

SOME ISSUES WITH THE MONITORING OF UNDERGROUND AND LANDSLIDE SUPPORTING STRUCTURES

Ina Bozhinova-Popova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ina_popova@abv.bg

ABSTRACT. The article discusses elastic structures which are used as reinforcement to balance the landslide or earth pressure. In all cases, the pressure distribution diagram is taken either as similar to the hydrostatic pressure/diagram/, or as a trapezoid, or as a uniformly distributed load. Often, the results of the calculations differ from the actual loading and behaviour of the supporting structures. Some errors may occur, since in practice pressure distribution diagrams are obtained other than those assumed. In this sense, targeted implementation and analysis of monitoring data allow for a comparatively precise definition of the diagrams of the earth pressure on the supporting structures. This conclusion also leads to more rational and economical solutions.

Key words: supporting structures, soil, landslide, earth pressure distribution, monitoring, results.

ОТНОСНО НЯКОИ ПРОБЛЕМИ ПРИ МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНИ И ПРОТИВОСВЛАЧИЩНИ КОНСТРУКЦИИ

Ина Божинова – Попова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

Резюме. В статията се разглеждат еластични конструкции, които се използват като подпорни за уравнивяване на свлачищния или земния натиск. Във всички случаи диаграмата на разпределение на натиска се приема или като подобна на хидростатичния натиск, или като трапец, или като равномерен товар. Често резултатите от изчисленията се различават от действителното натоварване и поведение на подпорните конструкции. Това води до грешки, тъй като на практика се получават диаграми за разпределение на натиска, различни от приетите. В този смисъл целенасочено изпълнение и анализ на данните от мониторинга дават възможност за сравнително точно определение на диаграмите на натиска от почвата върху опорните конструкции. Това води и до по-рационални и икономични решения.

Ключови думи: подпорни конструкции, почви, диаграми на земен натиск, мониторинг, резултати.

Въведение

В статията се разглеждат еластични конструкции, използвани като подпорни, за уравнивяване на свлачищния или земния натиск, който се получава при подсичане на терена или при изпълнението на дълбоки изкопи. Такива са пилотните конструкции, шлицовите, шпунтови стени и стените тип „Берлинска стена“. В масовата практика за сега се използват пилотните конструкции с диаметри на пилотите от 40 до 120 см и шлицови стени с дебелини от 40 до 80 ст. Конструкциите са конзолни, анкерирани или обединени в рамки.

Едни от основните въпроси при оразмеряването на такива конструкции е определяне на натоварването върху тях, получено в резултат на действието на земен или свлачищен натиск. У нас за проектиране на подпорни стени съществуват “Норми за проектиране на подпорни стени -2-03-05“. За проектиране на геозащитни строежи, сгради и съоръжения в свлачищни райони съществува Наредба 12/2001 г. Обикновено се приема, че при конзолните стени и пилоти, земният натиск е разпределен по така наречения “хидростатичен закон”, под формата на триъгълник или трапец с голяма основа при дъното на строителния изкоп или при плъзгателната повърхнина за свлачищата. При

подпорните конструкции земният натиск се приема разпределен по диаграми, които се определят от вида и мястото на подпирането, деформируемостта на конструкцията, натоварването на повърхността на терена и др. Характерни диаграми на разпределението на активен земен натиск са дадени в съществуващите у нас Норми за проектиране на подпорни стени (Норми за проектиране на подпорни стени, 1986).

