

ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ ДОКЛАД

ЗА ПРОВЕДЕНИ ПРОУЧВАНИЯ НА ОБЕКТ:

**„ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ ЗА „ВЯТЪРЕН ПАРК
ЛОЗЕНЕЦ“**

СЪСТАВИЛ:

/ ИНЖ. АЛЕКСАНДЪР ХРИСТОВ/

УПРАВИТЕЛ:

/ПРОФ. Д-Р ИНЖ СТЕФЧО СТОЙНЕВ/

СЪДЪРЖАНИЕ:

1. ВЪВЕДЕНИЕ	4
2. ОБХВАТ НА ПРОУЧВАТЕЛНИТЕ РАБОТИ	4
3. РЕГИОНАЛНА ГЕОЛОГИЯ, ТЕКТОНСКИ СТРОЕЖ И СТРАТИГРАФИЯ	6
4. ХИДРОГЕОЛОГИЯ	9
5. СЕИЗМИЧНОСТ	9
6. ГЕОДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ И ЯВЛЕНИЯ	9
7. ПРОУЧВАТЕЛНИ РАБОТИ	12
7.1. Сондажни работи	12
7.2. Опробване	13
7.3. СРТ опити	13
7.4. Електросъпротивителни измервания	14
7.5. Сеизмичен каротаж	15
7.6. Лабораторни изследвания	19
8. ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ УСЛОВИЯ	22
8.1. Методология	22
8.2. Характеристика на инженерногеоложките разновидности	22
8.3. Геотехнически показатели на инженерногеоложките разновидности	26
9. ХИМИЧНИ СВОЙСТВА НА ПОЧВИТЕ	28
10. ИЗЧИСЛЕНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТИПА НА ЛЬОСА ПО ПРОПАДЪЧНОСТ	29
11. УСЛОВИЯ ЗА ФУНДИРАНЕ	30

ПРИЛОЖЕНИЯ:

Приложение 1. Ситуация с нанесени проучвателни проучвателните изработки – 1 чертеж

Приложение 2. Сондажни колонки

Приложение 3. Резултати от лабораторни изследвания.

Приложение 4. Обобщени таблици от лабораторните изследвания.

Приложение 5. Резултати от CPT опитите (първични данни само на CD).

Приложение 6. Резултати от електросъпротивителните измервания.

Приложение 7. Резултати от сеизмичния каротаж в сондажите.

Приложение 8: Фотоалбум на сондажна ядка (само на CD).

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Инженерногеоложкото проучване е извършено в съответствие с договор между „ЕЕ Лозенец“ ЕООД“ и „Геотехника“ ООД, и в съответствие със Заданието за предварително проучване за геотехнически дейности на Вятърен парк „Лозенец“, попадащ на територията на община Крушари и община Добрич.

Целта на проучването е да се изследват геотехническите свойства на земната основа на 2 бр. генератора, които да дадат предварителна оценка за общия характер на района, предвиден за изграждане на ветрогенераторен парк, пътища за достъп и подстанция.

Всички инженерногеоложки проучвания са съобразени изцяло с съгласно Еврокод 7 – Геотехническо проектиране и Еврокод 8 – Сеизмично проектиране.

2. ОБХВАТ НА ПРОУЧВАТЕЛНИТЕ РАБОТИ

Полевите проучвания са проведени в периода от 30.10 до 15.11 2023 г.

Извършените дейности включват:

- Сондиране в зоната на фундиране на две от турбините, определени от Възложителя. Изпълнени са общо 2 сондажа, като общата дължина на сондажите е 60 м;
- Взети са общо 16 ненарушени проби от сондажната ядка за лабораторни изследвания;
- Изпълнени са 2 бр. СРТ опити до проучвателните сондажи на площадките в зоната на фундиране на турбините;
- Направени са 2 бр. електросъпротивителни опити по схемата на Венер на площадките на всеки ветрогенератор;
- Извършване на един сеизмичен каротаж в сондаж МС-2;
- Извършване на лабораторни изследвания съгласно таблица 1;
- Преглед на архивни данни от проучвания в района;

Резултатите от направените изследвания са обобщени и анализирани в настоящата обяснителна записка и са показани на приложените ситуации (приложение 1), сондажни колонки (приложение 2) и протоколи от лабораторните и полевите изследвания (приложение 2-7).

Таблица 1. Видове лабораторни изследвания.

Вид опит	Количество
Водно съдържание	30
Обемно тегло	29
Специфично тегло	30
Зърнометричен анализ ISO	30
Атербергови граници ISO	30
Плоско срязване (CD)	18
Компресионен опит (вкл. определяне параметри на набъбване)	2
Пропадане по две криви	9
Химични анализи на водни проби	4

3. РЕГИОНАЛНА ГЕОЛОГИЯ, ТЕКТОНСКИ СТРОЕЖ И СТРАТИГРАФИЯ

Дунавската хълмиста равнина е развита върху Мизийската плоча, която има плоско наслоен релеф. Фундаментът ѝ е изграден от нагънати палеозойски метаморфни скали. Върху тях са отложени седиментни скали с мезозойска и неозойска възраст, а кватернерът включва дебел плейстоценски льосов комплекс. Той е изграден от льосови хоризонти, разделени от „погребани“ льосовидни глинести почви. За подложка на льосовата формация обикновено служат червенокафяви глини. Комплексът достига дебелини към северните части на Дунавската равнина до 60-100 м.

В тектонско отношение проучваният район попада в най-източната част на Мизийската платформа, където на нейния фон е развито Северобългарското подуване с неговия източен склон известен като Варненска моноклинала. Развитите в този район литостратиграфски единици изграждат два коренно различни структурни етажа – предюрски и следюрски. Предюрският структурен план включва структурите в палеозойските и триаските скали. Неговото изграждане е резултат от няколко проявени разломни движения, последното от които е било след триаса. Вследствие на това предюрският структурен план има блоков строеж. Проучваната територия попада в т.н. Безводнишки блок. Той е отделен от намиращия се западно Толбухинско-Ветрински блок от разседите на Венелин-Толбухинската разломна зона. Безводнишкият блок е потънал, като степента на неговото пропадане се бележи от дебелиите карбонски, пермски и триаски седименти, които го изпълват. Следюрският структурен план включва структурите в скалите от средната юра до неогена включително. Характерно за него е, че се разполага трансгресивно върху долноюрския структурен план, като в него се чувства влиянието на блоковата тектоника от подложката. Скалите, които изграждат този структурен план затъват моноклинално на изток и юг, като по този начин бележат източния склон на Северобългарското подуване. На фона на Северобългарското подуване са развити няколко локални позитивни структури.

