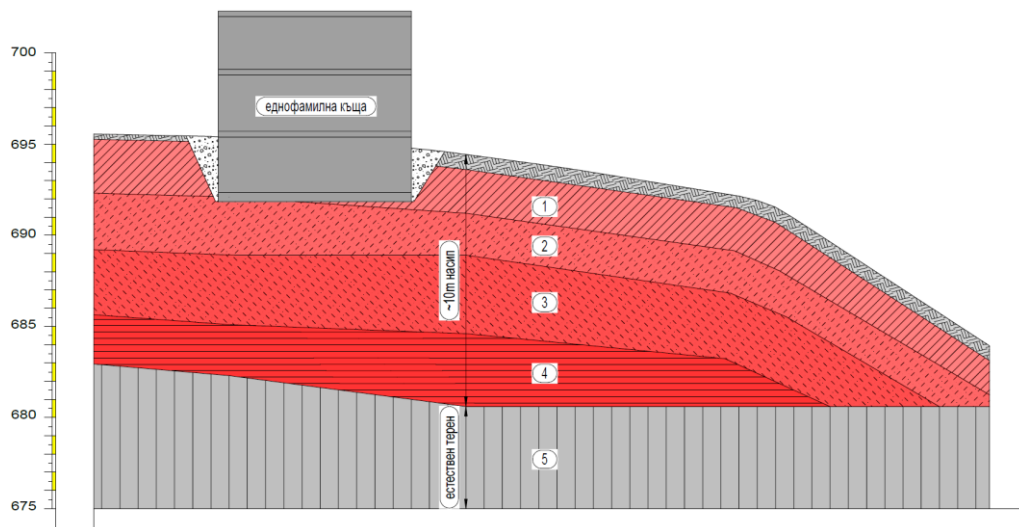
2. Геоложки особености на терена

Релефът в района е хълмист, с наклон на юг – югоизток около 20°. Теренът е стар овраг (дере) с дълбочина над 10 m, което е запълнено с насипи. Средната кота на терена се изменя от около 697 m в северния край до около 690 m в южния, където има стръмен откос в насипа, който стига до дъното на дерето. Откосът е с височина 6 – 8 m и наклон около 45°. Насипите са сравнително слабо уплътнени, като при полагането им най-вероятно не са проведени допълнителни мероприятия за уплътняването им – то се дължи на процесите на естествено уплътняване под действието на геоложкия товар. Установените геоложки разновидности са представени на в табл. 1.

