



[5] 2017 5 [1]

АГГ+ часопис за архитектуру, грађевинарство, геодезију и сродне научне области  
ACEG+ Journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and other related scientific fields

028-048

**Стручни рад** | Professional paper

UDK I UDC 728.2-058.34

DOI 10.7251/AGGPLUS1705028U

Рад примљен | Paper received 13/05/2017

Рад прихваћен | Paper accepted 10/09/2017

### Мато Уљаревић

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци, Војводе Степе Степановића 77/3, e-mail: mato.uljarevic@aggf.unibl.org

### Урош Агбаба

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци, Војводе Степе Степановића 77/, e-mail: urosagbaba@gmail.com

РЕАЛИЗАЦИЈА ПРОЈЕКТА У  
СЛОЖЕНИМ УСЛОВИМА  
ТЕМЕЉЕЊА

CONSTRUCTION IN  
COMPLEX FOUNDING  
CONDITIONS

Стручни рад  
Professional paper  
Рад прихваћен | Paper accepted  
10/09/2017  
УДК | UDC  
728.2-058.34  
DOI  
10.7251/AGGPLUS1705028U

### Мато Уљаревић

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци, Војводе Степе Степановића 77/3, e-mail: mato.uljarevic@aggf.unibl.org

### Урош Арбаба

Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци, Војводе Степе Степановића 77/3, e-mail: urosagbaba@gmail.com

## РЕАЛИЗАЦИЈА ПРОЈЕКТА У СЛОЖЕНИМ УСЛОВИМА ТЕМЕЉЕЊА

### АПСТРАКТ

У урбаним срединама (у градовима), неријетко, намеће се потреба за реализацијом објекта у зонама већ изграђених објеката и инфраструктуре. Такође, све је већи број аутомобила, због чега се јавља потреба за повећаним паркинг просторима. У рјешавању овог проблема, често се намеће, као једино могуће рјешење, обезбјеђење паркинг простора у подземним етажама. Често је реализација оваквих објеката условљена веома сложеном ситуацијом, како у погледу утицаја постојећих објеката, тако и у погледу геомеханичких параметара, те подземне воде. Од пројектанта се очекује оптимално рјешење. У овом раду биће описан пројектни приступ реализацији подземне гараже са три нивоа у веома сложеним условима темељења.

**Кључне ријечи:** пројекат, сложени услови, темељење, пројектни приступ

## CONSTRUCTION IN COMPLEX FOUNDING CONDITIONS

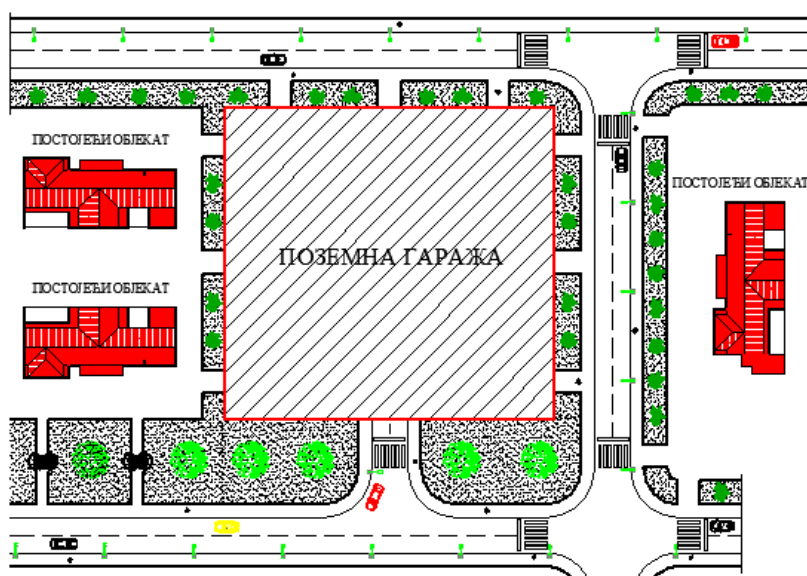
### ABSTRACT

In urban areas (in cities), there is often a need for a construction in zones of already constructed facilities and infrastructure. Also, there is an increasing number of cars, resulting in a need for increased parking spaces. In solving this problem, the provision of underground parking spaces is often imposed as the only possible solution. Often, the construction of such facilities is conditioned by a very complex situation, both regarding the impact of existing facilities, as well as geomechanical parameters and groundwater. An optimal solution is expected from the designer. This paper will describe a design approach in the construction of a three-level underground garage in very complex founding conditions.

**Keywords:** Project, complex conditions, founding, design approach

## 1. УВОД

У овом раду приказати ће се пројектни приступ у дефинисању оптималног рјешења изградње подземне гараже на три нивоа. Локација подземне гараже видљива је са слике 1. Примјер је одабран из разлога јаснијег приказа приступа реализацији објекта у сложеним условима темељења. Но, одабрана ситуација, као и улазни параметри могуће је да вјерно одговарају реалним моделима.



Слика 1. Локација подземне гараже

За израду пројекта подземне гараже неопходно је обезбиједити потребне подлоге тј. податке о локалитету (геомеханичке, хидрогеолошке, сеизмичке, о нивоу подземне воде...). На основу спроведених геотехничких испитивања тла (теренска, лабораторијска) обезбјеђује се:

- Састав и карактеристике тла;
- Ниво подземне воде;
- Водопропусност тла;
- Параметри носивости тла за карактеристичне слојеве;
- Параметри деформабилности тла за карактеристичне слојеве.