Съгласно литологостратиграфската подялба на геоложките структури на територията на Р. България в М 1:100000, обследваният район в най-горната си част от разреза включва две геоложки формации – неоген и кватернер (фиг.1):

- Одърска свита (odN₁^s). Тя изгражда докватернерната подложка в района на цялата проучвана площ. Литоложки е изградена от бели и

жълтеникави детритусни, оолитни и песъчливи варовици с песъчливи и глинести прослойки в подчинено количество. Дебелината ѝ е средно 25 – 30 метра, като в западна посока намалява.

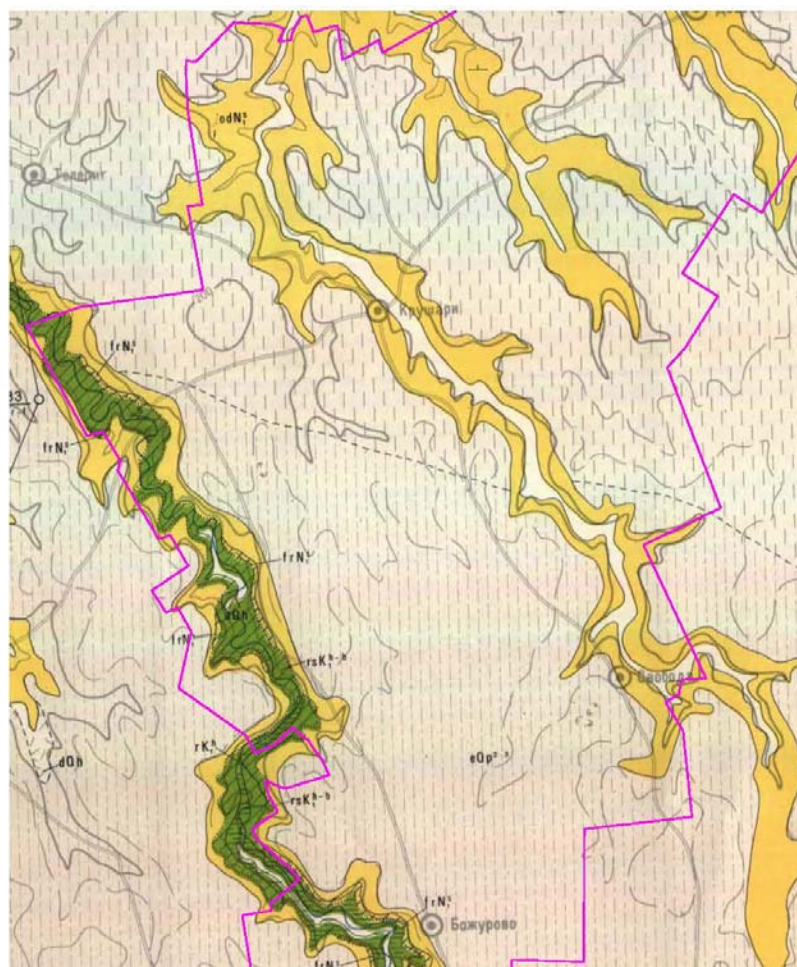
- средно-горноплейстоценски (eQp^{2-3}) делувиялно елувиални и еолични образувания – глинест лъос и лъосовидна глина с дебелина 5-20 м.

Неогенските отложения се проследяват на геоложките карти обикновено в понижените в морфоложки план земни ерозионни форми, а лъосовите покривни образувания по издигнатите релефни части.

Съгласно “Карта на инженерногеоложките типове масиви от лъосовата формация в северна България М 1:300000”, районът на проучваната площадка попада в участък “лъосови масиви с еднослойна пропадъчна зона”. Пропадане настъпва само в активната зона от товара на фундаментите, като дебелината на лъосовия масив е до 15,0 – 22,0 м.

Елувиално-делувиялните отложения изграждат основата на кватернерната покривка в района. Литоложки са изградени от кафяви до червеникави глини и песъчливи глини с конкреции от аморфен варовик и неравномерно разпределен чакъл от изветряли в различна степен варовици. Дебелината им достига 8,0 – 10,0 метра.

Неогенските отложения се проследяват на геоложките карти обикновено в понижените в морфоложки план земни ерозионни форми, а лъосовите покривни образувания по издигнатите релефни части.



УСЛОВНИ ЗНАЦИ

	КВАТЕРНЕР Делувиялни образувания (глинесто-песъчливи и льосовидни образувания)
	Алувиални образувания - руслови и на заливаните тераси (чакъли, пясъци и глини)
	ЕОЛИЧНИ образувания Льос
	глинест льос
	НЕОГЕН Одърска свита (органогенни, оолитни и детритусни варовици)
	Франгиска свита (сиво синкави глини в основата и бели до жълтеникави пясъци)
	ДОЛНА КРЕДА Русенска свита (порцелановидни, органогенни и оолитни варовици)
	Разградска свита (мергели и глинести варовици)
	Граници на проучвания регион

Фиг. 1. Геоложка карта на района.

4. ХИДРОГЕОЛОГИЯ

В североизточна България, в района на Лудогорието са формирани обширни карстово-пукнатинни водоносни хоризонти сред дебелите до няколко стотин метра малм-валанжски и барем-аптски варовикови седименти. В южните и централни части на Северобългарското сводово издигане те образуват два етажно разположени водоносни хоризонта, разделени от дебелослойните хоризонти на хотривските мергели.

В обследвания район подземни води не бяха установени в прокараните проучвателни сондажи. Хорактерно за лъсовите отложения е високата им вертикална водопропускливост, което позволява инфилтриралите се повърхностни води бързо да достигат до основата на лъсовия хоризонт и не позволява задържането им на по-високи нива. Възможно е при водообилни сезони в основата на лъсовия комплекс да се формират водоносни зони с временен характер на дълбочина 15,00 - 18,00 метра. По тази причина, се приема че те няма да повлияят върху строителната зона под фундаментите.

5. СЕИЗМИЧНОСТ

Съгласно Национално приложение EN 1998-1/NA към Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия, разглежданата площадка попада в район, характеризиращ се с референтно сеизмично ускорение $a_R = 0,15g$ за възвръщащ перион от 475 г.

Спектърът на реагиране на площадката да се определя в съответствие с почвените типове спектър на реагиране вид 3 (сеизмично огнище Вранча).

6. ГЕОДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ И ЯВЛЕНИЯ

Геодинамичните процеси и явления на територията на пручваните площадки се категоризират в две направления:

- **Пропадачните свойства** или т.н. “пропадъчност” на лъсовите (еолични) образования (обобщено - пласт №2). Лъосът има еолчен произход, образуван е в началото на кватернера от пренасяни северни и североизточни ветрове прахов материал, който е покрил плейстоценския релеф на Северна България. Във вертикалния разрез на лъсовия хоризонт се наблюдава редуване на лъсови хоризонти и погребани почви. Лъсовите хоризонти могат да бъдат с различен цвят, както и с различен зърнометричен, химичен и минерален състав. Дебелината на лъсовите хоризонти може да достигне до 5,0 6,0 метра. Погребаните почви маркират периодите на прекъсване на лъсоотлагането.