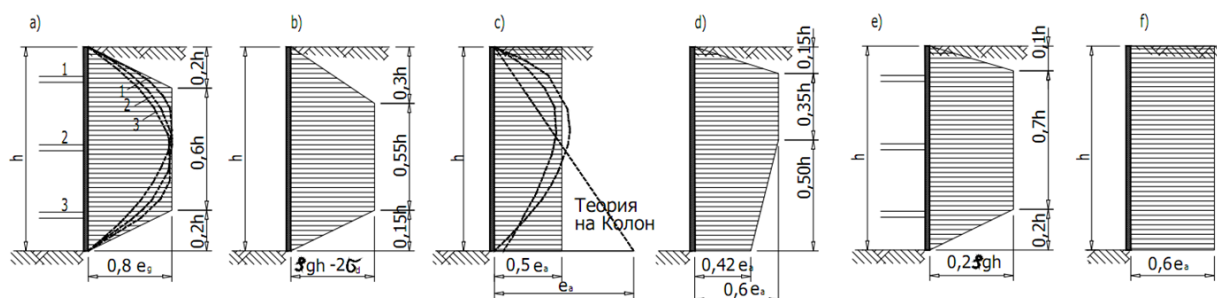
Наличието на множество и разнообразни диаграми дава основание да се приеме, че и досега няма доказано установена методика за определяне на натиска. Това внася условност при статическите изследвания на укрепителните конструкции. За практически нужди се приема, че при конзолните конструкции земният натиск се разпределя по триъгълна диаграма, съгласно хидростатичния закон, т.е. ако резултатната стойност на натиска е Ea и височината на подпорния масив е H , основата на триъгълника е

$$p = 2Ea/H \quad (1)$$

При подпорните конструкции, земният натиск се приема като равномерно разпределен по височина и има интензивност (Шнебели, 1979).

$$q = Ea/H \quad (2)$$

Някои характерни диаграми за разпределение на



Фиг. 1. Разпределенията на земния натиск в диаграмите са: а. По Terzaghi – Peck - за несвързани почви; б. По Terzaghi – Peck – за свързани почви; с. По Klenner; d. По Leemann; e. По Tschebotarioff; f. По Briske.

При изследване стабилитета на свлачищата, няма регламентиран начин за определяне на диаграмата на разпределение на свлачищния натиск, поради което често се приема, че той е разпределен във формата на триъгълник, както при конзолните стени. Абсолютно неясен е въпросът за пасивното съпротивление на почвата в забитата част на конструкциите, под дъното на строителния изкоп или под свлачищната повърхнина. В някои методи тази част от конструкциите се приема за натоварена с пасивното съпротивление на почвата и това води до погрешни решения. В други методи, подземната част на конструкцията се оразмерява като конструкция във Винклерова среда (Божинов, 1983). Необходимото изискване е земната реакция да не надвишава пасивното съпротивление на почвата.

Важен е и въпросът, доколко верни са определените стойности на земния или свлачищния натиск, тъй като в това се съдържат редица условности. Най-важни са въпросите, свързани с правилното определяне на якостните характеристики на почвите в дадено напрегнато състояние на масива. Въз основа на предварителни изчисления се доказва, че разпределението на земния натиск зависи от много величини, като: вид, якостни и деформационни характеристики на почвите; коравина и начин на подпирание на конструкциите; коравини на подпорите; момент от време, в който се изпълнява подпирането и др.

За илюстрация на влиянието на якостните характеристики на почвите, могат да се посочат два примера. Първо, при изключително слаби почви (почти вода) с почти нулеви якостни характеристики, независимо от вида на подпирането и деформационните характеристики на конструкцията, земният натиск ще има винаги диаграма на триъгълник, подобно на водния натиск. На практика това не се отчита в изчисленията и при подпрени конструкции може да се приеме разпределение на трапец, съобразно вида на подпирането. Това приемане е очевидна грешка. Второ, при много здрави почвени разновидности, трансформация на диаграмата на натиска след подпирането въобще не може да настъпи, поради липса на пластични течения в масива, които да преоформят неговата първоначална диаграма.

Както се вижда, изчисляването на подпорните конструкции съдържа редица условности, които се приемат априори и поради липса на доказателства и достатъчно надеждни методи, се прилагат масово в практиката. Това води или до преразход на материали, или до недостатъчно

земния натиск върху подпорни съоръжения, са дадени на фиг.1.

високи коефициенти на сигурност. В някои случаи могат да се компрометират целите конструкции.

