



Получена: 27.01.2020 г.

Приета: 29.05.2020 г.

ПОДОБРЯВАНЕ НА СЕИЗМИЧНОТО РЕАГИРАНЕ НА СИСТЕМАТА „ЗЕМНА ОСНОВА – ФУНДАМЕНТИ – ВРЪХНА КОНСТРУКЦИЯ” ЧРЕЗ ОФОРМЯНЕ НА ЦИЛИНДРИЧНИ КАМЕНОВИДНИ ТЕЛА И ЗАВИШАВАНЕ НА СТОЙНОСТИТЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ПОЧВЕНИ ПАРАМЕТРИ ПОСРЕДСТВОМ ИНЖЕКТИРАНЕ НА ЦИМЕНТОВ РАЗТВОР ПОД ВИСОКО НАЛЯГАНЕ („ДЖЕТ ГРАУТИНГ“)

Н. Милев¹, Н. Керенчев², Б. Петров³, Е. Карадолами⁴

Ключови думи: джет граутинг монофлуидна система, фундаментна плоча, подобряване на механичните параметри на почвата, усилване на фундаменти

РЕЗЮМЕ

Представен е пример от практиката, който демонстрира усилване на системата „почва – фундамент”. Разглежданата конструкция на сградата е стоманобетонна (колони, греди и плочи за поемане на вертикалните товари и стени за поемане на сеизмичното въздействие) и е проектирана през 2007 г. Според оригиналния проект, сградата е с 14 етажа и 5 подземни нива. Изпълнението започва през 2008 г. и е прекъснато през 2010 г. За период от 2 години са изпълнени единствено подземните нива. Поради промени в инвестиционните намерения е решено сградата да бъде надстроена с 4 допълнителни етажа, както и да се смени функцията – от офиси на жилища. За тази цел е разработен проект за усилване. Проектът включва редица мерки, свързани с връхната конструкция, като допълнение към подобрението на системата почва – фундаменти.

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

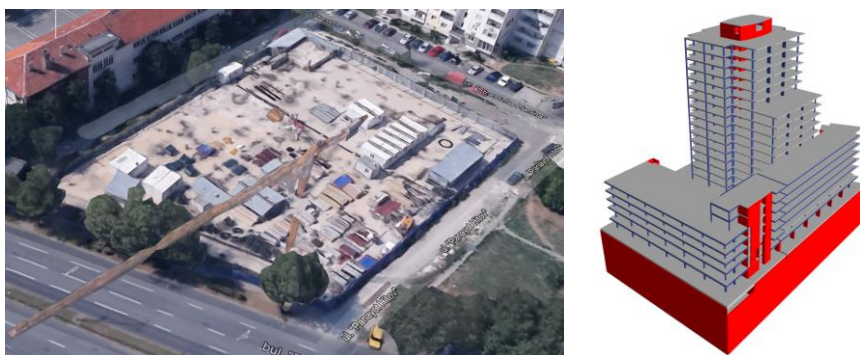
² Николай Керенчев, гл. ас. д-р инж., кат. „Геотехника”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kerechev@hotmail.com

³ Боян Петров, гл. ас. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bpetrov_fce@uacg.bg

⁴ Едвин Карадолами, студент, ССС, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София

1. Въведение

Представен е пример от практиката, който демонстрира усилване на системата почва – фундамент. Разглежданата конструкция на сградата е стоманобетонна (колони, греди и плочи за поемане на вертикалните товари и стени за поемане на сеизмичното въздействие) и проектирана през 2007 г. Намира се в гр. Бургас. Според оригиналния проект сградата е с 14 етажа и 5 подземни нива. Изпълнението започва през 2008 г. и е прекъснато през 2010 г. За периода от 2 години са изпълнени единствено подземните нива. Поради промени в инвестиционните намерения е решено сградата да бъде надстроена с 4 допълнителни етажа, както и да се смени функцията – от офиси на жилища. За тази цел е разработен проект за усилване. Проектът включва редица мерки, свързани с връхната конструкция (репарации, стоманобетонни кожуси, изграждане на нови конструктивни елементи), като допълнение към подобрението на системата почва–фундаменти.



Фиг. 1. Съществуващо положение и пространствен изглед на конструкцията

Фундаментната конструкция на съществуващата част от сградата е фундаментна плоча. С цел редуциране на сляганията вследствие на допълнителното натоварване [9] от надстрояването на сградата, както и с цел увеличаване на стойностите на коефициента на леглото, заложен в изчислителния модел, е решено изпълнение на инжекционни колони по система „jet-grouting“, като комплексна мярка за подобряване на почвените характеристики и усилване на съществуващата фундаментна конструкция. Особеностите на съществуващото положение (светла височина в сутерена от 2,80 m) обуславят избраното решение като единствен вариант.

Технологията „Jet-grouting“ за подобряване на параметрите на земната основа (описана в [1, 7 и 8]) набира популярност през последните десетилетия [6]. Методът е с широк обхват на приложимост, примери за което са изпълнението на фундаменти, укрепващи конструкции, водоплътни прегради, тунелно строителство и др. Процесът на „jet-grouting“ инжектиране е известен и като цименто-почвено укрепване. Чрез високо налягане (400 bar) на струята от вода или циментова суспензия, достигаща скорост при изхода от дюзата ≥ 100 m/sec, структурата на почвата се нарушава, като впоследствие се инжектира циментова суспензия. Този процес позволява образуването на каменовидно тяло. Част от цименто-почвената смес се отвежда до повърхността на терена през пръстеновидното пространство между инжектиращата сонда и стените на сондажа. За нуждите на конкретния проект е приложена монофлуидна технология (описана в [4]) за изпълнение на „jet-grouting“ колони. При монофлуидната технология водоциментовият разтвор се инжектира през една или повече дюзи. В този случай оформянето на сондажа и последващото инжектиране се извършват чрез един и същ разтвор.