Потребно је, такође, с обзиром на диспозиционо рјешење гараже на предвиђеној локацији, извршити детаљан снимак стања постојећих објеката. Наиме, реализација објеката у оваким условима често је праћена одштетним захтјевима корисника постојећих објеката. Зато је неопходно снимити „нулто“ стање постојећих објеката, како би се могао оцијенити негативан утицај проузрокован градњом новог објекта на њих.

С обзиром на наведено, неопходно је дефинисати техничко рјешење реализације предметног објекта, којим ће се гарантовати сигурност постојећих објеката, а с обзиром на негативне утицаје узроковане реализацијом новог објекта.

## 2. ТЕХНИЧКО РЈЕШЕЊЕ

За изградњу подземне гараже неопходно је извести грађевинску јаму, те адекватно осигурати бокове (зидове) јаме како би се створили сигурни услови за рад људи и механизације.

У прорачунским анализама кориштени су сљедећи улазни параметри приказани у табели 1.

Табела 1. Улазни параметри

	Тло	Јединична тежина тла	Угао кохезије	Кохезија тла	Коефицијент водопропустљивости
1. Слој	Од 0,60 m до 7,60 m добро градуиран пијесак са мало финих честица или без њих	$\gamma_1=21,5$ kn/m <sup>3</sup>	$\phi_1=28^\circ$	$c_1=0$ kn/m <sup>2</sup>	$k_1=0,005$ m/s
2. Слој	од коте 7,60 m до 15,60 m добро градуиран пијесак са малим садржајем глиновитих честица	$\gamma_2=23,0$ kn/m <sup>3</sup>	$\phi_2=31^\circ$ ;	$c_2=2,0$ kn/m <sup>2</sup>	$k_2=0,0003$ m/s
3. Слој	од коте 15,60 m до 30,00 m добро градуиран пијесак са израженим садржајем глиновитих честица	$\gamma_3=21,5$ kn/m <sup>3</sup>	$\phi_3=34^\circ$	$c_3=5,0$ kn/m <sup>2</sup>	$k_3=0,00005$ m/s
Модул деформације тла			$e_0 = E_s = 19200$ kn/m <sup>2</sup>		
Poisson-ov" коефицијент тла			$\nu = 0,3$		
Ниво подземне воде			4,0 m испод нивоа терена		
Марка бетона			с 25/30		
Модул еластичности тла			$e=30$ GPa		
Poisson-ov" коефицијент бетона			$\mu = 1/6$		
Бетонски челик			B500		

Због специфичности терена (карактеристика тла, нивоа подземне воде, близине околних зграда...), односно због сложености грађевинских захвата које је потребно извести при изградњи подземне гараже, посебна се пажња посвећује самом начину заштите грађевинске јаме.

При извођењу потребно је ријешити два проблема, и то:

- Осигурати стабилност ободних зидова темељне јаме (подземне гараже),

- Ријешити проблем подземне воде

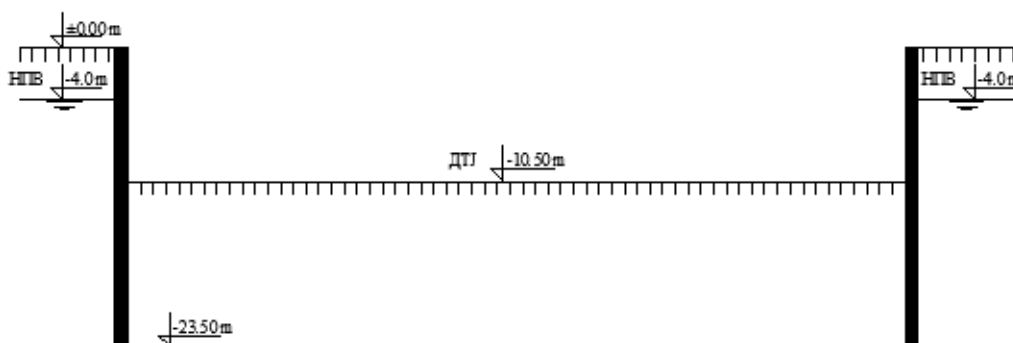
Стабилност зидова темељне јаме можемо ријешити на два начина, и то:

- Осигурати темељну јаму, независно од конструкције подземне гараже (конзолна дијафрагма и сидрена дијафрагма)
- Осигурати темељну јаму, паралелно са извођењем конструкције подземне гараже (дијафрагма осигурана разупорама)

У наставку се, кратко, описују наведена два начина реализације.

## 2.1. ОСИГУРАЊЕ ТЕМЕЉНЕ ЈАМЕ, НЕЗАВИСНО ОД КОНСТРУКЦИЈЕ ПОДЗЕМНЕ ГАРАЖЕ

### 2.1.1. Прва варијанта осигурања темељне јаме је зид формиран од шипова пречника 100cm, (слика 2).

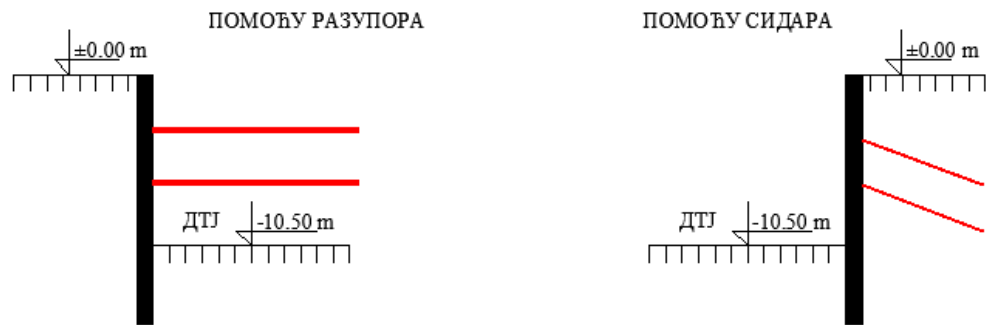


Слика 2. Дијафрагма система конзоле у осигурању ископа темељне јаме

Потребно је одредити дубину укопавања шипа испод нивоа дна темељне јаме, а на основу геостатичког и хидрауличког прорачуна. У конкретном примјеру, за добивене податке, добије се потребна дубина укопавања дијафрагме од  $d=13,0$  m.