Тяхната дебелина най-често е 2,0 – 3,0 метра. Характерна особеност на лъоса е неговата висока порестост. Голям процент от тази порестост се пада на макро порите – това са макро пори и малки тесни, кухи каналчета, които ясно се виждат с невъоръжено око. Тук трябва се поясни неблагоприятното влияние на водата върху лъосовите почви – при навлажняване на лъоса, устойчивостта и якостта рязко намаляват. Лъосът преминава от недоуплътнено в нормално за дадено натоварване състояние, което се съпровожда с разко намаляване на порестостта, рестективно “слягане” – това явление се нарича “пропадъчност”. При намокряне водата оказва неблагоприятно разуплътняващо, разтварящо, размекващо въздействие между структурните връзки на лъоса, вседствие на което той “пропада”. Типово лъосовите отложения се категоризират като “особени” почви.

Лъосовите отложения върху проучваната територия изграждат най-горната част от кватренерната покривка, чиято дебелина на места достига до 22,00м от кота терен. Това означава, че съоръженията ще бъдат фундирани в зони с лъосови почви, което вероятно ще наложи взимане на мерки за стабилизиране на земната основа при фундиране.

- **Карстови образувания и процеси** в района са развити в неогенските варовици, които не са установени в настоящото проучване. Карстът е природно явление със сложен произход и продължителност, съизмерима с еволюцията на земната кора. Това е обобщаващо понятие, което включва процесите разтваряне, суфозия, пренасяне на веществата и резултатите от тях – разуплътняването и разрушаването на скалите. Карстът е явление, което се наблюдава основно в карбонатни седиментни скали – най-често варовици, пясъчливи варовици и варовити пясъчници. Самият процес представлява разтваряне и суфозия на излужен скалнен материал под въздействието от движението на филтрационен воден поток в скалния масив. За да се осъществят такива процеси трябва да има две основни предпоставки – наличие на напукани, порести, разтворими скали и филтрационен поток от вода с агресивни свойства, която бавно да “разтваря” скалата по пукнатини и слаби зони. В следствие на тези процеси във варовиците се развиват, сложни по форма и разпространение сиситеми от каверни, кухини и карстови празнини, които в зависимост от условията и сложността на седиментния комплекс могат да достигнат сериозни размери (карстови пещери) и да окажат негативно влияние върху строителството.

В конкретния геоложки разрез на двете съоръжения не бяха установени карбонатни скали. Те се разкриват на по-голяма дълбочина и нямат практическо значение за проектиране и фундиране на съоръжението.

7. ПРОУЧВАТЕЛНИ РАБОТИ

7.1. Сондажни работи

Сондирането на терена е извършено с моторна сонда тип УРБ–2А2 (фиг.2). Използваният сондажен лост е с диаметър 60,3 мм и тегло от 4.7 кг/м'.



Фиг. 1. Сонда УРБ 2А2

В почвените интервали сондирането е с диаметър 112 мм без промивка на рейсове от 0,5 до 1,0 м. Постигнато е изваждане на ядка от 100.

Сондажите в местата на ветротенераторите са прокаравани с дълбочини от 30м.

Ядката е събирана в пласмасови сандъци и е складирана на място посочено от Възложителя. Всеки сандък е фотографирен, като снимковия фото архив е представен във фото албум (Приложение 7).

Местоположението на сондажите е съгласно предоставеното от Възложителя разположението на площадките за генераторите. Точките на сондиране на терена са определени с GPS и са нанесени на предоставената от Възложителя ситуацията на обекта (Приложение 1).

Описанието на ядката е направено визуално, съгласно ISO 14688-1.

Сондажните колонки са представени в Приложение 2. Някои основни данни за сондажите са представени в Таблица 2.

Таблица 2. Основни данни за сондажите.

Индекс на сондажа	Координати WGS UTM 35N		Дълбочина (м)
	X, East	Y, North	
МС-2	560701	4845887	30
МС-3	562904	4851054	30
Обща дължина, m			60

7.2. Опробване

- Ненарушени проби

Пробите са взимани чрез тънкостенни грунтоноси, осигуряващи класове 1 и 2 на пробите. Те са опаковани в адхезивно фолио и в запечатан със залепваща лента пластмасов плик, с етикет с номера на сондажа, номера и визуалното описание на пробата. Представителни проби са транспортирани в лаборатория за изследване, като останалите са запазени.

7.3. СРТ опити

СРТ опитите са проведени със система за статични пенетрации производство на фирма GEOMIL, която отговаря на стандарт EN ISO 22476-1. Конусите са с обхват за челно съпротивление q_c до 100 МПа и за около триене f_t до 1 МПа. Скоростта на проникване е 20 мм/сек.

Сигналите от измервателните системи се усилват и изпращат чрез кабели до 16 битов конвертор GME 500, след което чрез специален софтуер - CPTest v.3.56, се записват на компютър. Обработката на резултатите се извършва със специализираният софтуер CPTask v.1.49.

Машината за изпълнение на статичните пенетрации е производство на „PAGANI Geotechnical“ Italy и е модел PAGANI TG63/150. (Фигура 2).

Всеки опит е проведен в непосредствена близост до съответния сондаж.

При опитите са регистрирани следните показатели: дълбочина на пенетрация, върхово съпротивление q_c , около триене и порен натиск. За определяне на основните геотехнически показатели на почвите са използвани следните зависимости между тях (Таблица 3).



Фиг. 3 PAGANI TG63/150 пенетрометър.

Таблица 3. Зависимости за обработка на резултатите от CPT опитите.

qc	MPa	Cone resistance	Measured parameter
fs	MPa	Local friction	Measured parameter
Rf	%	Friction ratio	$fs / qc * 100\%$
I	°	Inclination	Measured parameter
U (1,2,3)	MPa	Dynamic pore pressure	Measured parameter
u ₀	MPa	Equilibrium pore pressure	$p_{water} * (\text{depth-waterlevel})$
u / qc	-	Dynamic pore pressure ratio	u_2 / qc
qt	MPa	Corrected cone resistance	$qc + (1-\alpha_s) * u_2$ $\alpha_s \approx 0.81$
Δu	MPa	Excess pore pressure	$u_2 - u_0$
q _e	MPa	Effective cone resistance	$qc - u_2$
$\sigma_v; z$	kPa	Total vertical stress	$\sum \gamma_{dry} + \sum \gamma_{wet}$
$\sigma_v; z'$	kPa	Effective vertical stress	$\sigma_v; z - u_0$
q _n	kPa	Net cone resistance	$qt - \sigma_v; z$
B _q	-	Pore pressure ratio	$\Delta u / q_n$
q _{norm}	-	Normalised cone resistance	$q_n / \sigma_v; z'$
f _{norm}	%	Normalised local friction	$fs / q_n * 100\%$
SOIL ID	-	Soil classification	classification according to Robertson (1990)
Dr	%	Relative density	$1/C_2 * \ln(qc/(C_0 * \sigma_v; z')^{C_1})$ Consolidated: $C_0 \approx 157$, $C_1 \approx 0.55$, $C_2 \approx 2.41$ Over-consolidated: $C_0 \approx 181$, $C_1 \approx 0.55$, $C_2 \approx 2.61$
Φ	°	Internal friction angle	$ARCTAN(a + b * \ln(qc/\sigma_v; z'))$ $a \approx 0.105$, $b \approx 0.16$
Su	kPa	Undrained shear strength	$(qc - \sigma_v; z) / N_k$ $N_k(\min) \approx 12$, $N_k(\max) \approx 20$
I _c		Soil behaviour type index	$\sqrt{(a - \log q_{norm}) + (\log f_{norm} + b)}$ $a \approx 3.47$, $b \approx 1.22$
N ₆₀		Equivalent SPT N60 value	$(qc/pa) / (8.5 * (1 - I_c/4.6))$ $pa \approx 100$
Q _{st}	kN	Total friction	Measured parameter
Q _t	kN	Total force	Measured parameter