Таблица 1. Стратиграфия и почвени параметри

Кота [m]	Дълбочина на пласта [m]	Мошност на пласта [m]	Литоложка колонка	Описание на пласта	Характеристични стойности на почвените параметри		
					Якостни	Деформационни	Физични
696.00	0.00	0.20	1	Съвременен насип - глина, пясък, чакъл, строителни и битови отпадъци	$\phi'_k = 10^\circ$ $c'_k = 7$ kPa $c_{u,k} = 77.8$ kPa	$E_{oed,100} = 6.10$ MPa $E_{oed,200} = 6.10$ MPa $E_{oed,300} = 6.10$ MPa $E_{d,100} = 6.10$ MPa $E_{d,200} = 6.10$ MPa $E_{d,300} = 6.10$ MPa	$\gamma_{n,k} = 18.50$ kN/m ³ $\gamma_{r,k} = -$ kN/m ³ $\gamma_{s,k} = -$ kN/m ³ $\gamma_{d,k} = -$ kN/m ³ $\gamma'_k = 8.50$ kN/m ³
695.80	0.20	2.80	2	Съвременен насип - пясъчлива глина, кафява до тъмнокафява, с дребни до средни чакли, корени и отпадъци	$\phi'_k = 19^\circ$ $c'_k = 20$ kPa $c_{u,k} = 46.10$ kPa	$E_{oed,100} = 3.60$ MPa $E_{oed,200} = 3.60$ MPa $E_{oed,300} = 3.60$ MPa $E_{d,100} = 3.60$ MPa $E_{d,200} = 3.60$ MPa $E_{d,300} = 3.60$ MPa	$\gamma_{n,k} = 18.50$ kN/m ³ $\gamma_{r,k} = 18.99$ kN/m ³ $\gamma_{s,k} = 26.80$ kN/m ³ $\gamma_{d,k} = 14.30$ kN/m ³ $\gamma'_k = 9.00$ kN/m ³
693.00	3.00	2.60	3	Стар насип - смесена почва - глина, пясък, чакъл, жълтокафява	$\phi'_k = 32.83^\circ$ $c'_k = 7.8$ kPa $c_{u,k} = 71.1$ kPa	$E_{oed,100} = 5.60$ MPa $E_{oed,200} = 5.60$ MPa $E_{oed,300} = 5.60$ MPa $E_{d,100} = 11.20$ MPa $E_{d,200} = 11.20$ MPa $E_{d,300} = 11.20$ MPa	$\gamma_{n,k} = 20.30$ kN/m ³ $\gamma_{r,k} = 20.36$ kN/m ³ $\gamma_{s,k} = 27.10$ kN/m ³ $\gamma_{d,k} = 16.50$ kN/m ³ $\gamma'_k = 10.30$ kN/m ³
684.40	11.60	4.50	4	Стар насип - пясъчлива глина с чакли, тъмносива	$\phi'_k = 14.57^\circ$ $c'_k = 12$ kPa $c_{u,k} = 71.1$ kPa	$E_{oed,100} = 13.40$ MPa $E_{oed,200} = 13.40$ MPa $E_{oed,300} = 13.40$ MPa $E_{d,100} = 26.80$ MPa $E_{d,200} = 26.80$ MPa $E_{d,300} = 26.80$ MPa	$\gamma_{n,k} = 18.20$ kN/m ³ $\gamma_{r,k} = 18.51$ kN/m ³ $\gamma_{s,k} = 26.80$ kN/m ³ $\gamma_{d,k} = 13.60$ kN/m ³ $\gamma'_k = 8.20$ kN/m ³
679.90	16.10	8.00	5	Естествен терен - глина, жълтокафява	$\phi'_k = 17.22^\circ$ $c'_k = 16.7$ kPa $c_{u,k} = 50$ kPa	$E_{oed,100} = 5.64$ MPa $E_{oed,200} = 6.50$ MPa $E_{oed,300} = 9.98$ MPa $E_{d,100} = 11.28$ MPa $E_{d,200} = 13.00$ MPa $E_{d,300} = 19.96$ MPa	$\gamma_{n,k} = 16.90$ kN/m ³ $\gamma_{r,k} = 17.70$ kN/m ³ $\gamma_{s,k} = 27.40$ kN/m ³ $\gamma_{d,k} = 12.12$ kN/m ³ $\gamma'_k = 7.70$ kN/m ³

Съгласно установените мощности на почвените разновидности, фундаментната конструкция на сградата попада в Пласт 1, на разстояние около 8 m (включващо в себе си Пласт 2, Пласт 3 и Пласт 4 – всички те, насипи на различна възраст) от достигане на естествените геоложки образувания (Пласт 5) – фиг. 1. От резултатите от инженерно-геоложките проучвания е видно, че якостните и деформационните характеристики на насипите са със значително по-ниски стойности спрямо тези на естествените почви. Големата им мощност прави тяхното локално отстраняване нецелесъобразно, като единственият друг възможен подход за предаване на натоварването в пласта със удовлетворителни механични параметри (Пласт 5) остава дълбоко фундиране, което би придало значителна икономическа тежест на строителството на еднофамилна къща.



Фиг. 1. Геоложки разрез на разглеждания терен

3. Възприет подход

Въз основа на гореизложеното е възприет методът „импулсно уплътняване“ (инновативна технология, която е особено ефективна при фундиране в слабо уплътнени почви – [2]) от гледна точка на пригаждане на насипната зона за целите на строителството чрез намаляване на нейната деформируемост и повишаване на носимоспособността ѝ. Благоприятното модифициране на механичните почвени параметри чрез прилагане на тази модерна технология позволява разполагане на плоскостния фундамент директно в насипната зона, като същевременно прави решението оптимално от технико-икономическа гледна точка.

3.1. Описание на технологията за импулсно уплътняване

Импулсното уплътняване е технология, която е базирана на високочестотни удари върху земната основа, посредством хидравлични ударни чукове – [4]. По този начин се повишава степента на уплътняване на почвите, а с това и якостно-деформационните им параметри. Изборът на този метод в подходящи за целта почвени условия позволява

осъществяването на надеждното предаване на товарите от фундаментната плоча към земната основа, без да има опасност от недопустими слягания или от недостатъчна носимоспособност. Предимство на метода е значително по-голямата дълбочина на действие, в сравнение с традиционните методи за повърхностно уплътняване (статично/динамично валиране или ръчни трамбовки). От друга страна уплътняването с тежки трамбовки е значително по-бавно и скъпо струващо.