Приетото разпределение на 206 бр. „jet-grouting“ колони с диаметър 80 cm е показано на фиг. 2. Последователността на изпълнение се състои от шест основни етапа, както следва: 1) пробиване на отвори в съществуващата фундамента плоча; 2) изпълнение на „jet-grouting“ колони (дължина от 7 m и 5 m) чрез инжектиране на водоциментов разтвор под високо налягане; 3) монтаж на стоманени тръби (Ф114,3×8, дължина 5 m и 2,5 m) с цел предаване на товарите от фундаментната плоча към „jet-grouting“ колоните, както и за повишаване на носимоспособността им на натиск; 4) замонолитване на отвора между стоманените тръби и фундаментната плоча; 5) монтаж на армировъчни пръти в стоманените тръби, осигуряващи връзка с армировката, необходима за усилване на фундаментната плоча чрез кожух; 6) запълване на стоманените тръби със замонолитващ разтвор и усилване на фундаментната плоча чрез изпълнение на 15 cm доливане на горната ѝ повърхност (кожух).



Фиг. 2. План и разреза на приложния метод за усилване

2. Геоложки условия и доказване на постигнатите параметри на „джет-граутинг“ колоните

Геоложките условия на площадката са показани в табл. 1. Котата на фундиране е +9,05, което означава, че фундаментната плоча заляга в Пласт 3 (водонаситени плиоценски глини).

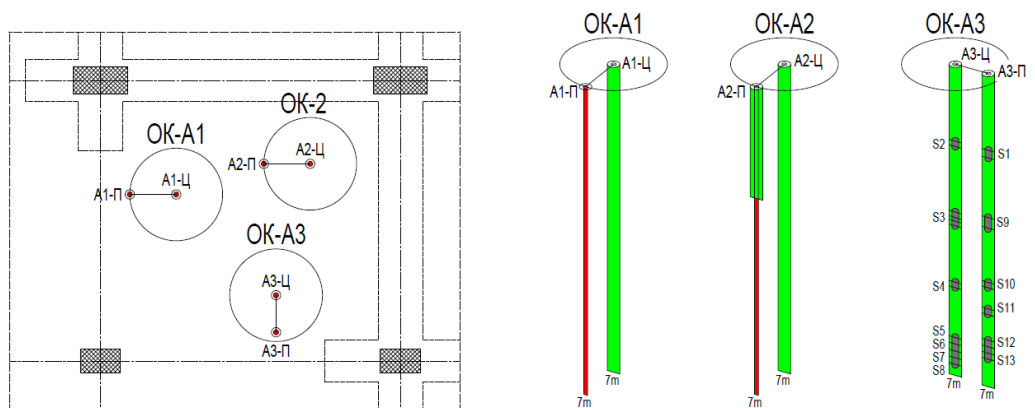
Обикновено в практиката е необходимо параметрите на „jet-grouting“ колоните (диаметър и механични характеристики) да кореспондират с почвените параметри (зърнометричен състав и якост на срязване) и метода на инжектиране (параметри на инжектиране). Въпреки това, тъй като пластовете, съставлящи земната основа, са разнородни по произход, механичните и геометричните характеристики на „jet-grouting“ колоните са променливи.

В представения пример е използван целесъобразен метод за доказване на диаметъра на изпълнените „jet-grouting“ колони [19]. Изпълнени са три опитни колони (ОК-А1, ОК-А2 и ОК-А3) с прилагане на три различни технологии на инжектиране. Впоследствие са изпълнени сондажи в центъра и по периферията (на разстояние 40 cm от центъра) на всяка една от трите опитни колони с цел доказване на проектния диаметър от поне

80 cm. Непрекъснатата ядка е извадена от цялата дължина на опитните колони – [12 и 14]. Крайната оценка се прави въз основа на това, дали третираната среда се наблюдава по цялата дължина на пробата или не. В конкретния случай опитни колони ОК-А1 и ОК-А2 показват незадоволителни резултати. За разлика от тях, постигнатият при опитна колона ОК-А3 диаметър е с необходимата големина (фиг. 3).

