



Получена: 09.12.2022 г.

Приета: 23.12.2022 г.

ОБСЕРВАЦИОННИЯТ МЕТОД В ГЕОТЕХНИКАТА – ПРИМЕРИ ОТ ПРАКТИКАТА

А. Тоцев¹, Н. Милев²

Ключови думи: обсервационен, геотехника, фундиране, мониторинг

РЕЗЮМЕ

Статията представя водещата ролята на обсервационния метод в контрола на поведението на геотехнически конструкции и възможностите за реализация на икономии или предотвратяването на аварии в процеса на изпълнението. Представени са няколко примера от практиката на авторите, които описва приложението на метода и ползите от него. Методът е нормиран в Еврокод 7 като един от определящите принципи на геотехническото проектиране и въпреки това приложението му в България, в процентно отношение, едва ли превишава 5 – 10 % от реализираните обекти.

1. Въведение

Основният проблем пред проектантите в геотехниката е, че задачите не са еднозначно решени. Съществуват различни методи и теоретични постановки, като резултатите се различават в проценти, а понякога и в пъти. Най-показателен е примера, за определяне на носещата способност на корена на почвен анкер [1], където при едни и същи входни данни резултатите варират в много широки граници (табл. 1). Това създава усещане за несигурност у проектанта и води до рискови решения или такива с голяма степен на преоразмеряване (сигурност). Разбира се, не винаги резултатите варират в толкова голям диапазон, но винаги в геотехниката резултатите, получени по различни методи, се различават.

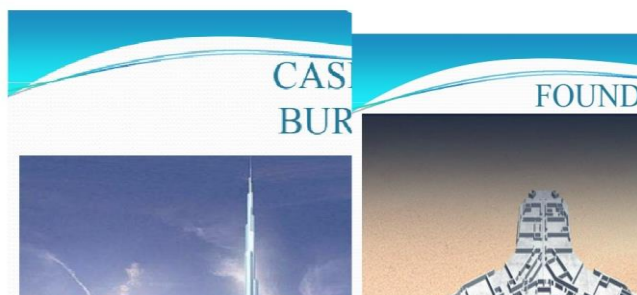
¹ Андрей Тоцев, доц. д-р инж., кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: atocev@gmail.com

² Николай Милев, гл. ас. д-р инж., кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: n.milev@yoda-bg.com

Таблица 1. Обобщени резултати за носещата способност на анкер $R_{a,k}$ [1]

Метод	$R_{a,k}$ [kN]
DIN 4128	58,88
Penpile	87,14
Венков	88,27
JRA	94,20
Tumay& Fakhroo	141,30
U.S. Federal Highway Administration	150,00
Schmidt	156,00
Класически метод	174,28
LCPC method	188,40
de Ruitер& Beringen	282,60
Тоцев&Илов	290,00
DIN 1054	306,15
PTI	400,35
Графики на Ostermeyer	565,20

Въпреки цялата тази неопределеност, инженерите по света приемат все по-сложни и по-отговорни предизвикателства. Подходът е различен в зависимост от степента на сложност на съоръжението, неговата геотехническа категория и възможностите за реакция в последствие.



Фиг. 1. Бурж Дубай, фундирана с приет коефициент на сигурност срещу преобръщане 5,00

При много отговорни съоръжения, като например небостъргача Бурж Дубай (с височина 828 m), е избрано комбинирано фундиране (pile raft) с пилоти с диаметър 0,9 m и 1,5 m, с дължина респективно 30,00 m и 47,45 m. Фундаментната плоча (ростверк) е с дебелина 3,7 m. Интересното тук е, че коефициентът срещу преобръщане е **5,00**. По този начин се компенсира вероятната неточност при изчисленията и се гарантира безаварийната експлоатация на сградата.

При стандартни (масови) геотехнически проблеми нормативната уредба въвежда различни коефициенти на сигурност за обезпечаване на степента на несигурност в геотехниката. При проектиране съгласно Еврокод 7 в много от случаите сумата от коефи-

циентите “A+M+R” за отделните изчислителни методи води до обща сигурност около 100 % или обобщен коефициент **2,00**.

В този аспект ролята на обсервационния метод е съществена. С помощта на най-обикновени силомери, инклинометрични или геодезически заснемания, проектантът може да проведе просто параметрично изследване, да избере най-точния модел за конкретните инженерно-геоложки условия, да подобри модела си и да реализира икономии, съществено превишаващи стойността на наблюденията. В случаите, когато резултатите са в другата посока – да предотврати авария, което на практика е безценно.