3.2. Параметри на използваната механизация

Верижната машина за импулсно уплътняване се състои от тежка стоманена плоча, ударен капак и падаща тежест – фиг. 2. Техническите параметри (маса, височина на падане, брой и честота на ударите) определят извършената уплътнителна работа. В зависимост от желаната степен на уплътняване и спецификата на почвения профил, тези технически параметри се подбират индивидуално за всеки обект. Контролът се осъществява чрез взимане на проби преди, по време и след уплътняването и оценяване на степента на подобряване на физичните и якостно-деформационните характеристики на почвата.

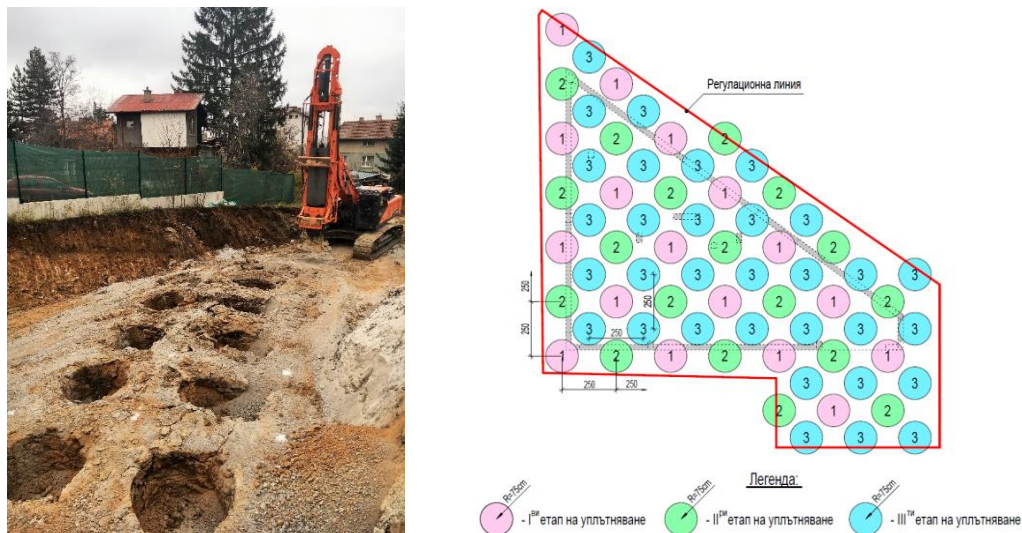
В проекта е предвидено уплътняване чрез импулсен уплътнител с базова машина верижен багер. На мястото на стрелата се монтира мачта с тежест от 9 t, която пада от регулирана височина върху трамбовашо устройство с форма, наподобяваща на камбана. Енергията от удара се предава на плоча с диаметър от 1,5 m. Скоростта на работа на машината е 35 – 45 удара в минута или до достигане на максимално допустимото потъване на тежестта от 80 cm.



Фиг. 2. Машина за импулсно уплътняване

3.3. Последователност на уплътняване

Предвидено е уплътняване на 3 проходки от по 3 цикъла посредством плоча с диаметър 1,5 m в мрежа с размери 2,5×2,5 m, която е развита под фундаментната плоча. Уплътняването е извършено след достигане на кота на изкопа –3,65 (абсолютна кота +692,45). Кратерите, възникнали в зоните на уплътняване при всяка проходка, са запълнени с подходящ почвен материал, след което са валирани (уплътнени) до хомогенизация на повърхността – [3].



Фиг. 3. Схема на последователността на уплътняване

3.4. Критерии за ефективност на уплътняването

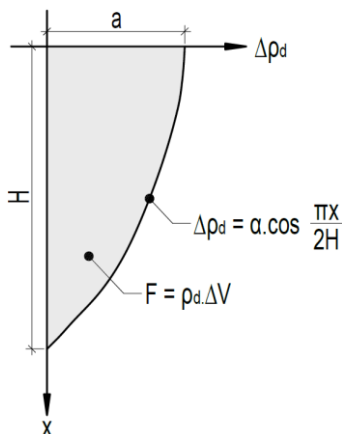
Предварително ефективността на уплътняването е определена прогнозно на база отношение между слягането на печата на трамбовката s и общия обем на уплътняваната почва V – [1].