Таблица 1. Почвени параметри


Кота [m]	Дълбочина на пласта [m]	Мошност на пласта [m]	Литоложка колонка	Описание на пласта	Характеристични стойности на почвените параметри			
					Якостни и деформационни		Физични	
26.60	0.00	0.80	1	Тъмнокафява до светлокафява глина, кватернерна - Q	$E_{oed,100} = 4.75$ MPa $E_{oed,200} = 5.55$ MPa $E_{oed,300} = 9.10$ MPa $E_{d,100} = 9.50$ MPa $E_{d,200} = 11.10$ MPa $E_{d,300} = 18.20$ MPa $\phi'_k = 5^\circ$ $c'_k = 85$ kPa	$\gamma_{n,k} = 19.30$ kN/m ³ $\gamma_{r,k} = 19.60$ kN/m ³ $\gamma_{s,k} = 27.00$ kN/m ³ $\gamma_{d,k} = 15.20$ kN/m ³ $\gamma'_k = 9.30$ kN/m ³	$E^{ref}_{50} = 11.88$ MPa $E^{ref}_{oed} = 4.75$ MPa $E^{ref}_{ur} = 47.50$ MPa $p_{ref} = 0.10$ MPa $v_{ur} = 0.20$ $\psi = 0.00^\circ$ $m = 1.00$ $K^{NC}_{\sigma} = 0.58$	20
25.80	0.80	10.00	2	Светлокафява и жълтокафява глина, прахово-песъклива с варовити включения и чакъли – кватернерна - Q	$E_{oed,100} = 3.20$ MPa $E_{oed,200} = 5.15$ MPa $E_{oed,300} = 11.50$ MPa $E_{d,100} = 6.40$ MPa $E_{d,200} = 10.30$ MPa $E_{d,300} = 23.00$ MPa $\phi'_k = 23^\circ$ $c'_k = 55$ kPa	$\gamma_{n,k} = 19.40$ kN/m ³ $\gamma_{r,k} = 19.92$ kN/m ³ $\gamma_{s,k} = 27.50$ kN/m ³ $\gamma_{d,k} = 15.60$ kN/m ³ $\gamma'_k = 9.40$ kN/m ³	$E^{ref}_{50} = 8.00$ MPa $E^{ref}_{oed} = 3.20$ MPa $E^{ref}_{ur} = 32.00$ MPa $p_{ref} = 0.10$ MPa $v_{ur} = 0.20$ $\psi = 0.00^\circ$ $m = 1.00$ $K^{NC}_{\sigma} = 0.58$	27
15.80	10.80	15.00	3	Пъстри плиоценски глинни – N_2	$E_{oed,100} = 2.94$ MPa $E_{oed,200} = 4.39$ MPa $E_{oed,300} = 9.89$ MPa $E_{d,100} = 5.88$ MPa $E_{d,200} = 8.78$ MPa $E_{d,300} = 19.78$ MPa $\phi'_k = 17^\circ$ $c'_k = 69.3$ kPa	$\gamma_{n,k} = 18.00$ kN/m ³ $\gamma_{r,k} = 18.19$ kN/m ³ $\gamma_{s,k} = 27.50$ kN/m ³ $\gamma_{d,k} = 12.90$ kN/m ³ $\gamma'_k = 8.00$ kN/m ³	$E^{ref}_{50} = 5.88$ MPa $E^{ref}_{oed} = 2.94$ MPa $E^{ref}_{ur} = 29.40$ MPa $p_{ref} = 0.10$ MPa $v_{ur} = 0.20$ $\psi = 0.00^\circ$ $m = 0.70$ $K^{NC}_{\sigma} = 0.71$	35



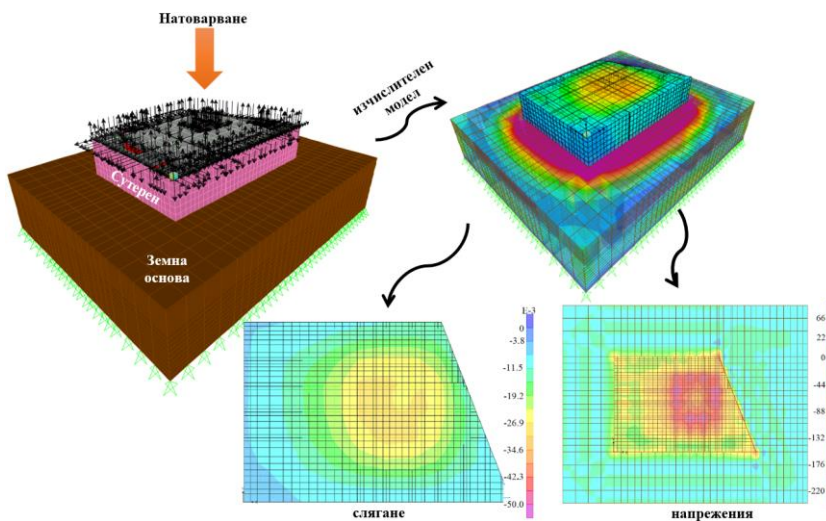
Фиг. 3. Доказване на получени механични характеристики и размери на инжекционните колони чрез изпълнение на опитен участък

Пробни тела са извадени само от опитната колона, при която е постигнат необходимият диаметър – в конкретния случай, ОК-А3. Механичните характеристики (якост на неограничен едноосов натиск, гранична осова деформация и деформационен модул) на „jet-grouting“ колоните са определени чрез лабораторни изпитвания. Поради разнородния характер на пластове от земната основа, постигнатите параметри варират в широки граници, както е показано в табл. 2. Якостта на неограничен едноосов натиск варира от 3,25 МРa до 8,10 МРa – [10]. За характеристична стойност, на базата на която да се извършат оразмерителните проверки, е избрана стойност 4,50 МРa.

Таблица 2. Характеристики на опитна колона ОК-А3, получени от лабораторни изпитвания

Опитна колона ОК-А3	№	Опробван интервал	Якост при едноосов натиск q_u	Аксиална деформация при разрушаване $\varepsilon_{u,z}$	Модул на обща деформация E_o
-	-	[m]	[kPa]	[%]	[MPa]
	1	0.80 - 1.00 m	3272.2 ± 163.6	0.37 ± 0.04	885
	2	0.84 - 1.00 m	4992.2 ± 249.6	0.95 ± 0.09	525
	3	2.76 - 2.90 m	4576.9 ± 228.8	0.37 ± 0.04	508
	4	4.80 - 4.94 m	8092.5 ± 404.6	0.47 ± 0.05	1722
	5	6.00 - 6.23 m	7332.4 ± 366.6	0.49 ± 0.05	1496
	6	6.23 - 6.40 m	4664.6 ± 233.2	0.96 ± 0.10	486
	7	6.40 - 6.53 m	6038.4 ± 301.9	0.48 ± 0.05	1258
	8	6.53 - 6.71 m	6099.6 ± 305.0	0.62 ± 0.06	984
	9	2.60 - 2.88 m	4985.3 ± 249.3	0.76 ± 0.08	656
	10	4.50 - 4.63 m	6258.5 ± 312.9	0.94 ± 0.09	665
	11	5.20 - 5.36 m	5837.3 ± 293.7	0.73 ± 0.07	800
	12	5.60 - 5.76 m	6873.7 ± 343.7	0.86 ± 0.09	799
	13	5.86 - 6.00 m	5790.4 ± 289.5	0.77 ± 0.08	752