Затим је потребно израчунати хоризонтална помјерања врха зида дијафрагме, која би се упоредила са дозвољеним (дефинисаним да не узрокују слијегање постојећих објеката). Узима се предметно да помјерање до 10 mm неће произвести негативне утицаје по постојеће објекте. Када се задовољи критериј везан за помјерања, прорачунавају се статички утицаји дуж зида дијафрагме, а за потребе њезина димензионисања. За дате улазне параметре (у овом примјеру), помјерања врха зида су износила  $y=48,46$  mm.

Израчунато хоризонтално помјерање врха зида је веће од дозвољеног (10,0 mm), те је потребно мијењати или крутост на савијање подградне конструкције, или конструктивни систем, или и једно и друго, те поновити прорачун хоризонталних помјерања. Реалнија је (учинковитија) варијанта промјене конструктивног система, тј. замјена конзолног система гредом на једном или више ослонаца, уклијештеном у тло на једном крају. Ослонци се могу обезбиједити помоћу разупора или израдом геотехничких сидара (слика 3). Треба напоменути да привремене разупоре (само у функцији осигурања ископа), у већини случајева, ограничавају радни простор, због чега им је употреба ограничена. Зато се намеће питање могућности кориштења елемената (хоризонталних дијафрагми-таваница) конструкције објекта у остварењу конструктивног система, бочних дијафрагми, којим би се испунили захтијевани критеријуми.



Слика 3. Начини промјене конструктивног система укљижштене дијафрагме

У овом примјеру усвојена је концепција истовременог ископа и израде коначних армиранобетонских таваница гараже. Таванице се изводе у пројектованом положају у конструкцији, а у фази извођења радова на ископима имају функцију разупоре бочних дијафрагми. Предности и недостаци овог система приказани су у табели 2.

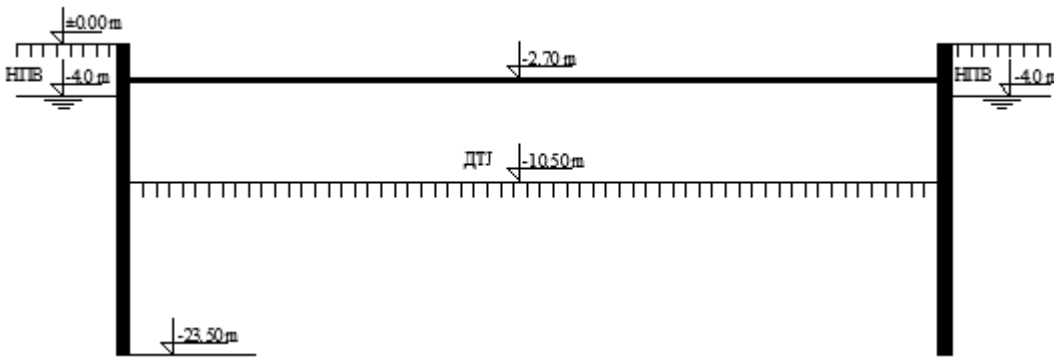
Табела 2. Предности и недостаци паралелног ископа и израде елемената конструкције

Предности	Недостаци
Сигурност рјешења	Извођење шипова
Уштеда у времену и новцу	Сложене везе-шип-плоча и дијафрагма-плоча
Дијафрагма-ободни носиви зид	Прецизно извођење

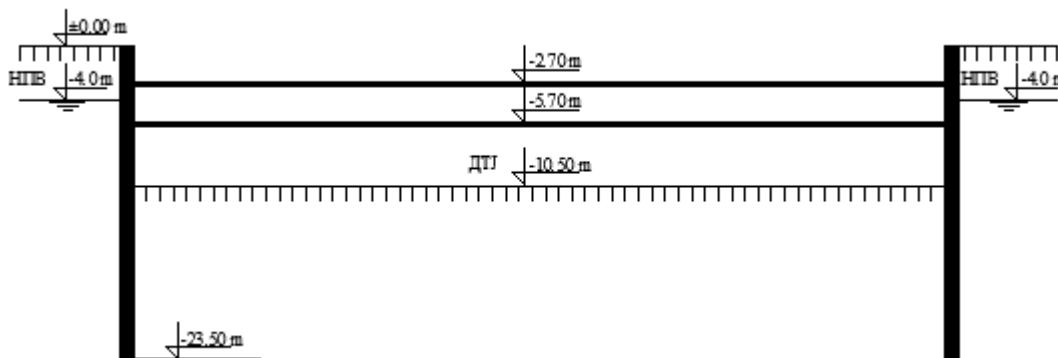
#### ОСИГУРАЊЕ ТЕМЕЉНЕ ЈАМЕ, ПАРАЛЕЛНО СА ИЗВОЂЕЊЕМ КОНСТРУКЦИЈЕ ИЊЊПОДЗЕМНЕ ГАРАЖЕ (БОЧНА ДИЈАФРАГМА ОСИГУРАНА РАЗУПОРАМА)

Наредни корак у димензионисању је дефинисање броја разупора (ослонаца укљижштене дијафрагме), како би се задовољили критеријуми (хоризонтални помак, носивост). У овом примјеру дате су различите варијанте се са разупорама:

