

ГЕОТЕХНИЧКА ИСПИТИВАЊА ЗА ВЕТРОПАРК "НИКИНЕ ВОДЕ" У ОПШТИНИ НЕГОТИН

Петар Сантрач¹
Жељко Бајић²

УДК: 551.556 : 550.82

DOI:10.14415/zbornikGFS26.12

Резиме: У тренутку припреме овог чланка, у Србији није започела градња ни једног ветро парка, мада је званично најављена изградња на више локација (Чибук, Ковин, Алибунар, Долово, Неготин). У грађевинском погледу, за пројектовање ветропарка је веома важно утврђивање геомеханичког склопа терена, који условљава начин фундирања (плитко или дубоко) ветрогенератора. Због велике висине стуба (90-120м) темељи су изложени врло великој хоризонталној сили од ветра и сеизмике, наспрам релативно мале тежине ветротурбине, кућишта и стуба. У овом раду су приказани резултати инжењерско-геолошких, геомеханичких и геофизичких истражних радова и геомеханичких лабораторијских испитивања, за изградњу ветро парка "Никине воде" на гребену планине Дели Јован у општини Неготин.

Кључне речи: Ветропарк, геомеханичка испитивања, геофизичка испитивања

1. УВОД

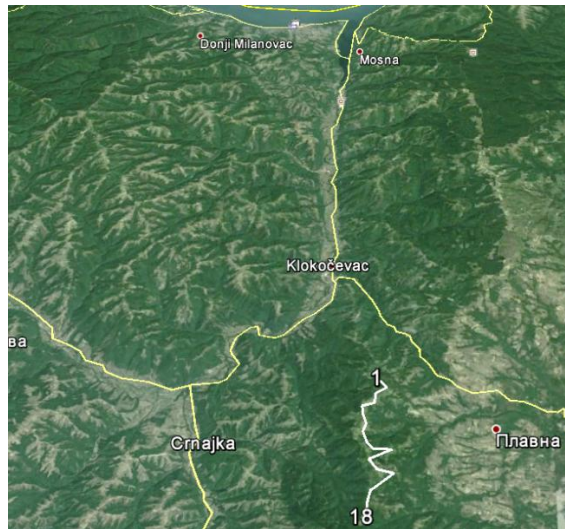
Локација ветропарка је источни део гребена планине Дели Јован према Клокочевцу, у дужини цца 5.0км, у К.О. Клокочевац, К.О. Црнајка (Слика 1). Надморска висина локације је између 500-800м. Од локације према северу, на одстојању од 18км, налази се река Дунав и Доњи Милановац. Прилаз локацији је некатегорисаним путем, а приступ је са магистралног пута Доњи Милановац - Неготин, са превоја Попадија, на приближно пола пута од села Клокочевац према селу Плавна. Микро локације ветрогенератора су највећим делом ливаде на благим падинама које окружују листопадне шуме и ниско жбунасто растиње. Обиласком и детаљним прегледом геоморфологије терена, нису утврђени савремени егзогени инжењерско-геолошки процеси, као што су клизишта, одрони, ерозије или локална нестабилност терена.

Предвиђена је изградња 18 ветрогенератора, висине 100м. Основни елементи ветро генератора су темељ, стуб, ветротурбина и елисе. Ради смањења утицаја турбуленције ваздуха који изазивају елисе на ветротурбини, сва стубна места су на међусобном растојању од мин. 300м. Појединачна снага ветротурбине је 2.5 MW, а

¹ Проф. др Петар Сантрач, дипл.инж.грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет у Суботици, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: +381 24 554 300, e-mail: santrac@gf.uns.ac.rs

² Мр. Жељко Бајић, дипл.инж.грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет у Суботици, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: +381 24 554 300, e-mail: bajic@gf.uns.ac.rs

укупна снага је 45.0 MW. Стубови ветрогенератора су челични, кружно попречног пресека са приближно линеарним смањењем пречника ка врху стуба. По статичком систему, стуб је конзолни носач који је укљештен у масивни темељ. Доминантно оптерећење темеља је хоризонтална сила и момент силе од ветра и сеизмике. У циљу утврђивања геотехничког склопа терена, урађена су геомеханичка теренска испитивања (сондажне бушотине, сондажне јаме, SPT) са узорковањем тла/стене, лабораторијска испитивања и геофизичка испитивања (геоелектрика и сеизмичка рефракција). У сондажним бушотинама није било појаве подземне воде.



