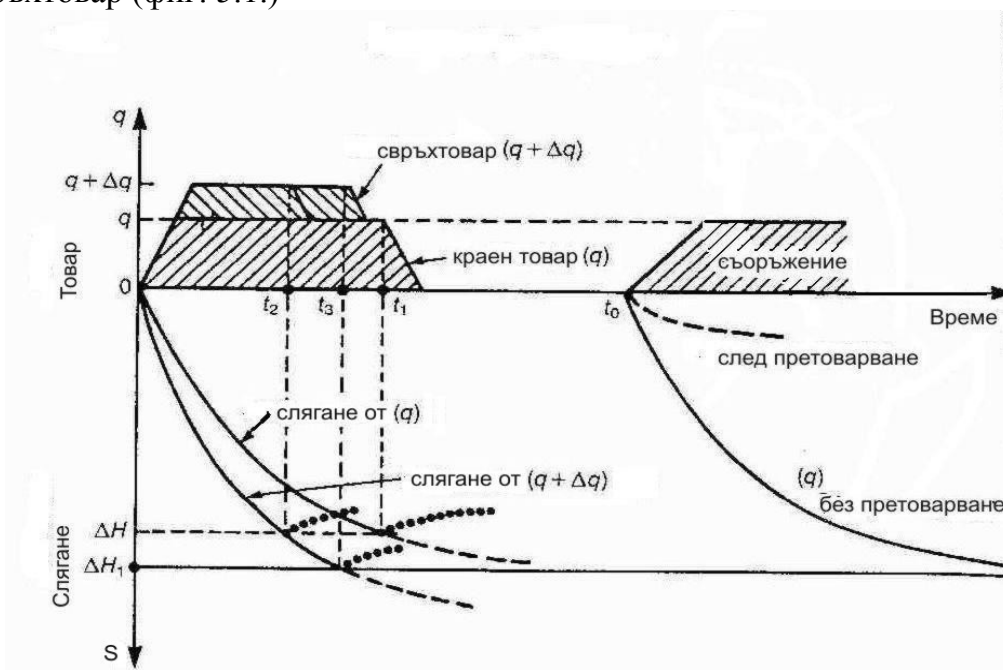


## 5. УПЛЪТНЯВАНЕ НА СЛАБА ПОЧВА С ПРЕТОВАРВАЩ НАСИП И ВЕРТИКАЛНИ ДРЕНАЖИ

### 1. Същност на метода

Методът се прилага при плоско фундиране в слаби водонаситени почви. Към тях се отнасят морските и пресноводни тини, тинести пясъци, торф и други почви, които имат модул на общата деформация  $< 5,0$  МРа и степен на водонасищане  $S_r > 0,8$ . Те са широко разпространени в Русия, САЩ, Холандия, Скандинавските страни и др. В България се срещат предимно по Черноморието и покрай големите реки.

Методът се състои в предварително статично натоварване на земната основа преди изграждане на фундаментите, чрез поставяне върху нея на товар който се отстранява, след като се получи желаното слягане. Обикновено товарът е по-голям от товара на фундаментите и се нарича свръхтовар (фиг. 5.1.)



Фиг. 5.1. Принципна схема на предварително уплътняване на земна основа със свръхтовар т.е. товарът, който е повече от крайния товар и се прилага за ускоряване на слягането (по Bell, 1992)

Трябва да се определи времето за достигане на необходимото слягане или размерът на свръхтовара  $\Delta q$ , необходим за реализиране на слягането  $\Delta H$ , което ще настъпи след време  $t_2$ . Ако свръхтоварът действа до време  $t_2$ , тогава той ще даде същото слягане, което ще настъпи при крайния товар за време  $t_1$

Претоварването на основата може да се извърши по различен начин: с големи водни цистерни, с натрупване на тежки материали (вж. примера даден в гл. 2 с уплътняване на основата на голямата джамия в Цариград чрез складиране върху нея на всички строителни материали необходими за нейното построяване) и чрез изграждане на земен насип. В

по-нататъшното изложение се има предвид преди всичко последния случай.