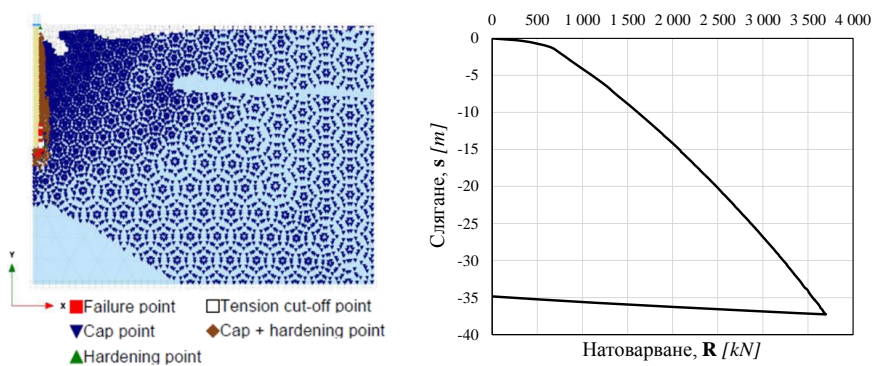
3. Изчислителен модел и проверки



Фиг. 4. Изчислителна процедура за получаване на коефициента на леглото

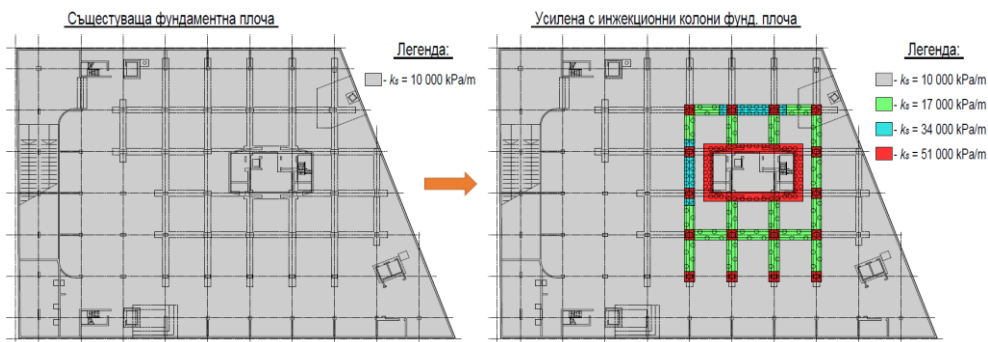
За оценка на взаимодействието „почва – конструкция“ е използван изчислителен модел с пружинни константи, отчитащи коефициента на леглото. За получаване на стойностите на коефициента на леглото, земната основа (с почвени параметри, описани в табл. 1) е моделирана в среда на програмния продукт ROCSCIENCE RS3 с използването на конститутивен модел „Mohr-Coulomb“. Пружинните константи са получени като отношение на напреженията в основната плоскост на фундаментната плоча и съответните слягания (фиг. 4).

Коефициентите на леглото в зоните с предвидено изпълнение на „jet-grouting“ колони са изчислени на база на зависимостта „сила–преместване“, която е получена чрез прилагане на процедура за пробно натоварване на пилот на база на изчислителен модел по метод на крайните елементи в средата на софтуерния продукт ROCSCIENCE RS2 и заложен конститутивен модел „Hardening-Soil“, както е показано в [13] (подробно описание в [17]) – фиг. 5.



Фиг. 5. Симулиране на пробно натоварване на „jet-grouting“ колона чрез изчислителен модел в среда на софтуерния продукт ROCSCIENCE RS2

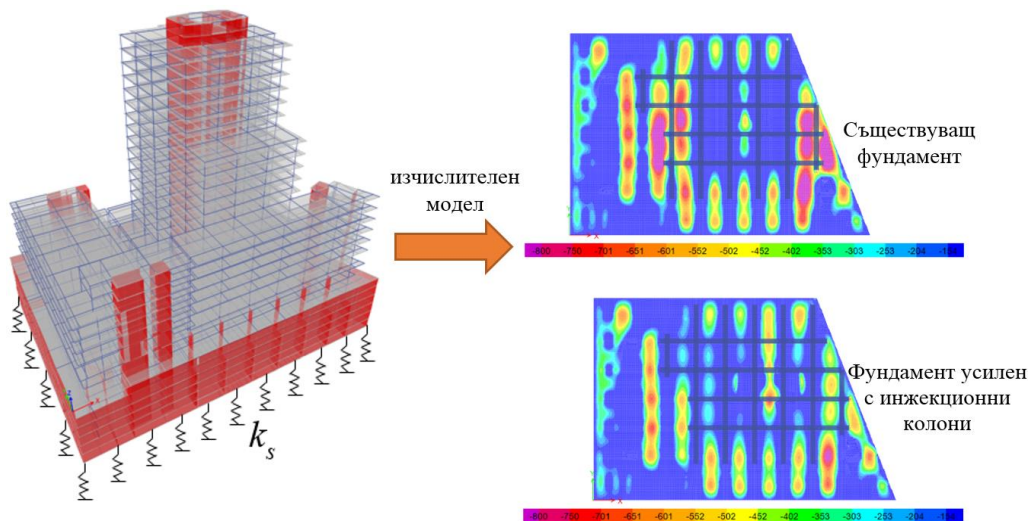
Приетите стойности на коефициентите на леглото са показани на фиг. 6.



Фиг. 6. Сравнение на коефициента на леглото под съществуващата фундаментна плоча и в местата с предвидено изпълнение на „jet-grouting“ колони

Допълнително е изготвен изчислителен модел на цялата конструкция на сграда с предвиденото надстрояване в среда на софтуерния продукт ETABS. Елементите от конструкцията са моделирани както следва: греди и колони са моделирани с едномерни крайни елементи тип „frame“; стоманобетонни стени, подови конструкции и фундамент-

на плоча са моделирани с двумерни черупкови крайни елементи от тип „shell“. Земната основа е моделирана чрез площна пружинна константа. Като резултат от проведения анализ е представено сравнение на диаграмите на огъващите моменти във фундаментна плоча при модел с еднакъв коефициент на леглото за цялата плоча (съществуващо положение) и при модел, отчитащ усилването на земната основа чрез диференциране на зони с по-големи стойности на пружинните константи (места с изпълнени „jet-grouting“ колони) – фиг. 7.