Слика 1. Траса ветро-генератора 1-18

На основу теренских и лабораторијских испитивања, утврђено је да профил терена у геолошком смислу изграђују кристаласти комплекси протерозојске и палеозојске старости састављени од гнајсева, амфиболитских шкриљаца и мигматита. На истраживаној локацији, стене имају врло изражену кору распадања (зону деградације) која износи >10.0м. Површину терена прекрива песковито-глиновити елувијум, испод којег је заглињено-песковита дробина од амфиболитског шкриљаца, испод којих је дробина од више или мање деградираног гнајса.

2. ТЕРЕНСКИ ИСТРАЖНИ РАДОВИ

Теренски радови ^[1] обухватају анализу постојећих подлога, (геодетске, геолошке, сеизмолошке, хидрогеолошке), обилазак и детаљан преглед морфологије терена, сондажно бушење дубине од 5-10м са језгровањем, картирање и узимање узорака тла и стена за лабораторијска испитивања, израду сондажних јама дубине од 2-4м, геоелектрична испитивања и сеизмичко-рефракциона испитивања. Током октобра 2012. године, на локацији сваког ветрогенератора (1-18) су урађене по 3 сондажне

бушотине дубине 3-5м (укупно 54) бушаћом гарнитуром GDL150 - Геомашина Земун, ротационом методом без употребе флуида за бушење. Пречник сонде је био 140мм. Сондажне бушотине су биле позициониране у теменима једнако страничног троугла, у радијусу од цца 7.0м од центра локације. Плитке бушотине су урађене да би се испитала површинска зона састављена од песковито-глиновите испуне између дробине од гнајса и амфиболитског шкриљца. Осим плитких бушотина, у центру темеља ветрогенератора су урађене сондажне бушотине од 10м (Слика 2), бушаћом машином BG1-Геомашина Земун, ротационом методом уз употребу флуида за бушење. Пречник сондирања је био 110мм.



Слика 2. Типичан изглед језгра сондажне бушотине дубине 10м

Бушотине су на неким локацијама завршене у зони распадања а на неким су ушле и у стенску масу. Сврха ових испитивања је била утврђивање дебљине коре распадања и досезање стенске масе и узимање узорака тла и стене.



Слика 3. Типичан изглед сондажне јаме дубине 3-4м

Поред сондажних бушотина, на свакој локацији је урађена по једна сондажна јама, дубине 2-4м, помоћу хидрауличног багера, са циљем да се детаљно сниме профил терена, да се утврди дебљина покровног слоја од хумуса, да се процени нагиб равни стратификације слојева, да се узму узорци за лабораторијска испитивања. Локације свих истражних места су одређене на основу геодетских мерења и дефинисане у државном (Гаус-Кругеровом) координатном систему.

Дуж трасе ветрогенератора су урађена и геофизичка^[2] испитивања терена. На свакој локацији (1-18) је урађено геоелектрично сондирање апаратом *ABEM Terraloc MK8*, а на локацијама ветрогенератора 2,7,13,16 и 18 је урађено рефракционо сеизмичко профилисање апаратом *ABEM SAS300*. Сврха геофизичких испитивања је детаљно геолошко картирање слојева како би се утврдила дебљина коре распадања односно дубина до компактне стене, утврђивање геоелектричног отпора и геодинамичких карактеристика (брзине лонгитудиналних и трансверзалних еластичних таласа). На основу геофизичких истраживања је утврђено да на предметној локацији стенску масу чине прекамбријски гнајсеви (GSm), камбријски шкриљци (Cm₁), пироксенски габрови (V_{pu}), харисити и дунити (σ). Према основној геолошкој карти Србије (P=1:100 000, лист L34-141 Бор), основну стенску масу источног гребена планине Дели Јован чини габроидни масив у форми габро-перидотита чији су деривати утиснути у старе палеозојске седименте и шкриљце од пироксен габра. Највећи део планиског масива је од пироксен-габрова. За време кристализације неочврсла маса пироксен-габрова омогућила је пробој хариситско-дунитске растопљене масе која је лежала испод ње. Према логовима дубљих бушотина (10м) урађеним на позицијама ветротурбина (2,7,13,15 и 18), истражни терен је изграђен од гнајсева (GSm) и амфиболитских шкриљаца (Cm₁) које карактерише дебела кора распадања.

