



Национална конференция с международно участие „ГЕОНАУКИ 2023“
National Conference with International Participation “GEOSCIENCES 2023”

Engineering geological conditions for the construction of a photovoltaic power plant on coal tailings

Stefan Frangov

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy; Sofia, Bulgaria; E-mail: sfrangov_fte@uacg.bg

Инженерногеоложки условия за изграждане на фотоволтаична централа върху насипище от сгуропепел

Стефан Франгов

Abstract. Photovoltaic power plants have recently become increasingly common to reduce carbon emissions into the atmosphere. Non-fertile lands occupied by industrial waste are very suitable for their construction. The present study concerns the design and construction of a photovoltaic park on the territory of a reclaimed coal tailings dump “Suhoto Dere” near the TPP “Bobov Dol”. The study includes collection, processing and analysis of archival materials, site mapping, drilling of exploration boreholes, dynamic penetration tests, geophysical electrical resistivity survey, laboratory testing of soil samples to determine physical and mechanical properties; chemical analysis of soil samples to assess soil aggressiveness to concrete and steel. Based on the obtained data, an assessment of the suitability of the site is made and recommendations are given to prevent the occurrence of adverse phenomena and processes.

Keywords: engineering geological survey, tailings properties, photovoltaic plant.

Увод

За намаляване на въглеродните емисии в атмосферата напоследък все по-голямо разпространение имат фотоволтаичните електроцентрали. Много подходящи за тяхното изграждане са неплодородни терени, заети от промишлени отпадъци. Настоящото проучване е направено във връзка с проектиране и изграждане на фотоволтаичен парк на територията на рекултивиран сгуроотвал „Сухото дере“ до ТЕЦ „Бобов дол“. Там е депониран отпадъчният материал, задържан от електрофилтрите при изгарянето на въглищата (Todorov, 1983). За избягване запрашаването на района, сгуропепелната смес се навлажнява до 8–10% и с гуменотранспортна лента се извозва до насипището.

Фотоволтаичните пана са с приблизителни размери 2000×1000 mm, монтирани на забити в почвата метални профили. За оптимално насочване на паната към слънцето, те се разполагат в различни посоки, следвайки релефа на терена и технически възможности за монтаж. За изграждането на фотоволтаична електрическа централа се предвижда отстраняване на растителността по бермите и моделиране на терена, което може да предизвика развитие на физикогеоложки процеси като: повърхностна ровинна ерозия по откосите; локални заблътвания в равнинната зона; промяна на водното съдържание на насипаната почва в дълбочина; свличане на откосите. Тези процеси могат да проявят своето неблагоприятно въздействие върху централата в етапа на нейната експлоатация при екстремни

валежи, след продължителни засушавания, при снеготопене, земетресения и др.

Основна цел на изследването е изясняване на инженерногеоложките и хидрогеоложките условия на площадката и оценка на опасността от проява на неблагоприятни явления. Проучването се базира на полеви и лабораторни изпитвания за терена, проведени през м. ноември и декември, 2021 г. и включва: събиране, обработка и анализ на архивни материали; оглед и картировка на терена; прокарване на 14 проучвателни ядрови сондажи; извършване на 13 непрекъснати динамични пенетрационни опита свръх тежък тип (DPSH); провеждане на геофизични проучвания по метод вертикално електрично сондиране (ВЕС) в 18 точки; лабораторни изпитвания на 12 земни проби за определяне на физико-механичните показатели; химичен анализ на 6 земни проби за оценка агресивността на почвата към бетона и стоманата; изясняване на хидрогеоложките условия; определяне на локалната склонова устойчивост на бермите по 3 профила в изходно състояние и при прогнозно земетресение от 8-ма степен.

Проучената площадка се намира северозападно от с. Палатово, на около 6 km от гр. Дупница. В геоморфоложко отношение районът е разположен в областта Разметаница. Релефът е хълмист, със средна вертикална и хоризонтална разчлененост. Надморската височина е около 600 m. Самата площадка има техногенен произход и представлява платовидно възвишение, изградено от депонирания отпадък при изгарянето на въглищата в ТЕЦ „Бобов дол“ в долината на р. Сухото дере. В северна посока е оформен стъпаловиден склон, чиято основа достига почти до пътя Дупница-Кюстендил.

Геоложки и тектонски строеж

В регионален геоложки аспект районът е изграден от палеогенски и кватернерни отложения:

Палеоген: В тази част на Бобовдолския грабен се разкрива пъстрата подвъглищна задруга, изградена от полимиктови конгломерати и пясъчници с прослойки от аргилити (Marinova, 1993). Често има пъстроцветен характер (сивозелени да червено-виолетови тонове). В централната част на грабена се наблюдават прослойки от дебелопластови пясъчници, а между селата Баланово и Палатово те са прослойки от тънки аргилити. Дебелината на пъстрата подвъглищна задруга в Бобовдолския грабен е между 200 и 500 m.