Посочените условности изискват експериментално определяне на земния и/или свлачищния натиск и като стойност, и като диаграма на разпределение. Сравнение на експериментално получените резултати с приетите при изчисленията, дава възможност да се подобри методиката за изчисляване на конструкциите, както това се прави например с измерване и анализ на сляганята на фундаментите на сградите и съоръженията.

За съжаление, опитното определяне на земния натиск в естествени размери е сложно. Необходими са специални датчици за натиск (Grundbau, 1966), които се монтират върху армировката на конструкцията и са разчетени така, че след изливането на бетона, да остават в непосредствен контакт на границата бетон-почва. Този контакт обаче не може да се гарантира.

Друг ефективен, по-съвременен начин за определяне на напрегнатото и деформирано състояние на опорните конструкции (шлицови стени и пилоти), се състои в поставянето на датчици в носещата армировка или в специално поставени стоманени пръчки. По показанията на тези датчици се определят директно огъващите моменти в конструкциите и след диференциране или интегриране се получават останалите величини като: премествания, напречни сили и земен натиск.

Отделни експерименти, изпълнени в естествени условия, дават основания да се направят заключения, които отдалечават значително получените стойности на земен натиск и напрегнато състояние на оградящите конструкции от изчисленията (Божинов 2022, Grundbau 1966).

Някои от тези резултати бяха докладвани на Конференция, посветена на проф. Балушев (Божинов, 1999-200, 2022) и в общи линии показват, че:

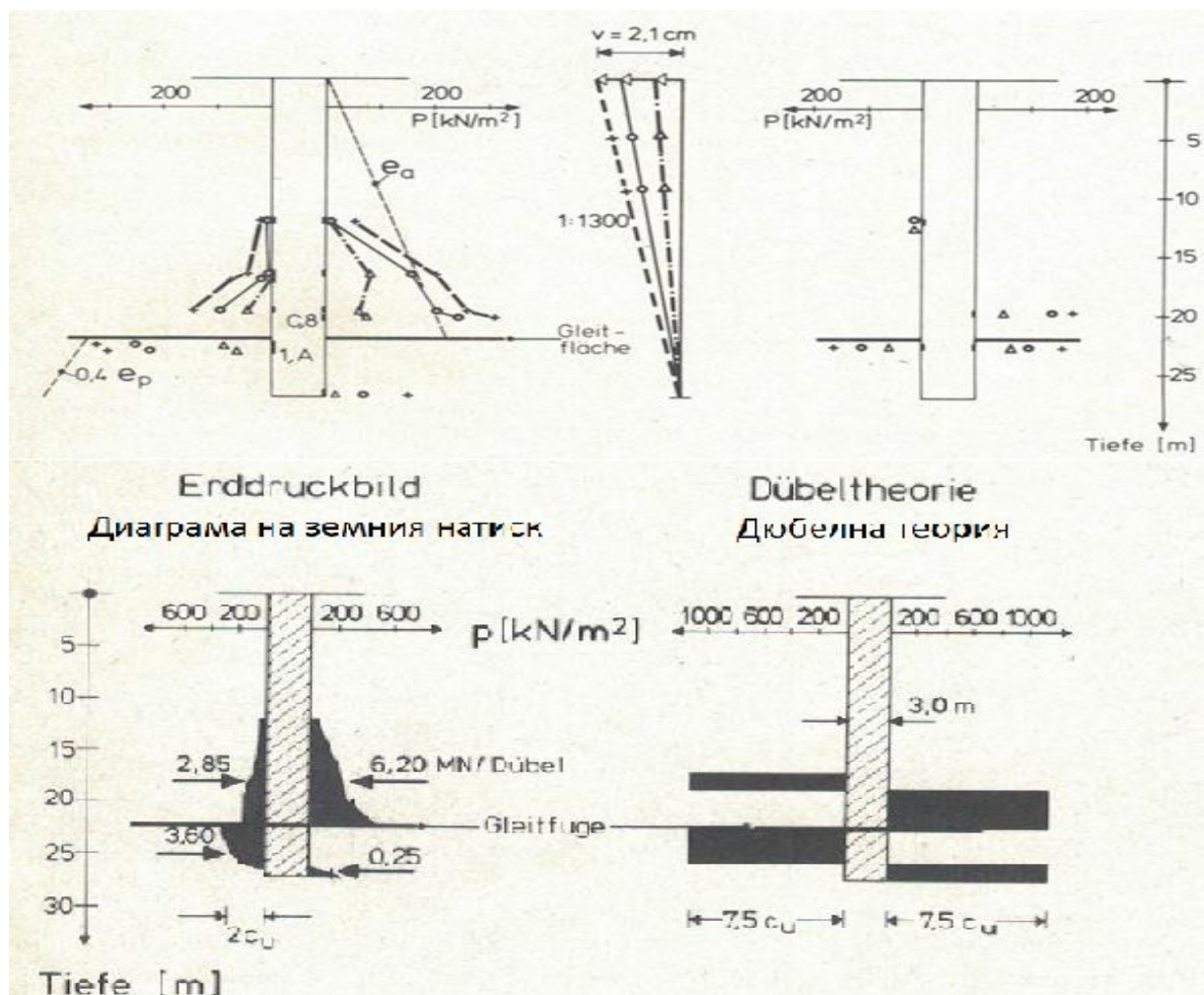
- силите в разпънките на шлицовите стени са 2 до 3 пъти по-ниски от изчисленията;
- земният натиск върху шлицовите стени и оградящите пилоти е също значително по-нисък от изчисленията;
- до дълбочина 4,0 метра стените не получават огъвания, което показва, че до тази дълбочина липсва земен натиск, или пък този натиск е толкова малък, че не може да предизвика огъване на стените;
- шлицовите стени работят със забитата си част до дълбочина 4,0 метра;
- ъглите на вътрешно триене, с които следва да се определя земният натиск са 20 - 30 % по-високи в сравнение с дадените в инж. геоложките проучвания.