дълбочина на уплътняване:	$H = 6.00$ m
осово разстояние между точки на уплътняване:	$L = 2.50$ m
обем на уплътняемата почва:	$V = 14.73$ m ³
диматър на уплътняващата плоча:	$D = 1.50$ m
площ на печата на трамбовката:	$A = 1.77$ m ²
слягане на печата:	$s = 0.60$ m
уплътнен обем:	$\Delta V = 1.06$ m ³
обемна плътност на скелета (преди уплътняване):	$\rho_d = 1.50$ gr/cm ³
обемна плътност на скелета (след уплътняване):	$\rho_{dd} = 1.73$ gr/cm ³
средната стойност на увеличение на обемната плътност на скелета	$\Delta\rho_d = 16\%$

Фиг. 4. Параметри на уплътняването

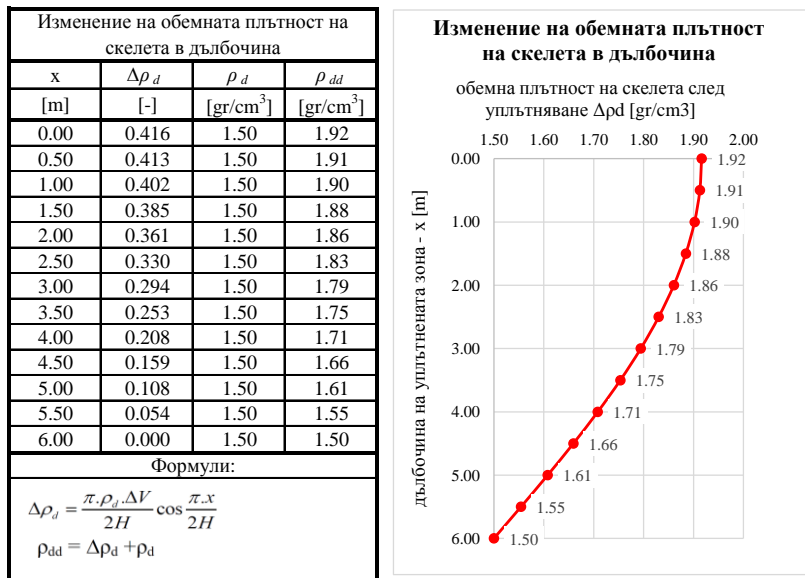
Съгласно приетите в проектното решение параметри (диаметър на печата и осово разстояние между точките на уплътняването), както и почвените характеристики на уплътняваната земна основа, може бъде изчислена средната стойност на обемната плътност на скелета след уплътняването ρ_{dd} .

Краен резултат от приложената числена процедура е средната стойност на обемната плътност на скелета след уплътняване. В действителност обемната плътност на скелета няма константна стойност, а се изменя неравномерно в дълбочина.



Фиг. 5. Изменение на обемната плътност на скелета в дълбочина по cos-инов закон

Изменението на обемната плътност на скелета $\Delta\rho_d$, с която нараства първоначалната обемна плътност (преди уплътняване), може да бъде представено като зависимост на обема на уплътнената под трамбовката почва ΔV и дълбочината на ефективната зона на уплътняване H – фиг. 5 и фиг. 6.



Фиг. 6. Изменение на обемната плътност за конкретния случай

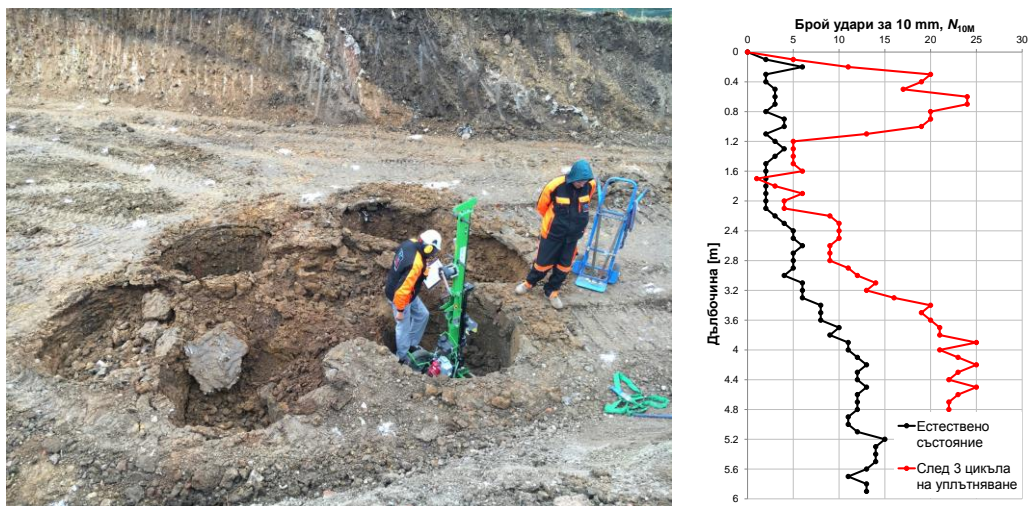
На база на направени приемания за дълбочина на уплътняване, слягане на печата на трамбовката и разстояние между точките на уплътняване, е дефинирано изменението на обемната плътност на скелета в дълбочина.