Получените резултати са представени в Приложение 5.

7.4. Електросъпротивителни измервания

Електрическото съпротивление на почвата е измерено на мястото на всеки генератор съгласно ASTM G57-95a. Приложена е Венерова електродна схема за получаване на действителните електрически съпротивления, представени в Ohms.m ($\Omega.m$) units. Всеки геоелектричен профил включва отчети през 1 м до дълбочина 5 м.

Измерванията са направени с апаратура ABEM Terrameter SAS 1000 (Фиг. 3). Тераметърът SAS1000 и IP уреда са интегрирани към персонален компютър с цел „ГЕОТЕХНИКА АБС“ ООД

пълнен контрол и запис на всички данни. Той е с вграден предавател с изходящ сигнал с максимум $\pm 400\text{ V}$ (800 V) и 1000 mA .



Фиг. 4. AEMC 6470B Digital Ground Resistance Tester.

Методиката на провеждане на опита и получените резултати са представени в Приложение 5.

7.5. Сеизмичен каротаж

Геофизичните изследвания включват направата на сеизмичен каротаж в оборудваните за целта проучвателни сондажи.

Те са извършени с помощта на 48 канален 24-битов сеизмограф МАЕ Х610-S, производство на италианската фирма МАЕ (фиг. 6).



Фиг. 5. 48 канален 24-битов сеизмограф МАЕ Х610-S.

Измерванията при сеизмичния каротаж са извършени с използването на BHG-2 сондажен зонд на американската фирма Geostuff, съдържащ 3 бр. сеизмоприемника - един вертикален и два хоризонтални в X-Y-Z конфигурация. Използва се 7-жилен кабел с две медни и 5 стоманени проводници с медно покритие, подсилени с кевлар и полиуретанова обвивка на кабел (фиг. 7).



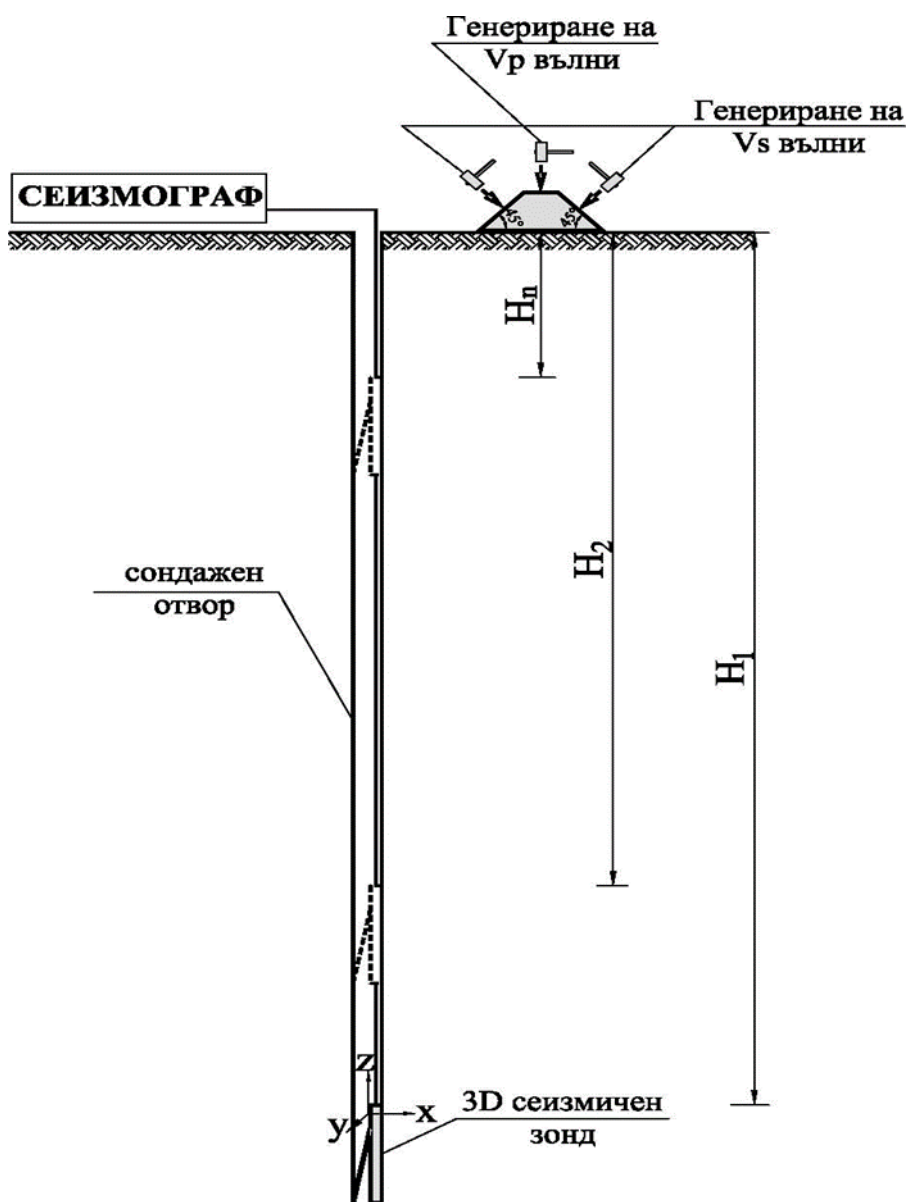
Фиг. 6. Сондажен зонд BHG-2 и контролер BHGC-1.

За контрол на зонда се използва BHGC-1 контролер (фиг. 7), производство на американската фирма Geostuff, който подава напрежение чрез което се задвижва притискащия механизъм. След достигане на максимално притискане на зонда към стената на сондажа, устройството само изключва електромотора на зонда.