3. ЛАБОРАТОРИЈСКА ИСПИТИВАЊА

Лабораторијска испитивања су извршена на узорцима тла и стена из сондажних бушотина. Извршени су опити гранулације, границе конзистенције, влажности, запреминске тежине, деформабилности, чврстоће, RQD. Пошто се испитивање мешавине дробине, глине и песка не може извршити у стандардним апаратима, чврстоћа и деформабилност су одређени на песковито-глиновитој испуни. Опити чврстоће су извршени на zasiћеним узорцима димензија 60×60×20мм, апаратом за директно смицање *Controls-digishear*. Време Консолидација узорка је 8h а брзина смицања 0.01мм/мин. Опити стишљивости су извршени на природно влажним узорцима димензија Ø71.4×20мм, у едометру *Controls*. Консолидација узорка је 24h а степенице оптерећење 50,100,200,400,800,1600кПа. Пошто је из свих узорака тла уклоњена дробина, добијени механички параметри су на доњој граници.

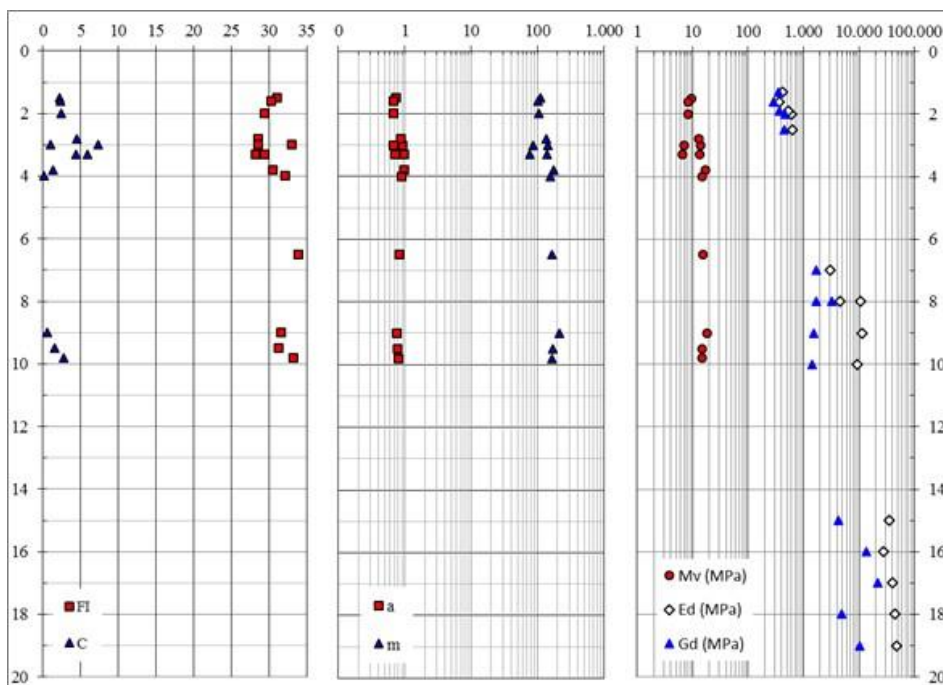
4. РЕЗУЛТАТИ ГЕОТЕХНИЧКИХ ИСПИТИВАЊА

Прегледан приказ лабораторијских испитивања механичких карактеристика слојева је приказан графички на слици 4. Динамички модул еластичности E_d и

клизања G_d су одређени на основу густине тла ρ и брзине лонгитудиналних V_p и трансверзалних V_s таласа, према једначини:

$$E_d = v_p^2 \rho \quad , \quad G_d = v_s^2 \rho \quad (1)$$

За потребе пројектовања темеља, у табели 1 је предложен рачунски профил терена са параметрима смичуће чврстоће ϕ' и c' , статичке деформабилности a и m (према методи Janbu-а, 1965) тла односно испуне и динамичке деформабилности E_d и G_d .