Фиг. 7. 3D изчислителен модел на конструкцията и огъващи моменти във фундаментната плоча (сравнение на съществуващо положение и след усилване)

Детерминистичен изчислителен подход (описан в [5, 11, 15 и 20]) е приложен за настоящото изследване. Посредством подобна концепция, която е характерна за геотехническото инженерство и е предложена от Еврокод 7, неяснотите при изпълнението на „jet-grouting“ колоните се отчита чрез модифициране на натоварването върху конструкциите, стойностите на почвените параметри и общата носимоспособност чрез частични коефициенти, за да се получат изчислителните стойности. Характеристичните стойности на параметрите на материалите за инжекционните колони могат да се получат от литературни данни, но се препоръчва да бъдат получени чрез полеви изпитвания.

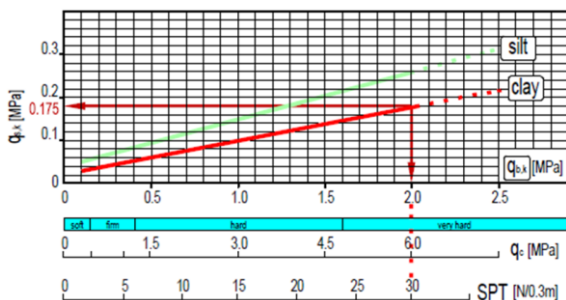
Частните коефициенти, предложени в [2] и [5], са приложени в представеното изследване. Частният коефициент, отчитащ геометричните особености $\gamma_D = 1,15$, е избран на база на наличната информация от проведени експерименти (ограничена) и поведение на колоните (изолирана). На тази база изчислителният диаметър на колоните (D_d) е получен както следва: $D_k / \gamma_D = 0,8 \text{ m} / 1,15 = 0,7 \text{ m}$. Проведен е статистичен анализ, базиран на данните от таблица 2, за да бъде получена характеристичната стойност на якостта на неограничен едноосов натиск, $q_{u,k} = 4\,500 \text{ kPa}$. Изчислителната стойност на якостта на неограничен едноосов натиск, $q_{u,d}$, е получена чрез прилагане на частен коефициент за материал $\gamma_M = 1,5$: $q_{u,d} = q_{u,k} / \gamma_M = 4\,500 \text{ kPa} / 1,5 = 3\,000 \text{ kPa}$.

Изчислителните процедури за оразмеряване на „jet-grouting“ колоните са подобни на тези при изследване на пилоти. Естествено е инжектираната зона да има значително сцепление с почвата поради спецификата на приложената технология за изпълнение на цименто-почвени колони и следователно геотехническата носимоспособност (разруше-

ние на връзката „колона–почва“), гранично състояние GEO (крайно гранично състояние) съгласно ЕС7 да е по-голяма от носимоспособността на тялото на колоната (якост на натиск) – гранично състояние STR (крайно гранично състояние) съгласно ЕС7.

Характеристичната носимоспособност на „jet-grouting“ колоните, $R_{c,k}^{int}$, е изчислена на база на изчислителната стойност на якостта на неограничен едноосов натиск и диаметъра на колоните както следва: $R_{c,k}^{int} = q_{u,d} \times \pi \times (D_d / 2)^2 = 3\,000 \text{ kPa} \times \pi \times (0,70 \text{ m} / 2)^2 = 1\,154 \text{ kN}$. Изчислителната носимоспособност на „jet-grouting“ колоните, $R_{c,d}^{int}$, е получена чрез прилагането на частен коефициент за носимоспособност, $\gamma_R = 2,2$, както следва $R_{c,d}^{int} = R_{c,k}^{int} / \gamma_R = 1\,154 \text{ kN} / 2,2 = 525 \text{ kN}$. Чрез враждането на стоманени тръби $\Phi 114,3 \times 8$ ($f_{yk} = 275\,000 \text{ kPa}$) в колоните, носимоспособността им е допълнително увеличена с 699 kN или общата носимоспособност се получава както следва: $R_{c,d} = R_{c,d}^{int} + R_{s,d}^{int} = 525 \text{ kN} + 699 \text{ kN} = 1\,224 \text{ kN}$.

Върховото съпротивление ($q_{b,k} = 2\,000 \text{ kPa}$) и околното триене ($q_{s,k} = 175 \text{ kPa}$) са получени на база на резултатите от стандартен пенетрационен тест SPT (табл. 1) и тип почва съгласно фиг. 8 – [2].



Фиг. 8. Околно триене и върхово съпротивление, получени на базата на типа почва и резултати от стандартен пенетрационен тест SPT – [2]

Съгласно [2] характеристичната носимоспособност на върхово съпротивление, $R_{b,k}$, се редуцира в зависимост от метода, по който е получен съответният параметър, $q_{b,k}$. В разглеждания пример върховото съпротивление, $q_{b,k}$, е получено от стандартен пенетрационен тест SPT (фиг. 8) и е възприет съответният частен коефициент $k_{SPT} = 0,1$. На база на гореописаното, характеристичната носимоспособност на върховото съпротивление е определена както следва: $R_{b,k} = k_{SPT} \times \pi \times (D_d / 2)^2 \times q_{b,k} = 0,1 \times \pi \times (0,70 \text{ m} / 2)^2 \times 2\,000 \text{ kPa} = 77 \text{ kN}$. Изчислителната носимоспособност на върхово съпротивление е получена чрез редуциране на характеристичната носимоспособност с частен коефициент $\gamma_b = 2,0$, $R_{b,d} = R_{b,k} / \gamma_b = 77 \text{ kN} / 2,0 = 38,5 \text{ kN}$.