При изследването са определени скоростите на разпространение на надлъжната (VP) и напречната (VS) сеизмични вълни в литоложките разновидности в дълбочина. Схемата на провеждане на изследването е представена на фиг. 8, като опитите са извършвани в сондажите със стъпка от 2 м.

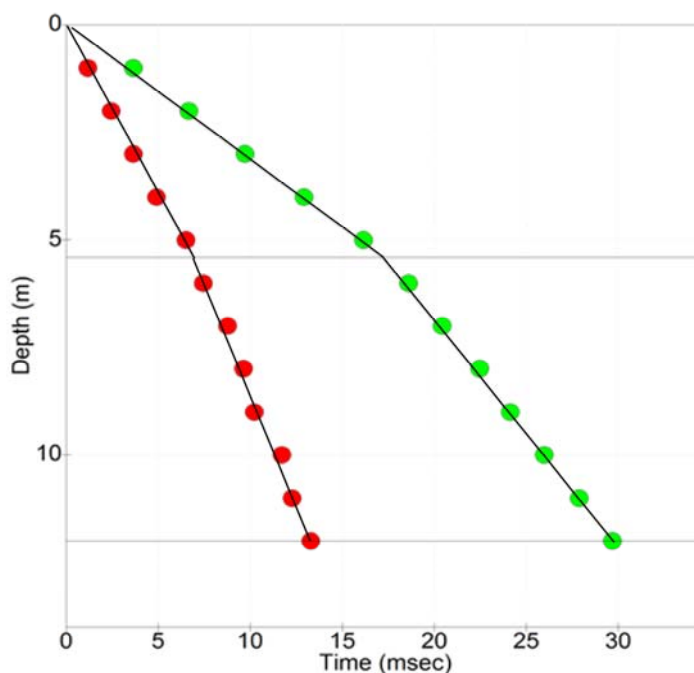
Сеизмичните каротажи са извършени съгласно общите изисквания на стандарт ASTM D 7400 – 08. Техниката на измерване включва създаване на механичен импулс в следствие на удар с чук по алуминиева плоча разположена върху заравнен терен на разстояние от 3 м от отвора на сондажа. За измерване на надлъжната (VP) и напречната (VS) сеизмични вълни, импулсите са ориентирани в посока, съответно успоредна (Z) или перпендикулярна (X и Y) на изходяща ос на сондажа (фиг. 8). До източника е поставен скоростен сензор, който се използва като спусък. След достигане на дълбочината на измерване, три-компонентният зонд се притиска към стената на сондажа и е готов да започне регистрацията на

сигнала. След като регистрацията е осъществена и получените сеизмограми са записани, дълбочината на зонда се променя и процедурата се повтаря.



Фиг. 7. Схема на провеждане на сеизмичен кариж в сондаж.

От интерпретацията на получените резултати са построени ходографите на надлъжната и напречната сеизмични вълни (фиг. 8).



Фиг. 8. Построяване на ходографите на надлъжната и напречната сеизмични вълни.

Средната скорост на сеизмичните вълни в отделните слоеве на разреза се определя от наклона на отсечките, които оптимално съвпадат с експерименталните (измерените) данни. За определяне на константи (параметри) на еластичност на масива – коефициент на Поасон (μ), динамичен модул G (модул на срязване), E (модул на еластичност, модул на Юнг) и K (модул на обемна деформация) са използвани следните формули:

$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$G = \rho V_s^2$$

$$E = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$K = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right).$$

В Приложение 7 към настоящия доклад са представени протоколите за резултатите и обработката на данните от проведения сеизмичен каротаж в МС-2.

7.6. Лабораторни изследвания

Лабораторните изследвания за определяне на **геотехническите характеристики** са извършени съгласно изисквания в Еврокод 7 стандарт БДС EN ISO 17892 “Геотехнически проучвания и опити – Лабораторни изследвания на строителни. Те включват:

- Определяне на водно съдържание (БДС EN ISO 17892-1:2007)

Водното съдържане е определено като отношение на масата на изпарената вода на почвена проба при постоянна температура от $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ към масата на сухата проба, представена в %.

- Определяне на плътността на фино-зърнести почви (БДС EN ISO 17892-2:2007)

Опитът определя обемната маса на почвата, включително водната и газова компонента.

Използвани са тънкостенни режещи пръстени с основни размери $d=56\text{ mm}$ и $h=20$.

Определяна е плътности на всяко правилно оформено тяло използвано при механичните опити (компресия и плоско срязване).

- Определяне на специфичната плътност–пикнометричен метод (БДС EN ISO 17892-3:2007)

Използвани са пикнометри с вместимост 100 ml .

Използвано е варене на пробата за 30 min с обратен хладник.

- Определяне на зърнометричен състав (БДС EN ISO 17892-4:2007)

Използвани са сита с размери съответстващи на класификационната система по ISO 14688-2:

$63\text{ mm} \times 10^n$ и $2\text{ mm} \times 10^n$ където $n=1, 0, -1, -2$ и -3 .

- Използвана е механична бъркалка за време от 15 min .
- Използван е ареометров метод.
- Определяне на границите Атерберг (БДС EN ISO 17892-12:2007)

Границата на протичане е определена с падащ конус с размери $80\text{ g}/30^{\circ}$.

- Компресионен опит (БДС EN ISO 17892-5:2007)

Прилагани са стандартни натоварвания с удвояване на предходната степен от 5, 12, 25, 50, 100, 200, 400 и 800 kPa .

Издавана е 24 часова консолидация.

В протоколите са използвани следните изчислителни формули:

$$h_s = \frac{W_d}{GS \cdot \gamma_w \cdot A},$$

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta d}{h_{ave.}}$$

$$m_v = \frac{\Delta \varepsilon \cdot (\%) \cdot 1}{\Delta P \cdot 100}$$

$$f = \frac{h}{h_s}$$

$$e = f - 1$$

$$S_r = \frac{GS \cdot W_e}{e_0}$$

$$C_v = \frac{0.848 \cdot \left(\frac{h_{ave.}}{2} \right)^2}{t_{90}}$$

$$k = C_v \cdot m_v \cdot \gamma_w$$

- Плоско срязване (БДС EN ISO 17892-10:2007)

Прилаганите вертикалните товари са стандартно 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa.

Параметрите на консолидация са определени по зависимостта за квадратен корен от времето.

Срязването е извършено само едноразовно.

Прилагана е корекция на началния размер на напречното сечение на пробата за сметка на деформацията.

Ъгълът на вътрешно триене ϕ и кохезията C са изчислени чрез линейна регресия.

- Класификация на почвите съгласно БДС EN ISO 14688-2:2007.

• Изследването на пропадане за льосовите материали е проведено по класическия метод на двете криви, включващо компресионно изследване на 2 паралелни пробни тела – едното на сухо, а другото след водонасищане. Разликите в сляганията определят коефициента на макропори (n_{mp} , %) за всеки вертикален товар. Почвата се счита за пропадъчна, когато $n_{mp} > 1\%$ за вертикални товари до 0,4 МПа. Данните от компресионните изследвания са обработени по стандартния начин за определяне на компресионните модули на сухо и след пропадане.