Кватернер: По произход седиментите са алувиални. Тези от надзаливните тераси са изградени от чакъли и валуни с пясъчлив матрикс, а

от заливните тераси на р. Струма, р. Джерман и техните притоци – от пясъци и чакъли с коса и хоризонтална слоестост. Дебелината им достига до 12 m.

В тектонско отношение разглежданата площадка попада в Бобовдолския грабен, който има разломно-блоков строеж. Проучваната площадка попада в зона със сътресяемост VIII степен съгласно 1000 год. прогнозно сеизмично райониране (Boncev et al., 1982).

Физико-геоложки явления и процеси

В разглеждания район от физико-геоложките явления и процеси са развити изветряне, ерозия и локални свлачища.

Изветряне. Под действие на изветрителните агенти основните скали са напукани и дезинтегрирани в дълбочина до 5–7 m. Изветрелият скален материал по склоновете с течение на времето под действие на гравитацията и повърхностнотечащите води се обрушва и свлича.

Ерозията е изразена най-силно в стръмната част на склоновете, където са образувани връзани в терена дерета. В долния край те са формирали наносни конуси от чакъли с пясъчливо-глинест матрикс.

Локални свличания са установени по склоновете на Сухото дере при инженерногеоложките проучвания при проектирането на сгурутвала. Тяхното възникване и активност се свързва с изветрително-ерозионните процеси и изменението на водното съдържание на почвите от инфилтрация на атмосферни валежи. Впоследствие, след регулирането на повърхностния отток и запълването на долината със сгуропепелите, склоновата устойчивост се е повишила.

Към настоящия момент споменатите физико-геоложки процеси не са активни и не са пречка за изпълнение на проекта.

Инженерногеоложки и хидрогеоложки условия

За характеризирание на състоянието и свойствата на земната основа се приложи непрекъснатата динамична пенетрация свръх тежък тип (DPSH). В процеса на пенетрационното изследване се записват броя удари за проникване на крайника на всеки 10 cm. Чрез корелационни зависимости въз основа на регистрираните съпротивления при проникване на крайника се определят основните физико-механични показатели на почвите при естественото им състояние в масива. Получените полеви данни са обработени със софтуера Dynamic probing (Geostru). Приложените корелационни зависимости са подбрани

съобразно типа почва, установен в сондажите, за да се изведат такива стойности на параметрите, които да отразяват най-точно инженерногеоложките условия на изследвания терен. При експертния анализ на получените показатели от многото изведени корелации са използвани тези, които в най-голяма степен се доближават до зърнометричния състав и възраст на почвата.

В зависимост от генезиса, литоложките особености, съпротивлението на пенетрация и физико-механичните показатели на разновидностите, установени в проучвателните изработки са отделени два инженерногеоложки пласта:

Пласт 1 – рекултивационен насип

Пластът покрива повсеместно площадката. Представен е от материалите за рекултивация на сгуруотвала – органична почва и разнородна земна маса. Дебелината му се изменя от 0,5 до 1,9 m. Класификацията на почвата съгласно зърнометричния ѝ състав е финозърнеста пясъчлива прахова глина (sasiCl) до пясъчлива глина (saCl). По данни от директни лабораторни изпитвания на почвени проби и непрекъсната динамична пенетрация за пласта са определени основните физико-механични показатели (табл. 1).

Пласт 2 – сгуропепел

Пластът заляга под пласт 1. Класификацията на почвата по зърнометричен състав варира от едрозърнеста – прахов пясък (siSa) и среден пясък (MSa) до финозърнеста – пясъчлив прах (saSi) и пясъчлив глинест прах (saclSi). Пластът от сгуропепел е нееднороден по състав. Няма ясно изразена закономерност в пространственото разпространение на различните материали и

техните свойства. По данни от динамичната пенетрация и процента извадена ядка при сондирането, сгуропепелите са поделени на 3 зони:

Сгуропепел зона А. Тази разновидност е широко разпространена в сгуроотвала. Дебелината ѝ е от 2,20 m до повече от 4,60 m, като в два от пенетрационните опити не е установена. Характеризира се с ниска обемна плътност ($\rho_n = 1,32 \text{ g/cm}^3$), висок коефициент на порите ($e = 1,28$) и много ниско съпротивление на пенетрация ($N_{\text{SPT}} = 2,4 \text{ уд./30 cm}$).

Сгуропепел зона Б. Тя също има сравнително широко площно разпространение. Дебелината ѝ е от 0,80 m до повече от 2,20 m, като в три от пенетрационните опити не е установена. Притежава по-високи стойности на физико-механичните показатели спрямо Зона А.

Сгуропепел зона В. Тази зона има относително ограничено разпространение – установена е при шест непрекъснати динамични пенетрационни опита. Дебелината ѝ се изменя от 0,80 m до повече от 3,40 m. Отличава се с най-високо съпротивление на пенетрация ($N_{\text{SPT}} = 17,9 \text{ уд./30 cm}$) и относителна плътност ($I_d = 53,2\%$).