Слика 4. Параметри чврстоће и деформабилности тла-испуне

Табела 1. Рачунски геомеханички профил за испуну

Дубина	ρ	ϕ'	c'	a	m	M_v	E_d	G_d	SPT	R	RQD
м	т/м ³	ступ	кПа	-	-	МПа	МПа	МПа	-	Ω_m	%
0-1.5	1.93	22	5	0.5	70	4	-	-	4	50	-
1.5-3.6	1.98	29	3	0.6	110	10	500	400	11	400	5
3.6-10	2.24	35	0	0.8	250	30	7500	2000	>50	1800	40

5. РЕЗУЛТАТИ МИКРО-СЕЙЗМИЧКЕ АНАЛИЗЕ

Сейзмички hazard^[3] је на локацији ветропарка "Никине воде" дефинисан пробабилистички, са нумеричком вредношћу од 0.043g. Обзиром на ниску сейзмичку активност по ЕС-8-1 оправдана је примена поједностављеног модела за прорачун сейзмичке отпорности објеката. Уврђене максималне очекиване магнитуде $M < 5.5$, оправдавају примену II типа спектра по ЕС-8-1. На основу података геотехничких истраживањима локални геодинамички модел је за целу зону I дефинисан као основна стена односно тло типа А по ЕС-8-1 или чврсто тло по нашем Правилнику. Обзиром на дефинисан тип тла, не очекује се амплификација сейзмичког дејства због локалних услова тла. Применом наших прописа, утврђене су вредности за укупан коефицијент сейзмичности за 2 типа конструкција уз наведена ограничења и потребне корекције у случају пројектовања објеката са првим тоном $T > 2s$.

Табела 2. Укупни коефицијенти сейзмичности

T_{NRC} (r)	PGA (g)	Укупни коефицијенти сейзмичности	За конструкције по члану 27 Правилника			
			Тип-1	Тип-2	Тип-3	Тип-4
500	0.043	K	0.02*	0.021	0.026	0.032

У току бенчмарк контроле генерисана су 3 синтетичке историје убрзања које одговарају сценарију блиског, максималног и далеког земљотреса за интер-плате режим. Добијени резултати показују да је спектар типа II, који одговара подручјима са ниском сеизмо активношћу, неконзервативан у односу на очекиване спектралне акцелерације нарочито на дужим периодима. Анализа је показала да примена спектра ЕС-8-1 типа I, са следећим параметрима, обезбеђује отпорност на врло значајна сейзмичка оптерећења која потичу из зоне Вранча али до периоде од 1.3s.

Табела 3. Еластични одговор спектра према ЕС-8-1

Површина	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)	S	η (%)	a_{gR} (g)	γ_I
Тип-I, Тло- A	0.15	0.4	2	1	5	0.043	1.1

6. ЗАКЉУЧАК

Ветрогенераторна и носећа конструкција су у суштини готов монтажни производ, чије се карактеристике бирају према захтеваној снази, ветровој и сейзмичкој зони. Са друге стране, геотехнички услови су увек специфични, због чега за локацију сваког ветрогенератора треба извршити детаљна геолошка, геомеханичка, геофизичка и сейзмичка испитивања. Квалитетне геотехничке подлоге увек омогућавају избор оптималног финансирања, подразумевајући сигурност, трајност и економичност. Насупрот томе, тежња да се штеди на истражним радовима, по правилу се завршава или несигурним или погрешним и скупим решењима финансирања.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EG-070/12. Геотехнички елаборат за ветропарк "Никине воде" у општини Неготин. ГеоEXPERT доо Суботица, нов. 2012.г.
- [2] У-17/11. Геоелектрично сондирање и рефракциона сеизмичка испитивања за ветропарк "Никине воде" у општини Неготин. ГФ-ИНГ Београд, нов. 2012.г.
- [3] 01-652/12. Студија сеизмичке микрорејонизације за ветропарк "Никине воде" у општини Неготин. РСЗ Србије, Београд, нов. 2012.г.

GEOTECHNICAL INVESTIGATION FOR THE WIND-FARM "NIKINE VODE" IN MUNICIPALITY NEGOTIN

Summary: This paper present the results of geological geomechanical and geophysical site investigation and geomechanical laboratory tests for the wind farm "Nikine vode" at the cliff of the mountain Deli Jovan in the municipality Negotin.

Keywords: Wind-farm, geomechanical investigation, geophysical investigation