Химични анализи на водни и земни проби. Химичните анализи на водните проби от сондажите са извършени в Централната научно-изследователска лаборатория “Геохимия” на Минно-геоложкия Университет в София. Анализите включват определяне на общ химичен състав, общо съдържание на хидрокарбонати и агресивност към бетон и желязо съгласно БДС 9075-89.

Определяните компоненти и съответните стандарти и валидирани методи са представени в Таблица 5.

Таблица 4. Стандарти за химични изследвания на земни проби.

№ по ред	Наименование на показателя	Единица на величината	Стандарти / валидирани методи
1	pH	pH-единици	БДС ISO 10390:2011
2	Хлориди	mg/kg	БДС 11301, т.5:1973
3	Нитрати	mg/kg	БДС 11301, т.6:1973
4	Сулфати	mg/kg	БДС 11301, т.4:1973
5	Калций Ca	mg/kg	CNILG BM-1, т.1:2014
6	Магнезий Mg	mg/kg	CNILG BM-1, т.1:2014
7	Желязо Fe	mg/kg	CNILG BM-1, т.1:2014
8	Органични вещества/хумус	%	БДС 11302:1973

Всички протоколи от лабораторните изследвания са представени в Приложение 3.

8. ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ УСЛОВИЯ

8.1. Методология

Поделянето на инженерногеоложките видове строителни почви е направено въз основа на комплексна оценка, включваща визуалното описание на вида, произхода, степента им на литификация, както и физичните, деформационните и якостните им свойства, и класификациите получени от пенетрационните опити и лабораторни изследвания.

8.2. Характеристика на инженерногеоложките разновидности

Анализът на резултатите от полско-проучвателните работи и лабораторните изследвания, дават основание в обхвата на площадките на проектираните ветрогенератори да се поделят следните инженерногеоложки видове почви:

8.2.1. Съвременна почвена (почвен слой) – Пласт 1

Дебелината ѝ варира в интервала 0,7 до 1,0 м. Хумусния слой не е опробван и при изчислителните схеми може да се приеме:

- Обемна плътност – 1,80 g/cm³;
- Категория на изкоп – средна земна.

Почвеният слой, попадащ в изкопните работи задължително се отделя и депонира, като се ползва в последствие за рекултивация на терена.

Лъсови отложения

Лъсовите отложения изграждат горната част на кватернерната покривка в района. Те имат определящо значение за инженерногеоложките и геотехнически условия на проучваните площадки, тъй като изграждат строителната зона. В прокараните проучвателни сондажи лъсовите отложения са с дебелина изменяща се от 15,30 до 22,0 метра. Те формират лъсов комплекс състоящ се от 3 лъсови хоризонта, разделени от погребани почви и основа от глинест лъос. Въз основа на резултатите от лабораторните анализи и полевите описания в лъсовия комплекс поделяме три инженерногеоложки разновидности – типичен лъос, макропорест, светлокафяв до жълтокафяв (пласт 2.1), погребана почва – лъсови прахови кафяви глини (пласт 2.2) и глинест лъос (пласт 2.3).

8.2.2. Лъос, типичен, крехък, бежов – Пласт 2.1

Структурата и текстурата на почвата са продукт на еоличния му произход, допълнено от минералния и химичен състав и степен на литификационни процеси. Лъоса има характерната макропореста текстура – макроскопски се наблюдават пори и ивици с колоидно отложени карбонати, както и конкреции с различна големина. Размерът на порите е до 1-2 мм. Епизодично се срещат и малки канали, с големина 10-15 мм, механично издълбани от земерови. Образуването е със светлокафяв до жълтокафяв цвят, имащо вертикална цепителност и съответно висока порестост. Най-важната геотехническа особеност на лъоса е неговата структурна водонеустойчивост – при силно навлажняване и намокряне той бързо сляга – пропада.

Пластът се проследява и в двата прокарани сондажа (МС-2 и МС-3), като лъосовият пласт се установява на три нива (хоризонта). Горният хоризонт се установява непосредствено под почвения слой (пласт 1) на дълбочина 0,80 – 1,0 м. Средната му дебелина е 3,30 – 4,50 м. Вторият хоризонт е разделен от първия с интервал от погребана почва (Пласт 2.2) с дебелина 0,80÷1,90 метра. Горнището на втория лъосов хоризонт се установява в дълбочинния интервал 5,30 – 6,0 м. Дебелината му средно е 4,60-6,0 м. Третият лъосов хоризонт се установява в дълбочинния интервал 11,70 – 15,00 метра. Дебелината му е 0,80÷1,30 м.

За характеристика на пласта са изследвани общо 7 броя ненарушени земни проби. Пластът се класифицира преобладаващо като глинест прах (clSi) и прахова глина (siCl). Категория изкоп – земна.

Зърнометричният състав на лъоса и структурно-текстурните му особености го причисляват към типичния лъос.

Най-важната особеност на пласта е неговата пропадъчност при намокряне. Началният товар на пропадане на пласта ($P_{нач.}=25$ kPa) е по-малък от очакваните натоварвания от ветрогенераторите, а обемът на макропорите при допълнителен товар от 200 kPa е ~ 4,33 %. Поради това при проектиране на фундаментите в този пласт този пласт трябва да се спазват изискванията на глава 6, раздел I “Пропадъчни почви” на НППФ, като се приложат специални мероприятия за стабилизиране на земната основа и ограничаване на пропадъчните свойства. Поради пропадъчните свойства на лъоса пласта се класифицира се като почва “ГРУПА В” съгласно НППФ и като “ОСОБЕНИ” почви съгласно БДС 676-85.

8.2.3. Погребана почва – Глина, льосовидна, кафява до кафявочервена – Пласт 2.2

Погребаната почва е част от льосовия комплекс. В прокараните проучвателни сондажи се установяват три нива между льосовите отложения – първия в дълбочинния интервал 4,30 – 5,20 м, втория в зоната 10,60 – 14,0 м и третия е само в зоната на МС-2 на 15,80-16,70. Дебелината на погребаните почви най-често е между 0,80÷1,0 м. Визуално пластът е изграден от льосови кафяви прахови глини, макропорести, кафяви до червенокафяви в дълбочина, с различно съдържание на варовити конкреции от аморфен варовик и в по-малък процент варовит разнокъсов чакъл.

За характеристика на пласта са изследвани общо 7 броя ненарушени земни проби. Пластът се класифицира преобладаващо като глинест прах (clSi) и прахова глина (siCl). Категория изкоп – земна.