Характеристичната носимоспособност на околно триене, $R_{s,k}$, е получена на база на контактната повърхност на инжекционната колона с почвата и специфичното околно триене, $q_{s,k}$. Изчислителната носимоспособност на околно триене, $R_{s,d}$, е изчислена чрез частен коефициент за носимоспособност за първите 3 m от колоната, γ_s^{3m} и друг за останалата дължина, γ_s^{L-3m} , $R_{s,d}^{L-5m} = [2 \times \pi \times (D_d / 2) \times 3 \times q_{s,k}] / \gamma_s^{3m} + [2 \times \pi \times (D_d / 2) \times (L - 3) \times q_{s,k}] / \gamma_s^{L-3m} = [2 \times \pi \times (0,70 \text{ m} / 2) \times 3 \text{ m} \times 175 \text{ kPa}] / 2,5 + [2 \times \pi \times (0,70 / 2) \times (5 \text{ m} - 3 \text{ m}) \times 175 \text{ kPa}] / 2,0 = 846,5 \text{ kN}$, за колони с дължина 5 m и $R_{s,d}^{L-7m} = [2 \times \pi \times (D_d / 2) \times 3 \times q_{s,k}] / \gamma_s^{3m} + [2 \times \pi \times (D_d / 2) \times (L - 3) \times q_{s,k}] / \gamma_s^{L-3m} = [2 \times \pi \times (0,70 \text{ m} / 2) \times 3 \text{ m} \times 175 \text{ kPa}] / 2,5 + [2 \times \pi \times (0,70 / 2) \times (7 \text{ m} - 3 \text{ m}) \times 175 \text{ kPa}] / 2,0 = 1\,231,5 \text{ kN}$ за колони с дължина 7 m.

Общата носимоспособност за геотехническо гранично състояние (разрушение на връзката „почва–инжекционна колона“ – GEO), $R_{p,d}$, е сума от изчислителната носимо-

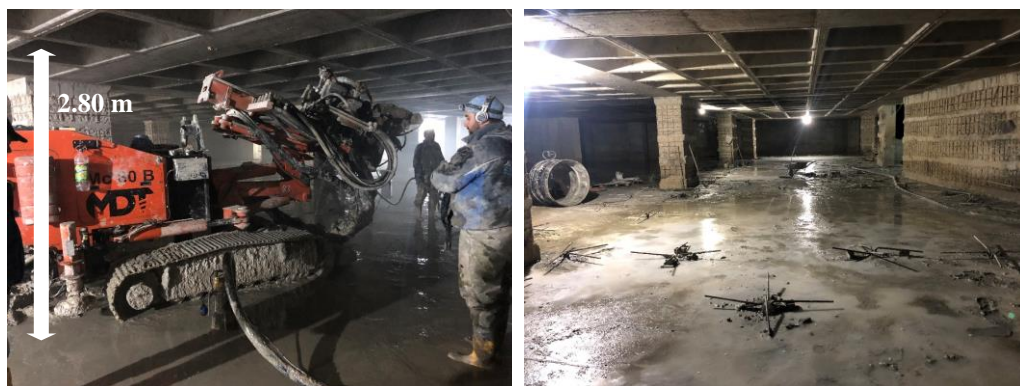
способност на върхово съпротивление, $R_{b,d}$, и изчислителната носимоспособност на около триене, $R_{s,d}$: $R_{p,d}^{L=5m} = R_{b,d} + R_{s,d}^{L=5m} = 38,5 \text{ kN} + 846,5 \text{ kN} = 885 \text{ kN}$ за колони с дължина 5 m и $R_{p,d}^{L=7m} = R_{b,d} + R_{s,d}^{L=7m} = 38,5 \text{ kN} + 1\,231,5 \text{ kN} = 1\,270 \text{ kN}$ за колони с дължина 7 m.

Окончателната носимоспособност на инжекционните колони се приема за по-малката от носимоспособността на тялото на колоната (STR) и геотехническата носимоспособност (GEO): $R_d^{L=5m} = \min(R_{c,d}; R_{s,d}^{L=5m}) = \min(1\,224 \text{ kN}; 885 \text{ kN}) = 885 \text{ kN}$ за колони с дължина 5 m и $R_d^{L=7m} = \min(R_{c,d}; R_{s,d}^{L=7m}) = \min(1\,224 \text{ kN}; 1\,270 \text{ kN}) = 1\,224 \text{ kN}$ за колони с дължина 7 m. С други думи, геотехническата носимоспособност е меродавна за по-късите колони (с дължина 5 m), докато за по-дългите (с дължина 7 m) – носимоспособността на тялото на колоната (STR). Изчислителните стойности на силите от анализа са 820 kN за колони с дължина 5 m и съответно 1 200 kN за колони с дължина 7 m. Тези сили са по-малки от изчислените по-горе носимоспособности.

Съгласно EC7, две от трите групи частни коефициенти (група на натоварване, група на материални характеристики и група на носимоспособност), които имат стойности, по-високи от 1,0, трябва да бъдат комбинирани и съответно прилагани в зависимост от приетия Изчислителен метод (Метод 1 – DA1, Метод 2 – DA2 или Метод 3 – DA3). Както се вижда в описаната по-горе процедура, поради неизвестни и консервативност (липса на достатъчно данни в стандартите), породени от спецификата на изпълнението на „jet-grouting“ колони и съгласно [2] и [5], в разглеждания пример, за изчисляване на окончателната носимоспособност на колоните са приложени всички частни коефициенти, по-големи от 1,0, от трите групи.