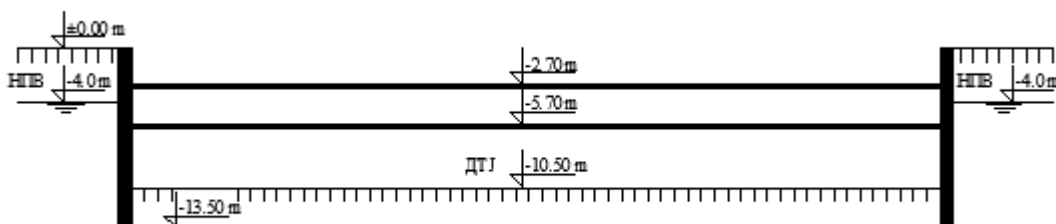
- Једна разупора на висини 3 m испод површине терена (слика 4). Дебљина дијафрагме 40 cm, а дубина укопавања је 13 m,
- Двије разупоре; једна на висини 3 m, а друга на 6 m испод површине терена (слика 5). Дебљина дијафрагме је 40 cm, а дубина укопавања је 13 m,
- Двије разупоре; једна на висини 3m, а друга на 6 m испод површине терена (слика 6). Дебљина дијафрагме је 40 cm, а дубина укопавања је 3 m.



Слика 4. Разупора на 3 т испод нивоа терена, дебљина дијафрагме је 40 ст, а дубина укопавања је 13 т



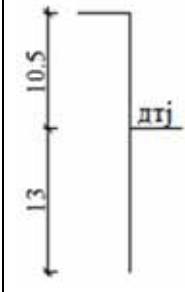
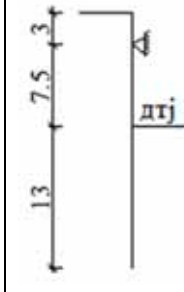
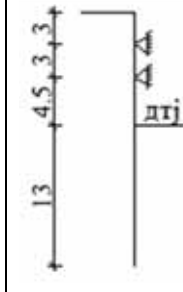
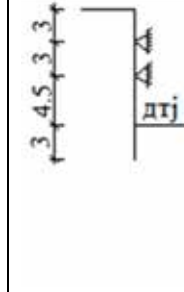
Слика 5. Двије разупоре; једна на висини 3 т, а друга на 6 т испод површине терена, дебљина дијафрагме је 40 ст, а дубина укопавања је 13 т



Слика 6. Двије разупоре; једна на висини 3 т, а друга на 6 т испод површине терена, дебљина дијафрагме је 40 ст, а дубина укопавања је 3 т

Резултати прорачуна по варијантама приказани су у табели 3. У табели је дат шематски приказ конструктивног система варијанти и њима придружени резултати прорачуна (хоризонтални помак, максимални моменат у дијафрагми). Прорачун је добијен методом деформација за улазне параметре тла и конструкције дијафрагме.

Табела 3. Приказ добијених резултата (помјерања и момената) за варијанте

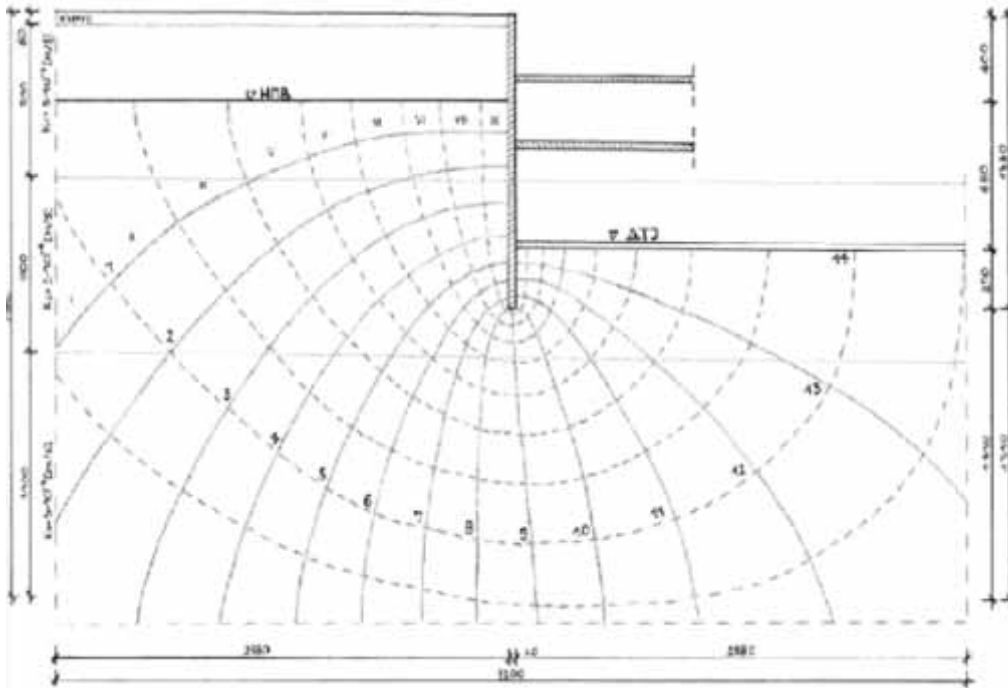
ВАРИЈАНТЕ	ПРВА	ДРУГА	ТРЕЋА	ЧЕТВРТА
				
Хоризонтална помјерања ( $y_0$ ) [mm]	$y_0 = 48.459$	$y_0 = -20.784$	$y_0 = 2.532$	$y_0 = 2.540$
Максимални моменти ( $M_k$ ) [KNm]	$M_{39} = 1719.917$	$M_{23} = -334.751$	$M_{31} = -76.934$	$M_{31} = -76.453$

## 2.2. ПРОРАЧУН ДОТОКА ВОДЕ У ТЕМЕЉНУ ЈАМУ

За овако одабрано рјешење, а на основу карактеристика тла, неопходно је утврдити доток воде у темељну јаму на основу којег ће се донијети рјешење о евентуалној потреби побољшања природног тла.