2. Укрепване на изкоп с три подземни нива в гр. София

Първият пример разглежда укрепването на дълбок строителен изкоп с дълбочина 10,50 m [5]. Проектирана е триредово анкерирани укрепителна стена (берлински тип). Анкерите са от типа пасивни еднопрътови анкери R32 с допустимо натоварване 280 kN и граница на провлачване 230 kN. Пилотите са изпълнение от 2Т профил IPE300. При проектирането са разгледани три схеми на натоварване – класическо; Terzaghi-Peck и EAB [3, 4]. Пружините, моделиращи почвата под кота дъно изкоп, са приети константни и линейно нарастващи. Анкерите са моделирани като подаваеми пружинни опори с коравина 25 000 kN/m'.

За наблюдение са монтирани четири измервателни анкерни дози (фиг. 2) на анкери – два на първи ред и два на втори ред, за директно отчитане на изменението на усилието при отделните фази на изкопаване. Допълнително посредством система от геодезични реperi се следи за преместването на укрепителната стена за отделните фази на изпълнение.



Фиг. 2. Укрепителна стена в гр. София и анкерни дози

Проведените наблюдения показаха, че получените резултати по изчисления се различават от тези от мониторинга. Наблюдението показа, че най-близки резултати се получават при натоварване по EAB и приети константни пружини, моделиращи почвата под кота дъно изкоп. След известна промяна на входните (почвените) параметри, при което резултатите от изчисления се доближиха максимално до тези от мониторинга за отделните фази на изкопаване на изкопа, се взе решение на третия анкерен ред броят на анкерите да се намали наполовина, като те се изпълнят през един. Стойността на мониторинга на конкретния обект представляваше приблизително 3,5 % от стойността на укрепването, а реализирането на икономия с намаляването на броя на анкерите в трети анкерен ред беше в порядъка на 9,5 %.

3. Свлячище в с. Кокаляне

При проучването, преди проектиране на сграден комплекс с вътрешни пътища, в зоната на с. Кокаляне, се установи наличие на свлячищни процеси във и около парцела. Някои характерни белези за активна свлячищна дейност (пукнатини в сградите и терена, наклонени дървета, характерни форми на релефа) са показани на фиг. 3. Това налага по-задълбочено изследване на проблема на фаза предпроектни проучвания, за определяне на активността на свлячищните процеси и дълбочината на хлъзгателната повърхнина.

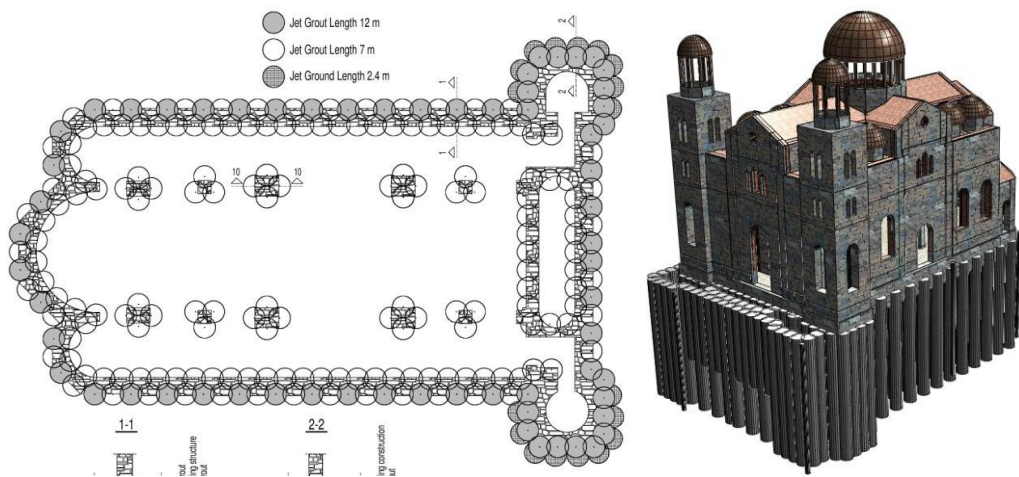


Фиг. 3. Свлячище в с. Кокаляне с инклинометрични проучвания и проект на бъдещата сграда с вътрешни пътища

Освен почвените параметри, от съществено значение при свлячища е дълбочината на хлъзгателната повърхнина. Според редица автори дори минимална промяна в дълбочината на хлъзгане ще да доведе до сериозно увеличение на разходите по укрепването и стабилизирането му. За целта, като пример за приложение на наблюдационния метод във фазата на предпроектните проучвания, по време на провеждане на инженерно-геоложките проучвания се поставиха инклинометри (фиг. 3) за наблюдение на движението на масива във времето и точно определяне на хлъзгателната повърхнина. В последствие беше проектирана пилотно-анкерна укрепителна конструкция за изпълнение на сградите заедно с вътрешните пътища (фиг. 3) в свлячището. Себестойността на противосвлячищното укрепване беше под 10 % от стойността на строеж, напълно приемливо завишаване на стойността на проекта, с оглед на сложните геотехнически условия.