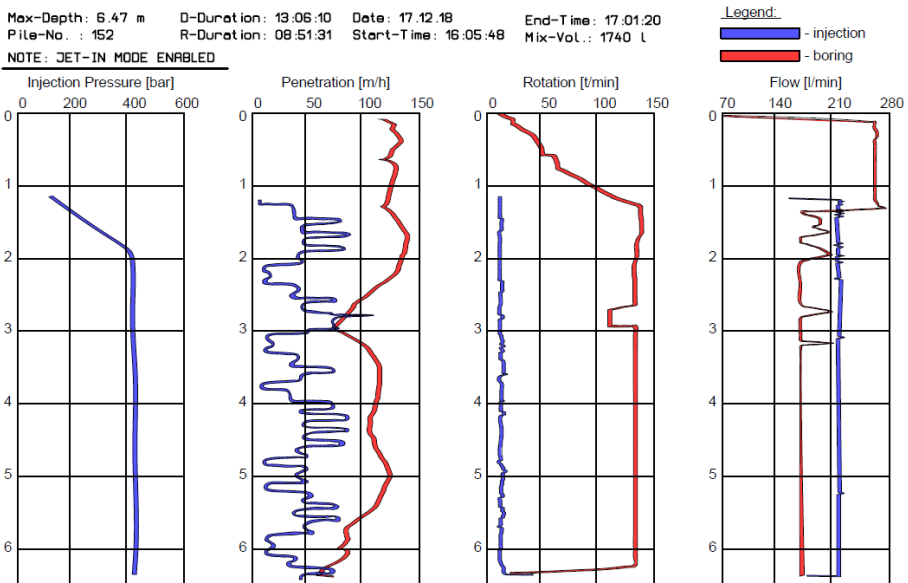
4. Проблеми и решения

Всички дейности, свързани с усилването на фундаментната конструкция, са изпълнени при ограничена светла височина от 2,80 m – фиг. 9. Отпадъчният материал (рефлукс), получен по време на инжектиране, е изнасян чрез помпи, разположени на нивото на терена. С цел да се избегне замърсяване на съществуващите отвори във фундамента, веднага след изпълнението на съответната инжекционна колона се монтира капачка.

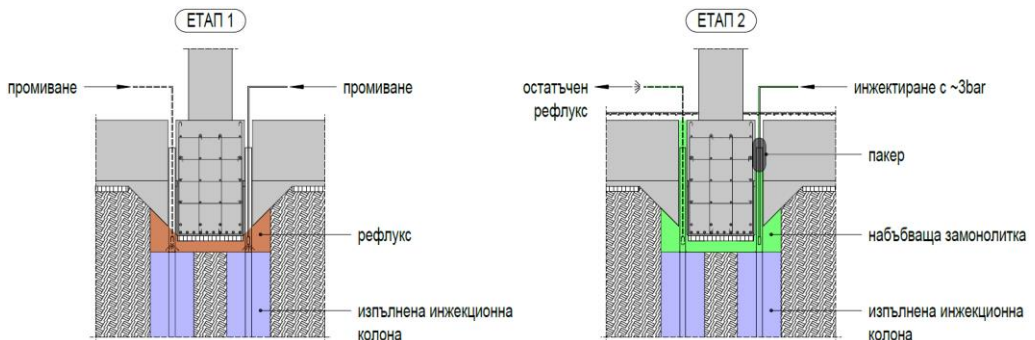


Фиг. 9. Изпълнение на комплексен метод за подобряване на параметрите на земната основа и усилване на фундаментната конструкция чрез прилагане на технология „jet-grouting“

Процесът на изпълнение е стриктно наблюдаван и контролиран. Общото количество разтвор, необходим за изпълнението на всяка колона, е следен, също като налягането при инжектиране, оборотите на въртене и дебитът на инжектиране [16]. Всеки параметър е представен във вид на диаграми, [3], получени директно от софтуера на машината за изпълнение на jet-grouting колони (механизацията, използвана за проекта е MDT – Mc 80 B). Очаква се количеството инжектиран разтвор да бъде приблизително един и същ за всички колони. При възникване на големи отклонения е необходимо да се вземат допълнителни мерки и да се информира проектанта. Наблюдаваните параметри (налягане на инжектиране, обороти на въртене и дебит) трябва да се поддържат постоянни по цялата дълбочина на инжектиране. Аномалии в диаграмите би означавало, че подобряването на механичните параметри на земната основа не е равномерно и в такъв случай може да се очаква изменение в диаметъра на колоната. Типична инжекционна диаграма за колона № 152 е показана на фиг. 10.



Фиг. 10. Примерна инжекционна диаграма, получена директно от машината за колона No. 152



Фиг. 11. Запълване на кухина между колони и съществуващата фундамента плоча в два етапа

По време на изпълнението на „jet-grouting“ колоните е установен дефект в 90 бр. от тях. Въпреки че процедурата за инжектиране е извършена до ниво горен ръб на фундаментната плоча, установено е слягане на колоните от около 70 cm под долния ръб на плочата, причината за което остава неизвестна. За да се реши проблемът, е приложена следната технология: 1) засегнатата зона между фундамента и колоната е промита с вода под налягане през тръба, за да се втечни разтворът в тази зона; 2) под 5 bar е инжектиран замонолитващ разтвор MAREI Expanjet с обемно разширение до 20% и якост на натиск 10 МРа. За да се осигури затворена система, всички съседни отвори (с изключение на обработвания) са запечатани с пакер. В крайна сметка допълнително са инжектирани 50 m³ замонолитващ разтвор. Приетият подход е представен на фиг. 11.

5. Заключение

Възприетият хибриден подход за подобряване на механичните параметри на земната основа и усилване на фундаментна плоча чрез инжектиране на водоциментов разтвор под високо налягане и образуване на каменовидни тела („jet-grouting“) осигуриха добро (от инженерна гледна точка) поведение на прототипната конструкция. Мерките по усилването вкоравиха почвеното легло под високото тяло на сградата, което доведе до преразпределение на огъващите моменти във фундаментната конструкция по благоприятен начин, като същевременно прогнозираните слягания бяха значително редуцирани. Въпреки констатираните дефекти при изпълнение, репарационните дейности гарантират безпроблемната експлоатация на сградата.