На слици 7. приказана је струјна мрежа тока воде у темељну јаму. Доток воде (за дате параметре у овом примјеру) у темељну јаму износи 279 l/s. Због великог очекиваног дотока воде у темељну јаму потребно је извршити побољшање природног тла млазним ињектирањем, којим ће се побољшати, уопштено говорећи, физичко-механичке карактеристике тла, а поготово смањити коефицијент водопрпусности. Очекује се да ће овом активношћу доток воде у темељну јаму бити сведен на ниво процуривања.





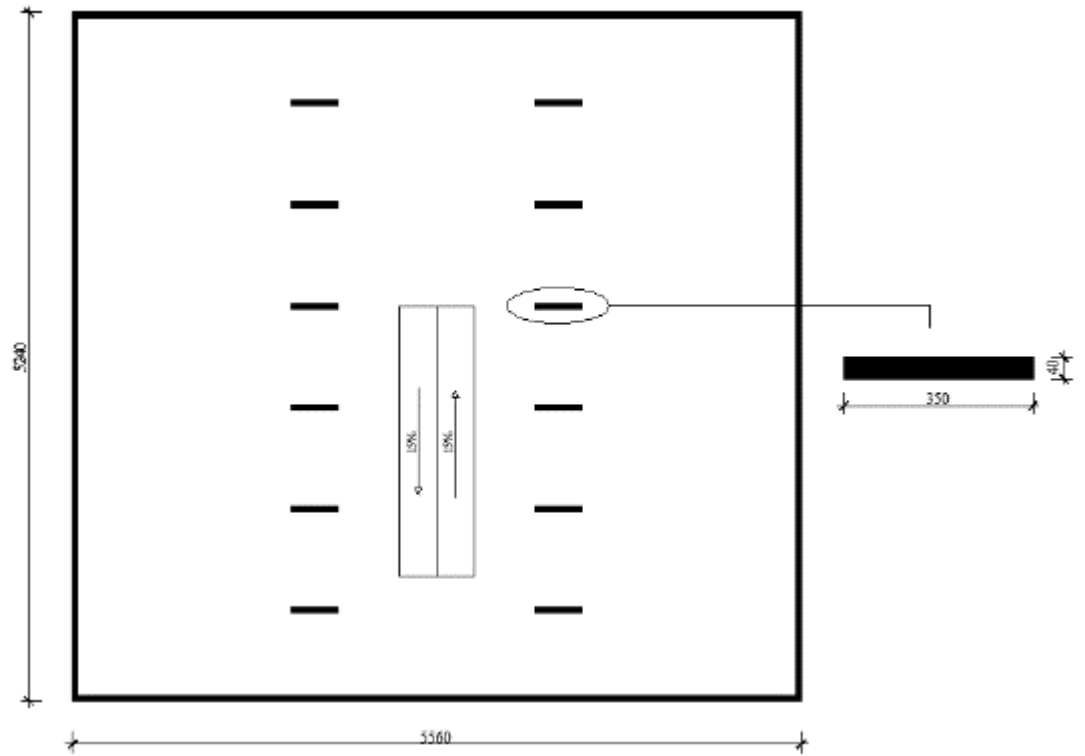
Слика 7. Мрежа тока воде у темељну јаму

### 2.3. ВАРИЈАНТНА РЈЕШЕЊА НОСИВОГ СИСТЕМА АБ ТАВАНИЦА

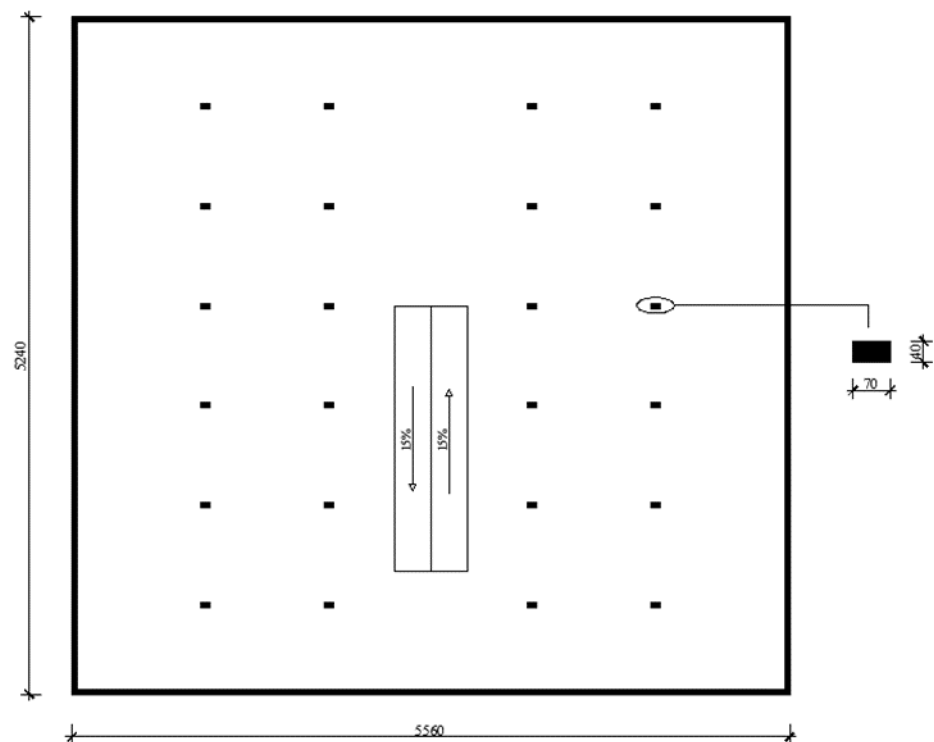
Упоредивањем резултата (максимални угиб плоче, потребна арматура у плочи и напони на ослонцима) добивених за карактеристичну таваницу (на коти 6,0 m испод површине терена) за неколико варијанти ослањања, одабрана је оптимална варијанта у погледу извођења, која ће у наставку бити детаљно обрађена.