Същото се отнася и до кохезията (Божинов, 2022). Пясъците, които според инж. геоложките доклади нямат кохезия, всъщност държат вертикални откоси, което може да се обясни само с наличието на кохезия, която в някои случаи може да бъде значителна (Божинов, 2022г.);

- при конструкции, които следва да се подпират с разпънки на повече от едно ниво, долният ред разпънки почти не се натоварва при откопаване на ямата. Явно, това се дължи на високи якости на почвата, поради

което в нея не могат да протичат процеси на преразпределение на земния натиск;

- коефициентите на леглото, с които се оразмерява забитата част на ограждащите конструкции, са значително по-високи от приетите в изчисленията, съгласно предписанията в нормативните документи (Божинов, 1999-2001);
- свлачищният натиск е концентриран в долната част на опорните конструкции от сондажни пилоти, както се вижда на (фиг. 2.) (Божинов 2022, Grundbau 1966).



Фиг. 2. На горната схема с пунктир е показано теоретичното разпределение на свлачищния натиск – линията e_a . В долната част на пилота е показано действителното разпределение на натоварването, според измерванията със специални датчици. В долната част на фигурата е показана картината на приетото разпределение на земния натиск и изчислението на носещата способност на пилота по така наречения „дюбелен метод“, който за сега не се практикува у нас. Пилотите са конзолни /неподпирани/ с диаметър 3,0 m.

Всичко това показва, че резултатите от изчисленията се различават значително от действителното натоварване и поведение на подпорните конструкции.

Предвид важността на задачата и очакваните значителни ефекти върху подобряване статиката на подземните конструкции, се предлага един ефективен метод за определяне на тяхното напрегнатото и деформирано състояние, а така също за определяне на земния или свлачищен натиск. Методът се основава на измерванията на инклинациите, вследствие огъване на конструкциите и анализ на резултатите от измерванията. Така например, ако са известни инклинациите (ъглите на завъртане) в определени точки в дълбочина на

конструкцията, от резултатите може да се построи гладка крива с определена степен (най-добре алгебричен полином до 8 или 9 степен), като се използва определен метод (например, изравняване по метода на най-малките квадрати).