4. Постигнати резултати от импулсното уплътняване

Доказването на ефективността на уплътняването чрез взимане на проби от уплътнената почва и съответно лабораторно тестване за определяне на обемната плътност на скелета е трудно за организация в практиката. Алтернативен метод е динамичното полево изпитване (DPT), което има предимно качествен характер – [5]. Направената предварителна оценка предвижда ефектът на подобряване на механичните почвени параметри да обхваща пласт с мощност около 8 m – зоната непосредствено над естествено образувания, от геоложка гледна точка, Пласт 3.

Приетият критерий за ефективно прилагане на подхода с импулсно уплътняване е констатирането на завишаване на резултатите от динамичен пенетрационен тест поне два пъти спрямо тези от изпитване на състоянието на насипите преди тяхното третиране.

След завършване на трите цикъла импулсно уплътняване е проведено динамично полево изпитване чрез пенетрометър от среден тип (DPH). Количественото сравнение на постигнатия ефект е представено чрез графика „брой удари N_{10M} – дълбочина“. Резултатите доказват положителния ефект от приложението на метода за подобряване на якостните и деформационните параметри на земната основа – фиг. 6.



Фиг. 7. Сравнение на резултатите от динамичната пенетрация преди и след уплътняване на земната основа

5. Заключение

Приложеният метод за подобряване на почвените условия чрез импулсно уплътняване е технико-икономически целесъобразен и показва задоволителни резултати в количествено и качествено измерение за конкретния проект. Възприемането на подхода не

е универсално и следва да бъде внимателно оценено всеки път на база на типа на конструкцията и геоложките условия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Божинов, Б.* Практиката у нас за дълбоко уплътняване на строителни почви. София, 2017.

2. *Тоцев, А., А. Колер, Д. Димитров.* Импулсно уплътняване на земната основа – една съвременна технология. Индекс Пътища, София, 2010.

3. *Adam, D., I. Paulmichl.* Impact compactor – an innovative dynamic compaction device for soil improvement. In: Proc. 8th International Geotechnical Conference (June 4-5, 2007, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia), pp. 183-192, 2007.

4. BSP International Foundations Ltd. Rapid Impact Compaction – Technical Sheets, Brochures, 2013.

5. *Falkner, F. J., C. Adam, I. Paulmichl, D. Adam, J. Fürpass.* Rapid impact compaction for middle-deep improvement of the ground – numerical and experimental investigation. In: 14th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering "From Research to Design in European Practice", June 2-4, 2010, Bratislava, Slovakia, CD-ROM paper, 10 pp., 2010.

IMPROVEMENT OF MECHANICAL SOIL PARAMETERS BY APPLICATION OF RAPID COMPACTION – CASE STUDY OF A RESIDENTIAL HOUSE IN SOFIA

N. Milev¹, I. Ivanov², P. Dyulgerov³, G. Georgiev⁴

Keywords: *rapid compaction, mechanical soil parameters, backfill, soil bearing capacity, foundation settlement*

ABSTRACT

An approach for improvement of mechanical soil parameters by application of the rapid compaction technique is presented in this study. The chosen approach is demonstrated by means of a case study – a residential house in Gorna Banya (Sofia). The paper describes the specific geological conditions which have caused the adoption of such technology. Special attention is paid to the mechanical equipment input and to the qualitative and quantitative evaluation of the compaction effect.

¹ Nikolay Milev, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geotechnics", UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: milev_fte@uacg.bg

² Ivaylo Ivanov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geotechnics", UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: bulgeo@dir.bg

³ Pavel Dyulgerov, Eng., Yoda Ltd., 10 Kупenite St., Sofia 1618, e-mail: office@yoda-bg.com

⁴ Georgi Georgiev, Eng., Yoda Ltd., 10 Kупenite St., Sofia 1618, e-mail: office@yoda-bg.com