Най-важната особеност на пласта е неговата пропадъчност при намокряне. Началният товар на пропадане на пласта ($R_{нач.}=37$ КПа) е по-малък от очакваните натоварвания от ветрогенераторите, а обемът на макропорите при допълнителен товар от 200 кПа е ~ 3,28 %. Поради това при проектиране на фундаментите в този пласт този пласт трябва да се спазват изискванията на глава 6, раздел I “Пропадъчни почви” на НППФ, като се приложат специални мерки за стабилизиране на земната основа и ограничаване на пропадъчните свойства. Поради пропадъчните свойства на льоса пласта се класифицира се като почва “ГРУПА В” съгласно НППФ и като “ОСОБЕНИ” почви съгласно БДС 676-85.

8.2.4. Глинест льос, ниско до средно пластичен, кафяв – Пласт 2.3

Глинестия льос изгражда основата на льосовия комплекс. При проучването се установява и в двата проучвателни сондажа. Горнището им се разкрива на дълбочина 13,0 – 16,70 м от теренната повърхност. Дебелината им се изменя от 2,30 до 5,30 метра. Визуално се описва като глинест льос, средно твърд, ниско до средно пластичен, с дребни варовити конкреции, бежово-кафяв.

Пластът се класифицира преобладаващо като прахова глина (siCl) и глина (Cl). Категория изкоп – земна.

Най-важната особеност на пласта е неговата пропадъчност при намокряне. Началният товар на пропадане на пласта ($R_{нач.}=117$ КПа) е по-малък от очакваните натоварвания от ветрогенераторите, а обемът на макропорите при

допълнителен товар от 200 kPa е $\sim 1,48$ %. Поради това при проектиране на фундаментите в този пласт този пласт трябва да се спазват изискванията на глава 6, раздел I “Пропадъчни почви” на НППФ, като се приложат специални мероприятия за стабилизиране на земната основа и ограничаване на пропадъчните свойства. Поради пропадъчните свойства на лъоса пласта се класифицира се като почва “ГРУПА В” съгласно НППФ и като “ОСОБЕНИ” почви съгласно БДС 676-85.

8.2.5. Глина, прахова, кафява до червенокафява, среднопластична до твърдопластична – Пласт 3

Глината е част от така наречения подлъсов комплекс. При проучването се установява и в двата проучвателни сондажа. Горнището им се разкрива на различни хипсометрични нива от 15,30 до 22,0 м. Дебелината им се изменя от 5,60 до 12,20 метра. Пластът е с непропадъчни свойства. Визуално се описва като глина, прахова, твърда, пластична, кафява до червено-кафява..

За характеристика на пласта са изследвани общо 9 броя ненарушени земни проби. Пластът се класифицира преобладаващо като глина (CI) и прахова глина (siCI). Категория изкоп – земна.

8.2.6. Глина до песъчлива глина, с разнорънест чакъл в зони до чакълеста, червено-кафява, елувиална- Пласт 4.

Глината изгражда изветрителната зона на докватернерната подложка от органични, детритусни песъчливи варовици. Установена е и в двата проучвателни сондажа на дълбочина 27,50-27,60 м от кота терен. Пълната дебелина на глината не е премината с проучвателните изработки до 30,0 м. Дебелината на изветрителната зона по архивни данни от района е повече от 3,00 м. В резултат на биохимичното и физично изветряне варовиковия скален комплекс е превърнат в силно натрошени и изветряли варовикови късове и песъчливи глинни с различно оцветяване (кафявочервеникави, жълтокафяви, белезникави), в среднопластична консистенция. Характерно за елувиалните отложения е това, че степента на изветряне в отделните части от геоложкия разрез на изветрителната зона е различна. В най-горната част, която се установява в проучвателните сондажи, изветрителните процеси са най-интензивни и варовиците са най-силно променени. Визуално глината е с неравномерно съдържание на аморфен варовик и в различна степен изветряли варовикови късове.

За характеристика на пласта са изследвани 2 броя ненарушени земни проби. Пластът се класифицира преобладаващо като чакълесто песъчлива глина (grsaCl) и песъчливо прахов среден чакъл (sasiMSa). Категория изкоп – земна.

8.3. Геотехнически показатели на инженерногеоложките разновидности

Резултатите от лабораторните анализи опити са обработени статистически съгласно изискванията на Еврокод 7, като са определени следните статистики:

- Средна стойност

$$X_{cp.} = \frac{\sum x_i}{N} \quad SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

- Стандартно отклонение

Съгласно Еврокод 7 характеристичните стойности на почвените показатели се определят по следния начин:

$$X_k = X_{cp.} \pm \frac{t_\alpha \times SD}{\sqrt{N}}$$

където t_α е t - разпределение за едностранен 95% доверителен интервал.

При ограничен брой данни или при значително разсейване, характеристични стойности са изчислени като:

$$X_k = X_{cp.} \pm 0,5SD$$

Изчисленията са извършени с помощта на EXCEL и са представени в съответните Приложения.

Обобщените средни и характеристични стойности на геотехнически показатели на дисперсните инженерногеоложките разновидности са представени в следващата таблица.

За по добра статистическа обработка на данните са използвани и данните от същите пластове на направените лабораторни изследвания на ветрогенераторен парк Абрит.

По отношение на деформационните модули се препоръчва те да бъдат съобразени с определените с СРТ опитите, индивидуално за всяка площадка.

Таблица 4 – Обобщени геотехнически показатели на инженерногеоложките разновидности:

Показатели		Пластове №№				
		2.1	2.2	2.3	3	4
Обемна плътност ρ_n (средна)	g/cm ³	1.69	1.8	1.91	1.93	1.93
Обемна плътност на скелета ρ_d (средна)	g/cm ³	1.44	1.49	1.59	1.55	1.59
Степен на водонасищане S_r	-	0.53	0.71	0.8	0.9	0.84
Показател на Пластичност I_p (среден)	-	16.91	23.20	29.1	34.92	14.9
Показател на консистенция I_c (среден)	-	1.06	0.92	0.88	0.84	0.9
Коефициент на порите e (среден)	-	0.876	0.812	0.697	0.727	0.69
Наименование БДС EN ISO 14688-2:2006	-	siCl clSi	siCl Cl	siCl Cl	Cl siCl	Cl siCl
Ъгъл на вътрешно триене ϕ (среден)	°	23.7	21.98	25.2	19.7	25.0*
Кохезия C (средна)	кPa	38.5	43.3	42.8	42.6	85.5*
Ъгъл на вътрешно триене ϕ (характеристичен)	°	18.4	19.60	22.0	16.8	20.8*
Кохезия C (характеристична)	кPa	31.0	38.3	38.0	34.6	47.5*
К-т на уплътняване C_c (средно)	-	-	-	-	0.15	0.16
Товар на преуплътняване p_c (среден)	кPa	-	-	-	44.0	83.43
Обем на макропорите n_{mp} при 100 кPa	%	3.2	2.3	1.11	-	-
Обем на макропорите n_{mp} при 200 кPa	%	4.3	3.3	1.48	-	-
Обем на макропорите n_{mp} при 300 кPa	%	5.4	3.8	1.90	-	-
Начелен товар на пропадане $R_{нач}$	10 ⁵ Pa	0.25	0.4	1.17	-	-
Модул на обща деформация E_0 (характеристичен)	MPa	8.5	11.4	12.2	10.0	12.80*

Забележка: * данните със звездичка са архивни

9. ХИМИЧНИ СВОЙСТВА НА ПОЧВИТЕ

Пробите са изследвани в акредитираната лабораторията по геохимия на МГУ „Св. Иван Рилски“ като резултатите от направените изследвания са обобщени в таблица 1, а протоколите от изследванията са представени в приложение 3.