Получава се крива от вида:

$$\alpha = \alpha(z) \quad (3)$$

където, $\alpha(z)$ е функцията на изменение на измерените ъгли α в зависимост от дълбочината z на точката.

По-нататък следва да се използват известните зависимости от механиката, за да се получат останалите величини, както следва:

Огъващи моменти:

$$M(z) = -EI \alpha'(z) \quad (4)$$

където:

- $\alpha'(z)$ е първата производна на функцията $\alpha(z)$;
- EI е коравината на опорната конструкция (пилот или шлицова стена), $kN.m^2$.

Това състояние може да важи само до получаване на огъвания с определен размер, например при стрелка на деформираната част от 1/500 до 1/1000 за елементите, изпълнени от стоманобетон. Ако относителното огъване е по-голямо, се налагат допълнителни итерации за корекция на коравината в зависимост от размера на огъването и отварянето на пукнатини в конструкцията. За оценка на получаване на пукнатини, може да се използва и големината на измервания ъгъл.

Останалите неизвестни се получават по аналогични зависимости, както следва:

$$Q(z) = -EI \alpha''(z) \text{ - напречни сили и} \quad (5)$$

$$p(z) = -EI \alpha'''(z) \text{ - земна реакция.} \quad (6)$$

По изложения начин определянето на всички необходими величини за частта на конструкциите над и под опорните повърхнини става елементарно, с помощта на прости математически операции.

Допълнителна информация за напрегнатото състояние на подпорните конструкции се получава като на анкерите или разпънките се поставят динамометри, които да определят опорните сили. Този метод е доста по-точен и дава база за сравнение с изчислените стойности на опорните реакции. Изпитванията се допълват и с геодезични измервания на преместванията на конструкциите, измервания с лазер на преместванията в дълбочина на изкопите и др.

Първи стъпки в измерването и обработването на инклинациите на опорни конструкции са направени в периода 1983-1987 г. чрез вграждане на инклинотрични тръби в шлицовите стени при откопаването на участък от Софийския Метрополитен. Динамометри са поставяни и на анкери при укрепванията на някои свлачища, като свлачището при почивния комплекс “Свилоса” до гр. Балчик.

При съвременното строителство, също се правят

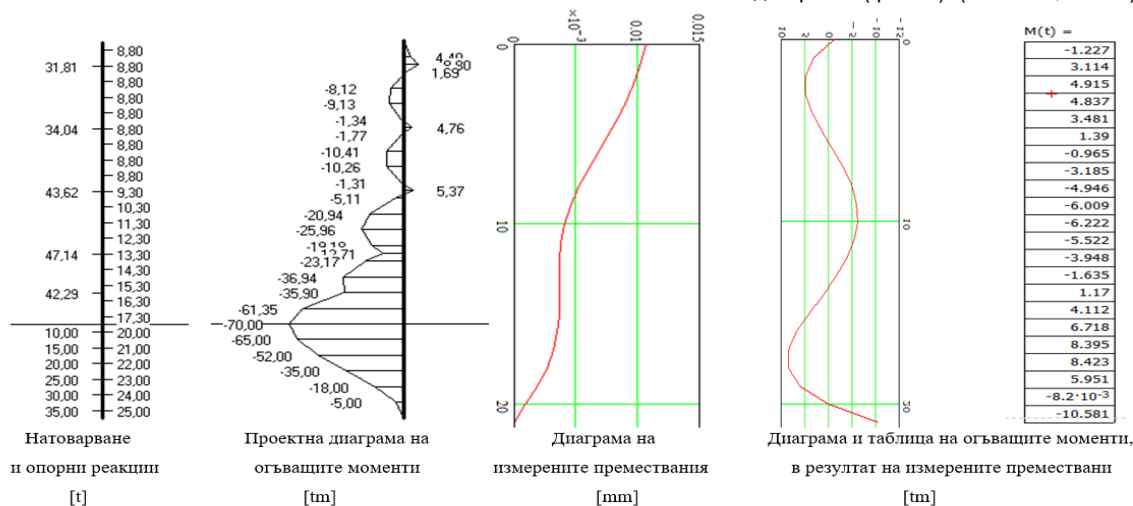
измервания на инклинациите в ограждащите пилоти и на усилията в анкерите – Mall of Sofia на ъгъла на улиците “Стамболийски” и „Опълченска“, както и на метростанциите при Софийския университет и при Националния стадион „Васил Левски“. Поставени бяха и инклинотрични тръби и бяха направени измервания на инклинациите при откопаването на строителните изкопи на посочените обекти.