Прорачун је урађен у програмском пакету "tower 6", а димензионисање према правилнику за бетон и армирани бетон (БАБ-87).

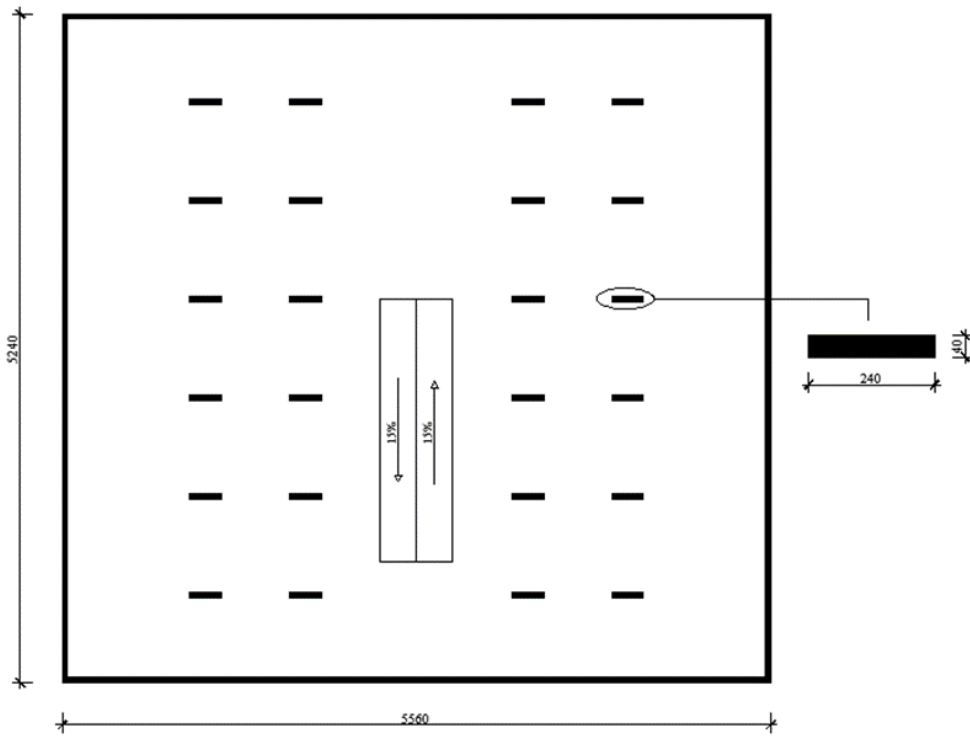
Различите варијанте ослањања дате су на сликама 8 до 11.



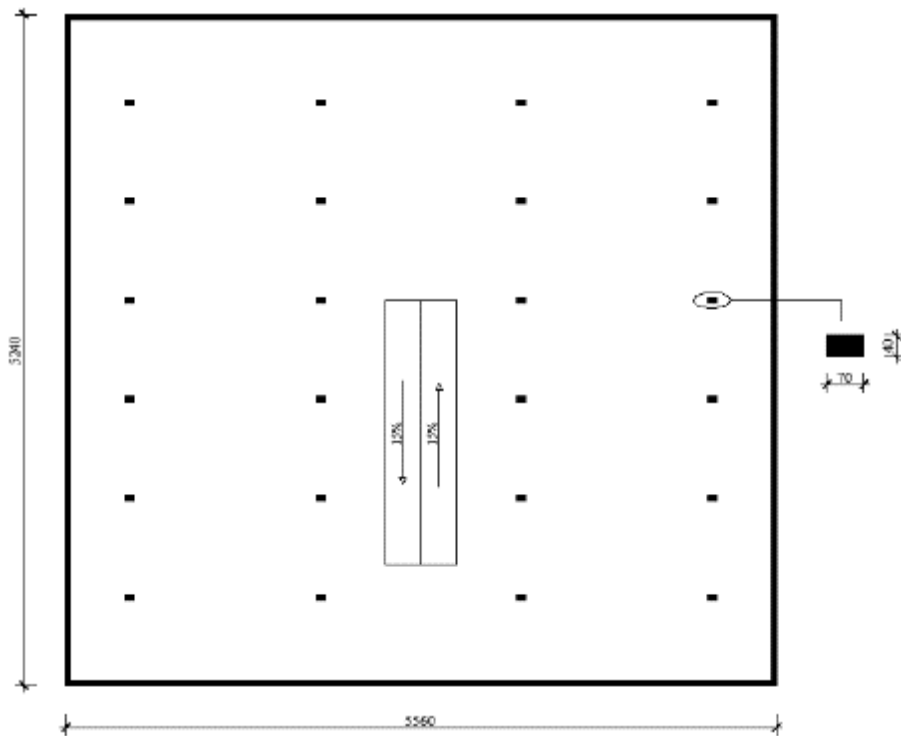
Слика 8. Варијанта I – АБ платно 350 × 40 cm