Таблица 1 – Обобщени резултати от направените химични изследвания на земни проби по пластове

Пласт №	Сондаж №	Проба №	Дълбочина, м	Лаб. №	Химични показатели							
					pH	Хлориди	Нитрати	Сульфати	Калций	Магнезий	Желязо	Органични вещества хумус
					-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
2.1	МС - 2	1	1,20-1,50	324-1	8.59	121	146	<50	282	60.8	<10	0.98
2.1	МС - 3	1	1,50-1,80	324-2	8.59	136	54.2	<50	277	46.1	<10	<0.1
2.1	МС – 4	1	2,00-2,30	324-3	8.77	146	67.3	<50	253	95.7	<10	<0.1
2.1	МС - 5	1	2,20-2,50	324-4	8.62	146	57.3	<50	291	56.4	<10	<0.1

За определяне на корозионната агресивност на почвените разновидности да се използват данните от химичните изследвания от таблица 1 (приложение 3) и данните от електричното съпротивление (приложение 6) .

10. ИЗЧИСЛЕНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТИПА НА ЛЪОСА ПО ПРОПАДЪЧНОСТ

За определянето на типа на лъсовия хоризонт по пропадъчност от собствено тегло са използвани данните от лабораторните изследвания (приложение 3), като е работено с диаграматана слягане на проба лаб №3083. В аспект на сигурността е работено с тази проба, тъй като при нея обема на порите са с най-висок процент.

Таблица 5 – определяне на типа на лъсовия хоризонт по пропадъчност

мощност на пласта, m	дълбочина на средната точка на частичния пласт, m	геоложки товар, kN/m ²	обем на макропорите, %	дебелина на частичния пласт, m	S _{np} , cm
22	0.5	8.45	0.9	1	0.9
	1.5	25.35	1.3	3.3	4.29
	4.8	86.4	3.9	1	3.9
	5.8	98.02	4.6	8.7	40.02
	14.5	245.05	7.5	1	7.5
	15.5	261.95	7.9	0.8	6.32
	16.3	275.47	8.3	0.9	7.47
	17.2	328.52	8.95	5.3	47.435
Σ					117.835

Направените изчисления за определяне типа на лъсовия хоризонт по пропадъчност показват, че пропадането при геоложки товар е $S_{np} = 117,83$ сантиметра, което определя лъсовия хоризонт като II тип по пропадъчност.

11. УСЛОВИЯ ЗА ФУНДИРАНЕ

На следващ етап от проучването е подходящо да се предвиди проучване за всяка турбина съгласно изискванията на главния проектант (производител на турбини), като се обърне внимание на пропъдъчността на лъоса и променливата дебелина на лъосовите хоризонти. Подходящо е за всяка турбина по отделно да се определи типа на пропъдъчност на лъосовия хоризонт в зависимост от неговата дебелина и свойства.

- Предвид спецификацията на оборудването, както и геотехническите свойства на масива се очаква фундирането на турбините по-вероятно да бъде плоско, при отчитане на следните препоръки:

- Почвеният слой (пласт 1) не е подходящ като земна основа за директно фундиране. При строителство да се изझे и складаира.

- Всички останали инженерногеоложки разновидности поделени в проучения геоложки разрез са годни като земна основа за фундиране

- При фундиране в лъосовия хоризонт (пласт 2.1), и погребаната почва – кафява лъосова глина (пласт 2.2) и глинестия лъос (пласт 2.3) да се спазват изискванията на глава 6, раздел I “Пропъдъчни почви” на НППФ. Във връзка с това могат да се направят и следните препоръки:

- Инженерногеоложките разрези под фундаментите да се определят на базата на сондажните колонки.
- Поради пропъдъчността на лъосовите почви изграждащи строителната зона се препоръчва подобряване на земната основа. В зависимост от конкретните натоварвания от съоръженията и съобразно пропъдъчните свойства на земната основа могат да се използват два метода – уплътняване на земната основа (тежка трамбовка) и изграждане на почвено-циментова възглавница. Практиката на строителство върху лъосови почви показва, че при изграждане на почвено-циментова възглавница се подобрява значително носимоспособността на земната основа, както и сеизмичната устойчивост на съоръженията. Инженерногеоложките разрези под фундаментите и свойствата на пластове да се определят индивидуално на базата на сондажните колонки и данните от лабораторните и полеви опити.

- Устойчивостта на откосите на строителните изкопите да се определи по изчислителен път.
- Вертикалната планировка в района на съоръженията и пътната инфраструктура да осигурява отвеждане на повърхностните води извън фундаменти на съоръженията и пътното платно.
- Бетонните работи за фундиране да се извършват непосредствено след направа на изкопите.
- Препоръчва се стабилизация на теренната основа преди изграждането на пътищата за достъп. Практиката показва, че за лъсови почви най-подходяща е химична стабилизация.
- Подходящо е проектите за фундиране да се съгласуват с проектанта, който да приеме и строителните изкопи.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОБЕКТ:

*„ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ ЗА „ВЯТЪРЕН
ПАРК „ЛОЗЕНЕЦ““*

СОНДАЖНИ КОЛОНКИ

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОБЕКТ:
**„ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ ЗА „ВЯТЪРЕН
ПАРК „ЛОЗЕНЕЦ““**

РЕЗУЛТАТИ ОТ ЛАБОРАТОРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ОБЕКТ:

*„ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ ЗА „ВЯТЪРЕН
ПАРК „ЛОЗЕНЕЦ““*

ТАБЛИЦИ С ОБОБЩЕНИ ПОКАЗАТЕЛИ

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ОБЕКТ:

*„ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ ЗА „ВЯТЪРЕН
ПАРК „ЛОЗЕНЕЦ““*

РЕЗУЛТАТИ ОТ СРТ ОПИТИТЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ОБЕКТ:

*„ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ ЗА „ВЯТЪРЕН
ПАРК „ЛОЗЕНЕЦ““*

РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕЛЕКТРОСЪПРОТИВИТЕЛНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

ОБЕКТ:

*„ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ ЗА „ВЯТЪРЕН
ПАРК „ЛОЗЕНЕЦ““*

РЕЗУЛТАТИ ОТ СЕИЗМИЧНИЯ КАРОТАЖ В СОНДАЖИТЕ