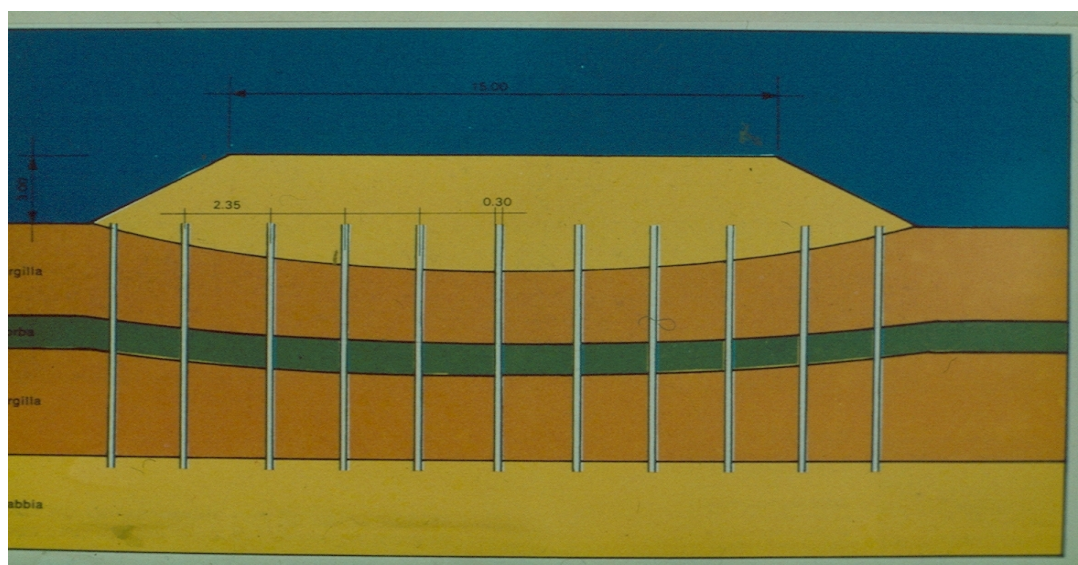
## 2. Ускоряване на консолидацията с вертикални пясъчни дренажи

За ускоряване на консолидацията на земната основа се изграждат вертикални дренажи. Първата публикация за приложение на вертикални пясъчни дренажи е на американския учен Портър от 1936 г. на Първия световен конгрес по Земна механика и фундиране.

Принципът на уплътняването с претоварващи насипи и вертикални дренажи е следния. Ако на повърхността на силно свиваема водонаситена почва се приложи достатъчно голям товар, то във водата изпълваща порите възниква напор, който се стреми да уравни налягането от товара. Под действие на това налягане започва изтласкване на водата от порите. Коефициентът на филтрация  $k_f$  на разглежданите почви не е голям и водата се насочва към вертикалните дренажи, те я поемат и отвеждат към пясъчната възглавница, разстлана на повърхността.

Водният напор действа до тогава, докато товарът не бъде възприет от почвения скелет. Скоростта на консолидацията зависи главно от разстоянието между дренажите и в значително по-малка степен от техния диаметър. Носещата способност на основата освен от уплътняването се увеличава и от самите дренажи, когато са изградени от пясък или други грубозърнести материали.

Пясъчните дренажи са с диаметър от 20 до 50 cm и дължина до 30 m, но най-често достигат до дълбочина 10-15 m. Разполагат се на разстояние от 2-10 m един от друг. Могат да прорязват целия уплътняван пласт или да бъдат висящи (фиг. 5.2).



Фиг. 5.2. Уплътняване на земна основа с претоварващ насип и вертикални дренажи

Претоварващите насипи обикновено се изграждат от несвързана почва, имат височина до 7-8 m и най-често покриват цялата площадка на изгражданото съоръжение. При недостиг на материал може да се използват т.н. "подвижни дюни". Това са насипи във вид на дига, която се премества с булдозер няколко пъти по уплътняваната площ.

Уплътняването на слаба почва с вертикални дренажи може да се извърши в процеса на строителството, т. е. без да се изграждат предварително претоварващи насипи, но поради голямото слягане (до 3 m) това се прави само при някои земнонасипни съоръжения. При строителството на промишлени, транспортни и други съоръжения претоварващите насипи или част от тях се снемат след завършване на консолидацията.

Най-напред в строителството са използвани пясъчните дренажи. Един от начините за тяхното изграждане е като се използват машините за набивни пилоти. Набива се обсадна тръба с  $d=400-500$  mm с накрайник, който може да бъде оставащ в почвата конус или отварящо се приспособление. При набиването тръбата се вибрира. След достигане на желаната дълбочина вибраторът се изключва, а тръбата се изпълва с водонаситена баластра или пясък. След това вибраторът се включва, обсадната тръба се извлича с около 0,5 m и се задържа в това положение 10-20 сек., за да се отвори накрайника и се запълни образуваното празно пространство под долния край на тръбата. По същия начин извличането продължава нагоре под непрекъснатото действие на вибратора. Пробиване на сондажите се ускорява с водна струя подавана с маркуч свързан с долния край на тръбата. Размитата почва се изнася чрез права циркулация на водния поток между стените на сондажа и тръбата.