4. Стабилизиране на църква в аварийно състояние

Представеният пример представя храм „Св. Св. Кирил и Методий“ в гр. Бургас. Вследствие на водопонижение и изпълнение на дълбок изкоп (укрепен чрез секантна анкерирана пилотна стена) в близост до църквата през 2011 г. съществени щети са нанесени върху конструкцията ѝ. Геодезически мониторинг започва непосредствено след аварията. Той установява генерирането на допълнителни 200 mm хоризонтални премествания по посока на изкопа. Направеното обследване установи наличието на пукнатини с широчина до 2–3 cm в зидарията, както и разчленяването на самия храм на няколко разкачени помежду си конструктивни единици. Инженерно-геоложките проучвания показаха наличието на хлъзгателна повърхнина на дълбочина 10,60 m, която издава и самия механизъм на разрушение.



Фиг. 4. Мерки за подобряване на земната основа / усилване на фундаментите на храм „Св. Св. Кирил и Методий“ в гр. Бургас

За да бъде спасен храмът, са приложени следните мерки за усилване: инжектиране на пукнатините с разтвор с компенсирано съсъхване и малко обемно разширение, полагане на въглеродна тъкан в уязвими зони (сводове и куполи), напрегане на конструкцията в затворен контур на две нива, внедряване на обтегачи и усилване на фундаментите чрез прилагане на технологията „джет граутинг“ – инжектиране на водоциментов разтвор под високо налягане (подходът е представен схематично на фиг. 4).

За проследяване и анализиране на поведението на конструкцията след укрепителните дейности е приложена система за конструктивен и геотехнически мониторинг. Местата за инсталиране на уредите са определени на база на резултатите от конструктивната експертиза и местата на пукнатините. За правилното проследяване на въздействието от усилването са инсталирани следните датчици:

- тилтметри, монтирани върху конструкцията, даващи информация относно наклоняването ѝ;
- инклинометри, следящи хоризонталните премествания и деформациите в земната основа;
- пиезометри за контрол на водното ниво и порния натиск.

Представеният пример демонстрира приложението на системи за мониторинг с две различни цели – от една страна непосредствено след авария (геодезически измервания за проследяване на преместванията), а от друга – оценка на поведението на усилената система „земна основа – фундаменти – върхна конструкция“ във времето.

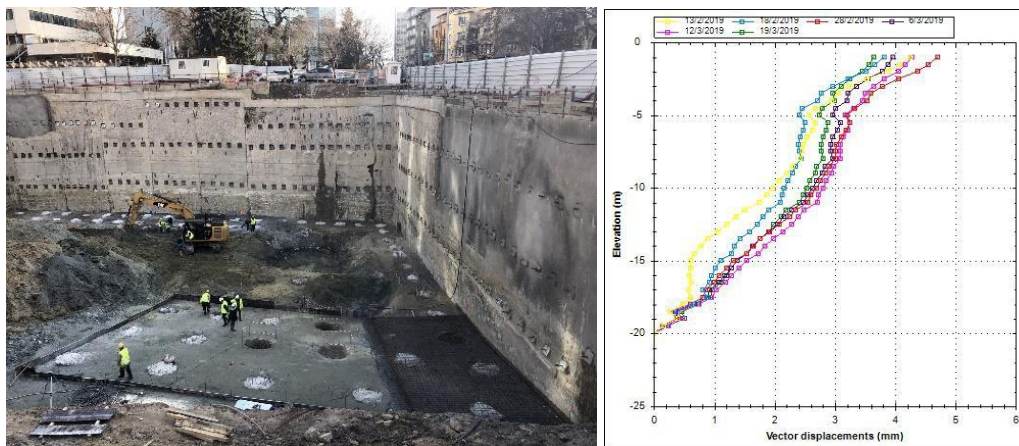
Понастоящем системата за мониторинг функционира и е в състояние да предава резултатите дистанционно.