Слика 9. Варијанта II - АБ стуб 70 × 40 cm



Слика 10. Варијанта III – АБ платно 240 × 40 cm



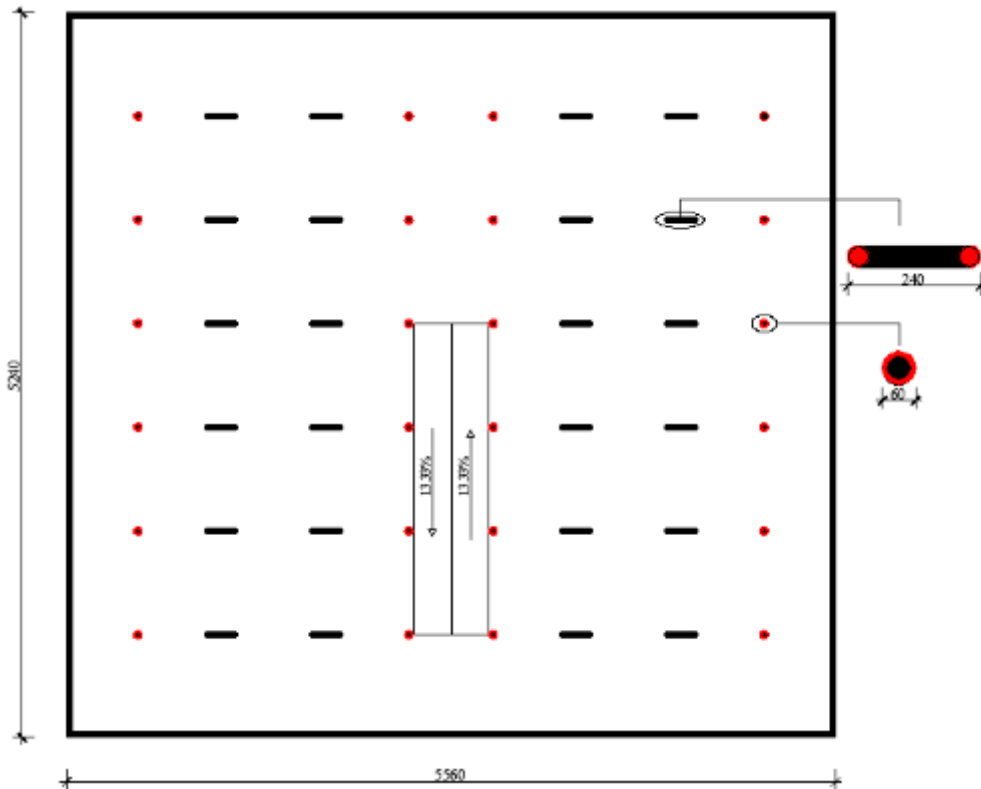
Слика 11. Варијанта IV – АБ стуб 70 × 40 cm

Резултати прорачуна за варијанте ослањања таванице се налазе у табели 4. Прорачунати су максимални угиби у таваницама, напони и реакције у ослонцима.

Табела 4. Резултати прорачуна за различите варијанте ослањања таваница

Варијанта		Потребна арматура [cm <sup>2</sup> /m]		Максимални угиб [mm]	Напон у ослонцима $\sigma_{\max}-\sigma_{\min}$ [MPa]	Сила по ободу дијафрагме [kN/m']
		Горња зона	Доња зона			
1.	x	67.34	43.52	35.81	2.42–2.13	a=234.28 b=234.28 c=156.73 d=154.13
	y	38.86	21.74			
2.	x	49.64	40.09	33.65	26.92–18.55	a=189.89 b=189.89 c=155.42 d=152.96
	y	31.19	19.83			
3.	x	<b>51.98</b>	<b>40.52</b>	<b>24.34</b>	<b>3.24–2.57</b>	<b>a=181.80</b> <b>b=181.80</b> <b>c=150.48</b> <b>d=147.98</b>
	y	<b>33.24</b>	<b>22.71</b>			
4.	x	65.55	42.38	29.02	31.28–19.90	a=90.60 b=90.60 c=157.64 d=155.29
	y	40.32	23.22			

У анализираном примјеру, одабрана је варијанта 3. Али, због организације паркинга и технологије извођења, потребно је извршити корекције усвојене варијанте. Додати су ослонци (шипови) за ослањање стропних плоча у фази извођења  $\varnothing 40/\varnothing 60$  cm, а платна од 240 cm биће изведена од по два шипа  $\varnothing 40$  cm на осовинском растојању од 2,0 m, између којих ће се формирати АБ зид (слика 12).



Слика 12. Коригована варијанта 3 (начина ослањања)

За кориговану трећу варијанту, извршен је прорачун утицаја који су дати у табели 5.

Табела 5. Резултати прорачуна за кориговану варијанту 3.

Варијанта		Потребна арматура [cm <sup>2</sup> /m]		Максимални угиб[mm]	Напон у ослонцима $\sigma_{\max}-\sigma_{\min}$ [MPa]	Сила по ободу дијафрагме [kN/m']
		Горња зона	Доња зона			
3.	x	17.99	9.21	5.35	13.24–1.67	a=119.87 b=119.87 c=133.02 d=133.02
	y	15.29	7.62			