Освен със сондажни пясъчни дренажи уплътняване на слаби водонаситени почви може да се прави и с траншейни дренажи. Те се изграждат в тесни изкопи с дълбочина до 5-6 m и широчина 0,6-0,8 m, които се прокарат с машини за изкопаване на тесни шлицове.

### 3. Ускоряване на консолидацията с картонени и полимерни дренажи

Най-напред в Швеция през 1947 г., а след това и в други страни вместо пясъчни започнаха да се използват картонени дренажи. Те получиха особено разпространение в районите, където няма пясък. За първи път този метод е приложил Kjellman. Неговите дренажи представляват картонени ленти със сечения  $3 \times 100$  mm, в които са прокарани вътрешни надлъжни канали със сечения  $3$  mm<sup>2</sup>. Лентите се приготвяват индустриално от събиране на 3 импрегнирани картона, имат дължина до 4 m и обикновено се навиват на рула, като 1m тежи 200 гр.

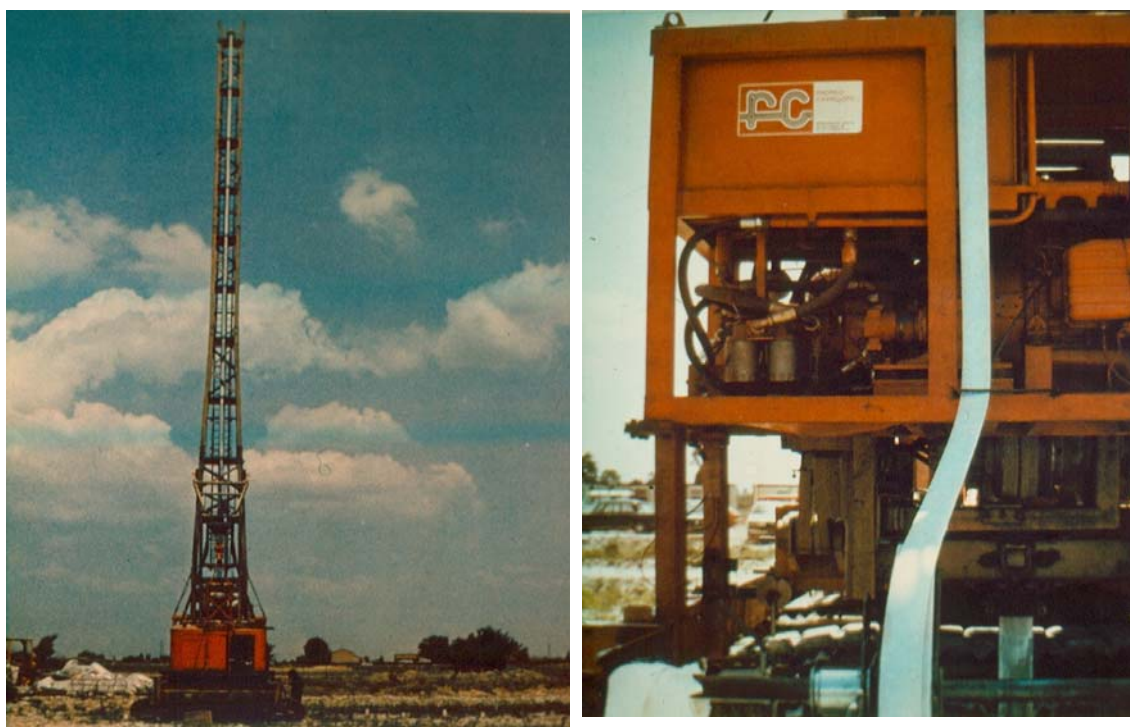
След 60<sup>-те</sup> години картонените дренажи са заменени с полимерни. Лентите се поставят в обсадна тръба с правоъгълно сечение, която се набива с верижен багер (фиг. 5.3.) По-подробно технологията е описана в книгата на Дингозов и др. (1980). В същата книга е дадено и

проектирането на различните видове дренажи. Информация по този въпрос може да се намери и в Bell (1993).

Изграждането на полимерни дренажи се извършва много бързо и дава същия ефект както пясъчните, като три полимерни дренажа могат да заменят един пясъчен с  $d=50$  cm. Това е един много производителен и ефективен метод.

Напоследък методът се използва не само за слаби водонаситени почви, но и при почви с по-добри земномеханични показатели, при повишени изисквания спрямо сляганията на земното легло, например при строителство на високоскоростни ж.п. линии.