В проучвателните изработки не е установено ниво на подземни води до дълбочина 6 m. През влажни сезони е възможно временно задържане на повърхностни води в заравнени участъци по платото и бермите. За определяне на попивната способност на терена е определен коефициента на филтрация по формулата на Хазен (Cashman, Preene, 2013). Средният коефициент на филтрация за целия материал от сгуроотвала до дълбочината на проучване е $K_{\phi} = 0,28 \text{ m/d}$.

По данни от химични анализи на 5 проби почвите не са агресивни към бетона по всички показатели. Изключение прави проба № 6, която е

Таблица 1. Определени стойности на показателите на инженерногеоложките пластове

Пласт, разновидност	Обемна плътност (ρ_n)	Коефициент на порите (e)	Ъгъл на вътрешно триене (φ°)	Кохезия (c)	Съпротивление на пенетрация (N_{SPT})	Относителна плътност (I_d)	Изпитани проби
	g/cm^3	–	deg	kPa	уд./30 cm	%	бр.
Рекултивационен насип	1,90	0,66	24	30,4	5,1	–	5
	1,88–1,94	0,59–0,74	21,2–26,8	27,7–33,1	2,2–8,2	–	
Сгуропепел зона А	1,32	1,28	33,1	6,8	2,4	9,4	4
	1,21–1,43	1,18–1,39	31,6–34,6	5,7–7,9	1,6–3,9	7,6–22,1	
Сгуропепел зона Б	1,46	1,20	30,6	13,9	9,1	38,9	2
	1,42–1,41	1,16–1,25	30,5–30,6	13,5–14,3	7,3–11,8	34,6–45,3	
Сгуропепел зона В	1,47	0,91	36,2	–	17,9	53,2	1

Забележка: в числител е представена осреднената стойност на показателя, а в знаменател – опитно определените минимални и максимални стойности.

силно агресивна по съдържание на сулфати към бетон с водо-циментно отношение В/Ц 0,56–0,60 и В/Ц 0,46–0,55 и средно агресивна към бетон с водо-циментно отношение В/Ц $\leq 0,45$ и клас по водонепропускливост Вв 0,8. Измерените специфични съпротивления от геофизичните проучвания на дълбочини 0,5 m, 1,0 m и 2,0 m класифицират средата като слабоагресивна към въглеродна стомана за метални конструкции.

Локална устойчивост на берми

Извършени са изчисления на склоновата устойчивост в централната част на сгуроотвала по метода на Янбю в софтуер Slope/W (GeoStudio). Получените минимални коефициенти на устойчивост на берми в изходно състояние са в интервала 1,581–3,072, а при прогнозно земетресение – 1,251–2,077. Резултатите показват, че в изходно състояние откосите са устойчиви по всички изследвани профили. При прогнозно земетресение, устойчивостта на откосите се понижава значително, но не се достига до тяхната деградация.

Заклучение

Установените инженерногеоложки и хидрогеоложки условия на терена дават основание да се направят следните констатации и препоръки:

– Проучената площадка представлява рекултивирано депо на сгуропепел от ТЕЦ „Бобов дол“. Поради продължителното им отлежаване след полагането им, сгуропепелите се оценяват като относително самоуплътнени промишлени отпадъци.

– Зонирането на сгуропепелите е направено въз основа на процента извадена ядка при

сондирането и данните от непрекъснатата динамична пенетрация. Не е констатирана ясно изразена закономерност в пространственото им разпространение, но в повърхностната зона най-широко са представени рохките сгуропепели. По-плътни сгуропепели се срещат на по-голяма дълбочина.

– Няма наличие на подземни води до дълбочина 6 m. През влажни сезони е възможно задържане на повърхностни води по платото и в заравнени участъци по бермите.

– Инженерногеоложките условия са подходящи за осъществяване на проекта. За предотвратяване активизацията на неблагоприятни ерозионно-гравитационни процеси е целесъобразно да не се извършват изкопно-насипни работи, водещи до нарушаването на общата устойчивост на склоновете и да не се създават условия за водонасищане на почвите.

Литература References

- Marinova, P. 1993. *Explanatory Note to the Geological Map of the Republic of Bulgaria Scale 1:100 000. Map Sheet Blagoevgrad*. Geology and Mineral Resources Committee, Enterprise of Geophysical Survey and Geological Mapping, 68 p. (in Bulgarian).
- Todorov, K. 1983. Composition of lagooned ashes from the Bulgarian thermo-electric power stations. – *Eng. and Hydrogeol.*, 13, 33–48 (in Bulgarian with English abstract).
- Boncev, E., V. Bune, L. Christoskov, J. Karagjuleva, V. Kostadinov, G. Reisner, S. Rizhikova, N. Shebalin, V. Sholpo, D. Sokerova. 1982. A method for compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 12, 2, 3–48.
- Cashman, P., M. Preene. 2013. *Groundwater Lowering in Construction: a Practical Guide to Dewatering*. Taylor and Francis Group, ISBN 978-0-415-66837-8, 645 p.