Особен интерес представляват измерванията при свлачищата, с които да се определи действителната стойност на свлачищния натиск, диаграмата на неговото разпределение, якостните характеристики на почвите в свлачищните повърхнини, както и действителните коефициенти на сигурност, които на практика могат да се изменят в широк диапазон. При установено преоразмеряване, могат да се направят значителни икономии.

За изпълнението на посочените задачи следва да се създаде и главно да се изпълнява широка програма за мониторинг с измервания, обработване и анализ на посочените величини. Несъмнено, това ще хвърли светлина върху верността на изчисленията и евентуално за получаване на значителни икономии, съпроводени с увеличаване на сигурността на съоръженията.

Заклучение

Изпитванията за определяне на напрегнатото и деформирано състояние на опорните конструкции в естествени условия и мащаби дава възможност за определяне на редица параметри на земния натиск, действителното напрегнато състояние на конструкциите и тяхното взаимодействие с околния масив. Данните от измерванията имат важно значение за подобряване и рационализиране на цялостната статическа работа на конструкциите с определен икономически и технологичен ефект. За измерванията е подходящо използване на инклинотрични, в комбинации с други методи, като: измерване на усилията в анкерите, геодезически измервания, лазерно определяне на преместванията на конструкциите други начини, регламентирани в специализираната литература. За илюстрация се посочва едно сравнение между теоретични и реално получени от измененията диаграми (фиг. 3.) (Божинов, 2022г.)



Фиг. 3. Изчислени натоварвания и огъващи моменти в шлицовите стени до ул. „Позитано“, гр. София. Измерени премествания и определени огъващи моменти от преместванията на същите стени.

Очевидно ефектът от използване на данните от измерванията показва огромната разлика между проектните и действителните стойности на моментите и силите в опорите.

Литература

- Божинов, Б. 1999-2001. Опит при подземното строителство в София. - *Годишник на ВИАС, свитък IV “Геотехника”*, София.
- Божинов, Б. 1983. Оразмеряване на укрепителни огради, *сп. “Строителство”*, кн. 9, София.
- Божинов, Б. 2022. *Геотехнически обекти. Коментари, изводи и препоръки за проектиране*. Авангард Прима, София.

- Венков, В. 1981. *Подпорни стени и съоръжения*, С, Техника. *Наредба 12/2001 за проектиране на геозащитни строежи, сгради и съоръжения в свлачищни райони*. София
- Норми за проектиране на подпорни стени, шифър 2-02-03, 1986. *Бюлетин за строителство и архитектура*, кн. 10.
- Сангера, Г., Ж. Косто. 1981. *Механика грунтови*, Москва, Стройиздат.
- Шнебели, Ж. 1979. *Шлицови стени*, Изд. “Техника”, София.
- Wilhelm Ernst V. & Sohn 1965. *Grundbau- Taschenbuch Band 1. Grundagen*, Berlin-Munchen.
- Deutsche Institut für Normung eV (DIN), 1987 DIN-4085, Beiblat 1*. Berlin
- Autorenkollektiv, 1980. *U-bahn für München U-Bahn-Linie 8/1 (Eine Dokumentation)*, München.