Успешното приложение на уплътняването чрез претоварване и вертикални дренажи много зависи от качеството на инженерногеоложкото проучване, което трябва да даде данни за вида на уплътняваните почви, за техния стратиграфски строеж, за якостните и деформационните им характеристики. От особено значение са данните за размера и скоростта на консолидация. Необходимо е изпитване на достатъчен брой проби, които трябва да включват даже тънките пясъчни прослойки. Ако те са пространствено издържани, това може да ускори консолидацията.



Фиг. 5.3. Изглед на уредбата за поставяне в почвата на вертикални полимерни дренажи. В дясно – детайл от долната част на кулата, от който се вижда дренажната лента.

#### 4. Ускоряване на консолидацията чрез вакуумиране

Ефектът от свръхтовара може да се постигне чрез прилагане на вакуумиране на основата (Bell, 1993). За целта върху строителната площадка се насипва пясъчен слой и върху него се поставя непроницаема

мембрана с добре изолирани краища (фиг. 5.4.). Отрицателният порен натиск, създаден от вакуум-помпа предизвиква придвижване на водата към повърхностния пясъчен слой поради създаване на хидравличен градиент. Размерът на вакуума зависи от капацитета на помпата и изолационните качества на полимерната мембрана. Нейните краища са поставени в плитки траншеи и са изолирани с циментно-бентонитова суспензия. Обикновено се постига вакуум до 50-60%. Ефектът от уплътняването може да се подобри чрез прокарване на вертикални дренажи. Уплътняването с вакуумиране е особено ефективно при извънредно слаби почви, при които изграждането на претоварващ насип може да предизвика загуба на устойчивост. Разглежданият метод може да предизвика свръх товар до  $80 \text{ kN/m}^2$ .

Ефектът от уплътняването по различните техноложки схеми се установява по геодезичен път, с пенетрационни и пресиометрични изпитвания на място и с изследване на проби, взети от земната основа след завършване на консолидацията.

Най-добри резултати се получават с пенетрометри от типа СРТ, които позволяват освен определяне на носещата способност след уплътняването и оценка на сеизмичната устойчивост на основата.



Фиг. 5.4. Създаване на свръхтовар чрез вакуумиране.

На диаграмата за напреженията  $\sigma^l$  е ефективното напрежение, а  $u$  е порния натиск. Диаграмата в ляво е за почвените условия преди уплътняването, а тази в дясно показва промените, които настъпват след прилагане на вакуум-развитие на отрицателен порен натиск и нарастване на ефективните напрежения, което предизвиква консолидация (Bell, 1993)

## 5. Примери от строителството

Уплътняването със свръхтовар и вертикални дренажи са приложени на стотици строителни обекти по света и опитът с тях е бил предмет на много публикации. За българските специалисти този опит бе

достъпен чрез книгите на Дингозов и др.(1980) и Евстатиев и Манов (1988). У нас те са прилагани в долината на Варненските езера.

Така например, част от съоръженията на Фериботното пристанище в Белославското езеро са фундаментирани след уплътняване по разглеждания метод на езерни тини и блатен торф с обща дебелина 12 m. Най-напред торфът и тините са били отстранени до кота -4,0 m. След това чрез хидронамив е изграден насип от дребнозърнест пясък до кота 0,0. После е разстлан пласт от едрозърнест пясък с дебелина половин метър, от чиято повърхност са направени 7600 броя пясъчни дренажи с дължина до 10 m и  $d=475$  mm. Дренажите са разположени на 4 m един от друг и са изградени чрез набиване на метална тръба, чието напредване в тините е улеснено от водна струя подавана от крайника им. По тази технология е постигната производителност до 40 сондажа за 24 часа. Върху така подготвената основа е построен претоварващ насип с дебелина 6 m. Вертикалните дренажи са ускорили слягането до 2 пъти, като за 3 месеца то е достигнало 110 cm или 80% от изчисленото. След това насипът е отстранен до кота +2,10 m и е започнато строителството.

Значително ускоряване на консолидацията се постига и с дренажите от полимерни материали, с които е постигано уплътняване за един месец, вместо 24 месеца ако уплътняването е извършено само с претоварващ насип (Bell, 1993).

Друг случай на приложение на пясъчни вертикални дренажи е при строителството на земнонасипната стена на утайника на ТЕЦ "Варна" в местността "Беглик чаир". Земната основа е изградена от слаби езерно-блатни тини и пясъци с дебелина 10-15 m. Под стената е разстлана пясъчна възглавница с дебелина 1 m и от нея са направени с ръчна сонда 174 шахматно разположени сондажи с диаметър 350 mm и дължина 4-10 m и обща дължина 1157 m.