В разработката беше предложена процедура, която кореспондира с Еврокод 7, и може да бъде прилагана в широката проектантска общност.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по Договор № БН-225/19 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. AGI. 2012. Jet Grouting Guidelines: Associazione Geotecnica Italiana: 69 p [in Italian].

2. *Bustamante, M.* 2002. Les colonnes de jet grouting. Report of the Seminar: Pathologies des Sols et des Foundations. <http://www.keller-france.com/rechercheet-developpement/theses-et-publications>: 6 p [in French].

3. *Covil, C. S., A. E. Skinner.* 1994. Jet grouting: A review of some of the operating parameters that form the basis of the jet grouting process. In *Grouting in the Ground*: London, United Kingdom: Thomas Telford: pp. 605–627.

4. *Croce, P., A. Flora.* 2001. Analysis of single fluid jet-grouting. Closure to discussion. *Geotechnique* 51(10): pp. 905–906.

5. *Croce, P., Flora, A., Modoni, G.* 2014. *Jet Grouting: Technology, Design and Control*. Taylor & Francis Group.

6. *De Vleeshauwer, H., G. Maertens.* 2000. Jet grouting: State of the art in Belgium. Proceedings of the Conference 'Grouting: Soil Improvement–Geosystem Including Reinforcement': Helsinki, Finland: Finnish Geotechnical Society: pp. 145–156.
7. EN 12716. 2001. Execution of Special Geotechnical Works: Jet Grouting. European Committee for Standardization.
8. DIN 4093. 2012. Design of ground improvement: Jet grouting, deep mixing, or grouting. Standard of the Deutsches Institut für Normung, 2012 ed.: Düsseldorf, Germany: 17 p.
9. *Falcão, J., A. Pinto, F. Pinto.* 2001. Case histories and work performance of vertical jet grouting solutions. Proceedings of the 4th International Conference on Ground Improvement: Helsinki (Finland): Finnish Geotechnical Society: pp. 165–171.
10. *Fang, Y. S., J. J. Liao, T. K. Lin.* 1994a. Mechanical properties of jet-grouted soilcrete. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 27: pp. 257–265.
11. *Flora, A., S. Lirer, G. P. Lignola, G. Modoni.* 2012b. Mechanical analysis of jet-grouted supported structures, In G. Viggiani, ed., Proc. of the 7th Int. Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, TC28 IS Rome: London: Taylor & Francis Group, May 16–18, 2011: pp. 819–828.
12. *Flora, A., G. Modoni, S. Lirer, P. Croce.* 2013. The diameter of single-, double-, and triple-fluid jet grouting columns: Prediction method and field trial results. Géotechnique 63(11): pp. 934–945.
13. *Kerenchev, N. I. Markov.* 2016. Determining the axial bearing capacity of pile based on common methods and comparison with pile load test, Proceedings of the 3rd International Conference VIETGEO2016.
14. *Lesnik, M.* 2001. Methods to determine the dimension of jet-grouted bodies. Proceedings of the 14th Young Geotechnical Engineers Conference, Plovdiv, Bulgaria, September 15–19: pp. 363–371.
15. *Modoni, G., P. Croce, L. Mongiovi.* 2008a. Theoretical modelling of jet grouting: Closure. Géotechnique 58(6): pp. 533–535.
16. *Nikbakhtan, B., M. Osanloo.* 2009. Effect of grout pressure and grout flow on soil physical and mechanical properties in jet grouting operations. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 46: pp. 498–505.
17. PLAXIS Version 2012.02, 2012. Scientific Manual, Delft University of Technology & PLAXIS, The Netherlands, A. A. Balkema, PUBLISHERS.
18. *Popa, A.* 2001. Underpinning of buildings by means of jet-grouted piles. Proceedings of the 4th International Conference on Ground Improvement, Helsinki, Finland, September 4–6: pp. 221–227.
19. *Stein, J., J. Graße.* 2003. Jet grouting tests and simulation, In Vanicek et al., eds., Proceedings of the 13th ECMSG, Prague, Czech Republic, August 25–28, 2003: pp. 899–902.
20. *Tornaghi, R., A. Pettinaroli.* 2004. Design and control criteria of jet grouting treatments. Proceedings of the International Symposium on Ground Improvement, ASEP-GI 2004: Paris, France: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées: pp. 295–319.

SEISMIC RESPONSE IMPROVEMENT OF THE “SOIL – FOUNDATION – SUPERSTRUCTURE” SYSTEM BY APPLICATION OF THE JET GROUTING SOIL IMPROVEMENT TECHNIQUE

N. Milev¹, N. Kerenchev², B. Petrov³, E. Karadolomi⁴

Keywords: jet grouting, single fluid system, raft foundation, soil improvement, foundation strengthening

ABSTRACT

This paper presents the application of the jet-grouting method as a structural and ground improvement technique for strengthening the soil-raft foundation system of an existing reinforced concrete building. The structural system of the originally designed superstructure consists of columns for bearing the vertical loads and shear walls for ensuring the adequate seismic response. The building has been executed up to level zero by 2010. However, during construction, the investment intensions have been changed and the owner has decided to extend the structure by additional floors which in turn has caused the need of redesign of the building above the ground level and strengthening its underground part. The aim of the study is to demonstrate the adopted design approach for strengthening the soil-raft foundation system and applied methodology for proving the predicted jet-grouting properties (diameter, length, compressive strength and elasticity modulus) as well as to outline the difficulties which have occurred during execution and the solutions of some important problems.

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

² Nikolay Kerenchev, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kerenchev@hotmail.com

³ Boyan Petrov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Building Materials and Insulations”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: bpetrov_fce@uacg.bg

⁴ Edvin Karadolomi, Structural Engineering Student, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046