5. Укрепване на дълбок изкоп в градска среда

Укрепването на дълбоки изкопи винаги е свързано с редица предизвикателства. Някои от тях се основават на осигуряването на габарита на сградите под кота +/-0,00, а други – на обезпечаването на съседни имоти и улици по време на строителството. Стъпяването на градската среда през последните години и необходимостта от възприемането на целесъобразни, от технико-икономическа гледна точка, проектни решения предполагат използване на съвременни методи за изчисление и решаване на геотехническите проблеми. Важен инструмент в палитрата от инженерни подходи несъмнено е именно мониторингът. Неговата функция е свързана не само с гарантиране на сигурността по време на изпълнение на укрепителните съоръжения, но често и с оптимизация на проектните решения.

През последните години в практиката навлезе т.нар. „обратен анализ“ (“back analysis”). Той позволява на практикуващите инженери да се възползват от предимствата на мониторинга, като бъдат получени действителните стойности на ключови за изчисленията показатели (например: премествания, сили в анкери и др.). В първите стъпки на изпълнение на укрепителните съоръжения, след изграждането им и след началните фази на откопаване, събраните от мониторинга данни могат да послужат за база на директно сравнение на теоретично изчислените стойности с натурно измерените такива. Именно тогава предпоставките в моделите (например: деформационни модули) могат да бъдат „настроени“ (калибрирани) така, че да „паснат“ на реалните. Неразделна стъпка от целия процес е и предварителното провеждане на т.нар. „анализ на чувствителността“ (“sensitivity analysis”), който позволява „отсяването“ на „чувствителните“ от „нечувствителните“ входни данни за изчисленията (тези, които оказват съществено влияние върху резултатите, и тези, които имат пренебрежим отпечатък върху тях). „Чувствителните“ параметри могат да бъдат редуцирани допълнително на база на сигурността в методите, по които са получени (например: якостните параметри могат да бъдат приети с получените от лабораторни и полеви изследвания стойности) и накрая да останат само няколко, които да бъдат фиксирани след оценка на данните от мониторинга.

Именно аналогичен подход е приложен в проектирането и оптимизирането на дълбок изкоп в центъра на София. Изкопът е дълбок 12,50 m и осигурява габарита на три сутеренни нива. Укрепителното съоръжение е „решено“ чрез шлицова стена с дебелина 80 cm и хоризонтално подпиране на три нива чрез активни “tie-back” анкери. Изчисленията са направени както чрез аналитични процедури, така и чрез метод на крайните елементи (конститутивни модели Mohr-Coulomb, Hardening Soil и Hardening Soil Small Strain). Мониторинговата система се състои от: геодезически марки по укрепителната стена и сгради в непосредствена близост, натискомерни клетки в анкерите, инклинометри в шлицовите стени и пиезометри за следене на водното ниво. Така избраната система за мониторинг успя да гарантира както обезпечеността на булевардите и сградите наоколо, така и да оптимизира дължините на корените на втори и трети ред анкери.



Фиг. 5. Изглед на укрепителното съоръжение в центъра на гр. София и резултати от инклинометри в едно от сеченията

6. Заключение

Представените практически примери, показват предимствата на използване на системи за мониторинг във фазата на предпроектните проучвания, проектирането и изпълнението. Често причина да не се провежда мониторинг е нежеланието на инвеститорите да изразходват средства в тази посока. Аргументите им са неоснователни, тъй като стойността на мониторинга на конкретния обект почти винаги е в пъти по-малка от реализираните в последствие икономии. По-важният аргумент в подкрепа на мониторинга е, че той може да предотврати аварии чрез навременен контрол на усилия и премествания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Totsev, A. Pochveni ankeri, 2019.
2. www.burjdubaiskyscraper.com.
3. Recommendations on excavation (EAB), 2008.
4. Terzaghi, K., Peck, R. Soil mechanics in engineering practice, 1967.
5. Totsev, A. Optimizatsia na ukrepvane na dalbok stroitelen гр. Sofia na baza observatsionnia metod. X MGK, Varna, 2022.

OBSERVATIONAL METHOD IN GEOTECHNICS – EXAMPLES FROM PRACTICE

A. Totsev¹, N. Milev²

Keywords: observational, geotechnics, foundations, monitoring

ABSTRACT

This paper discusses the role of the observational method in the design and controlling of the behavior of geotechnical constructions and providing opportunities for savings or the prevention of construction hazards. The method is standardized in Eurocode 7 as one of the defining principles of geotechnical design and is a viable verification approach for limit states. However, in Bulgaria the rate of its application hardly exceeds 10 – 15 % of all the implemented building projects. The advantages of the method implementation will be demonstrated on different case studies in Bulgaria.

¹ Andrey Totsev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: atocev@gmail.com

² Nikolay Milev, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: n.milev@yoda-bg.com