При строителство на диги върху много слаби водонаситени почви в долината на Варненските езера са използвани претоварващи насипи без вертикални дренажи чрез челно изтласкване на тините (Евстатиев и Манов, 1988).

За складиране на драгираните около 20 млн  $m^3$  земни маси при изграждане на пристанището "Варна запад" и на фериботното пристанище (вж. по-горе) и от плавателните канали, са изградени 4 големи депа: едно срещу с. Страшимирово и три в местността "Балтата", западно от Белославското езеро.

Депото при с. Страшимирово попада в блатисто понижение и от север е оградено с дига с дължина 1,3 km. Дигата е изградена от пясъчлива глина върху извънредно слаба водонаситена почва: двуметров слой от торф, под който залягат тини с дебелина до 16 m. Потъването на насипа е придружено с образуване пред него на валове на изтласкване на тинята и е спряло след като неговата основа е достигнала до долулежащите здрави терасни материали.

Обаче, в участък с дължина около 160 m дигата се изгражда върху пласт от тиня, съдържаща до 30 % мидени черупки, които увеличават



нейното съпротивление на срязване. Добро решение на проблема е било изграждането на претоварващ насип с височина 20 m, но за това е нямало време поради необходимост депото спешно да бъде пуснато в експлоатация – т.е. в него чрез намив да бъдат насипани тините, изкопани при строителството на пристанищата и каналите. След 14 дни от началото на намива започват хоризонтални премествания на дигата и в тялото ѝ се образуват големи надлъжни пукнатини. Настъпва хлъзгане по повърхности на срязване в неизтласканата тиня. За прекратяване на преместването от към въздушната страна на дигата е изграден контрафорс, спряно е намиването на депото и е извършено надзиждане на насипа. Това ускорява вертикалните деформации и основата на дигата се опира върху алувиалните материали. По този начин нейната обща височина, включително надземната и подземната част е достигнала 33 m при ширина на короната 8 m и на основата 30 m.

Чрез челно насипване на дигата и изтласкване на тините изпод нейната основа са изградени и останалите три депа в местността “Балтата”. Впоследствие всички депа са рекултивирани. Върху едно от тях са построени коловозите на фериботното пристанище.

Преди провеждането на описаните уплътнителни работи са извършени подробни инженерногеоложки и земномеханични изследвания на земната основа, резултатите от които са описани от Евстатиев и Манев (1988).

Уплътняване с полимерни вертикални дренажи е приложено при рекултивацията на шламохранилището “Синята лагуна” на Медодобивния комбинат край гр. Пирдоп. В това хранилище са складирани с намив отпадъчни материали с високо водно съдържание. Най-напред, повърхността му е разделена на клетки, отделени с диги насипвани с челно изтласкване на отпадъка. След това повърхността на клетките е покрита с геотекстил, върху който е положен 50-60 cm пласт от натрошен отпадъчен бетон. По този начин е създадена здрава основа, позволяваща изграждане на вертикалните дренажи и повърхностен дренаж за отвеждане на постъпилата от тях вода.

Машината, с която са изградени дренажите от типа wick drains се състои от верижен багер, на който е монтирана специална кула, взета назаем от Холандия (фиг. 5.5.а). Тръбата, с която се спускат дренажните ленти завършва с отварящ се накрайник, което позволява лентите да останат в сондажа след нейното изваждане.

Производителността на дренажните работи е голяма - 75 000 m дренажи за 1 месец, при разстояние между дренажите 3,0 m.

Притокът на вода от дренажите към повърхностния слой от грубозърнест материал е и бил много голям (фиг. 5.6.а). Водата е събирана от резервоар, от който е отвеждана за пречистване.

Слягането на повърхността на терена е било до 60-70 cm, като уплътняването е било достатъчно, за да се пристъпи към неговата рекултивация (фиг. 5.6. б)



(a)



(б)

Фиг. 5.5. Изглед на уредбата за приготвяне на полимерни дренажи в “Синята лагуна”

(а) – Прикрепване и изправяне на кулата към крана;

(б) – Изграждане на дренажите в утайника;

(Фото инж. геолог Б. Калчев)





(a)



(б)

Фиг. 5.6. Ефект от уплътняването с полимерни лентови дренажи  
(а) – Наводняване на повърхността с вода от дренажите ;на  
преден план се виждат ролата с полимерни ленти;  
(б) – Рекултивация на терена след уплътняването; момент от  
изграждането на насипа;  
(Фото инж. геолог Б. Калчев)