#### 2.4. ПРОВЈЕРА СТАБИЛНОСТИ У ФАЗИ ИЗВОЂЕЊА

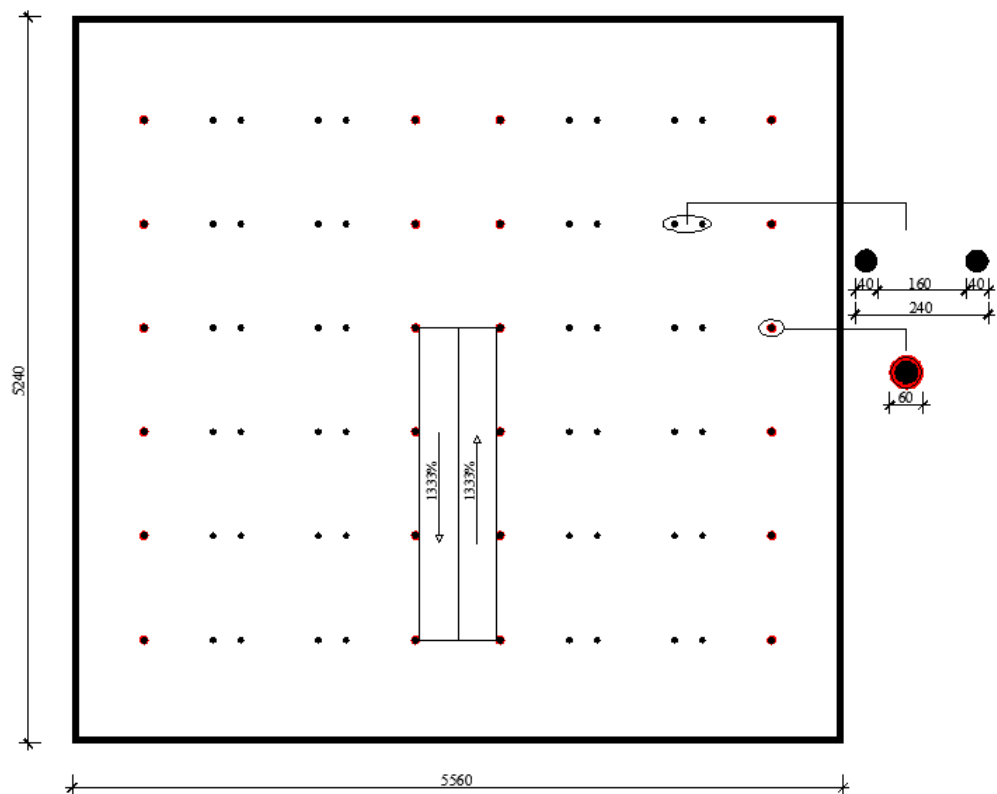
Извођење подземне гараже реализује се од врха према дну (top-down). Статички носиви систем у фазама извођења, разликује се од статичког носивог система у коначној фази.

Неопходно је извршити доказ стабилности носивог система у свим фазама извођења, за актуелне утицаје, те улазне податке о елементима носиве конструкције.

Табела 6. Улазни подаци

Дебљина плоче	d= 30,0 cm
Дебљина АБ дијафрагме	d= 40,0 cm
Ослонци 1	Шипови $\varnothing$ 40 cm
Ослонац 2	Шипови $\varnothing$ 40/60 cm
Класа бетона	C25/30
Бетонски челик	Б500
Димензије гараже у основи	55.60 x 52.40 m

Усвојена основа гараже са детаљима приказана је на слици 13.

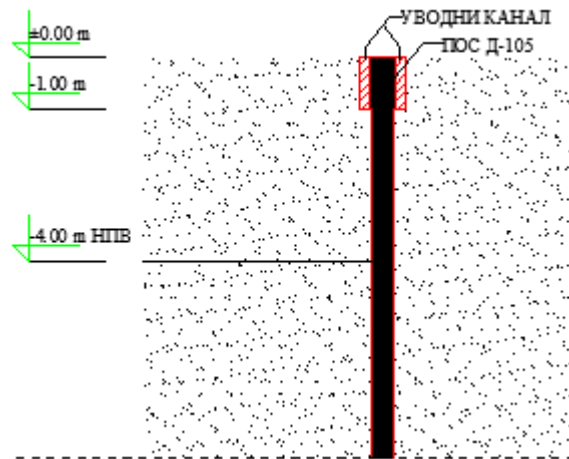


Слика 13. Усвојена основа гараже

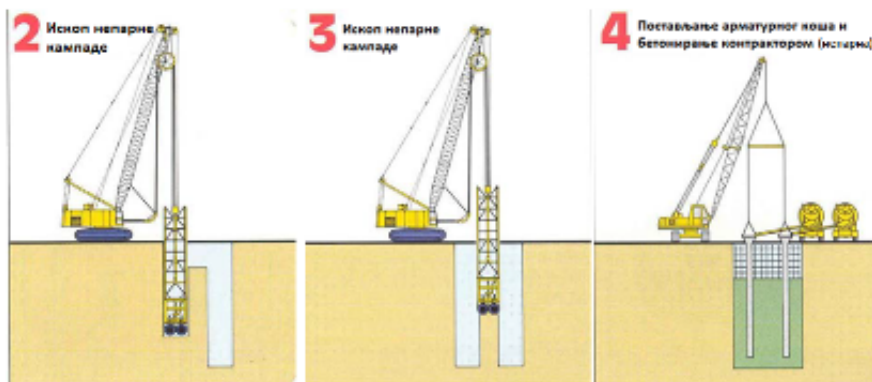
Резултатом прорачуна треба потврдити да је усвојена геометрија носивих елемената и усвојена арматура са распоредом, за коначну фазу, задовољавајућа у погледу: носивости, стабилности, употребљивости у свим фазама реализације објекта.

## 2.5. ИЗВОЂЕЊЕ ПОДЗЕМНЕ ГАРАЖЕ ПО ФАЗАМА

Избор технологије ископа, кретање механизације, те одвоз ископаног материјала треба прилагодити фазама извођења подземне гараже. Изградња гараже од површине терена до коте коначног ископа (10.5 m испод површине терена), реализовати ће се кроз фазе које су шематски приказане на сликама 14 до 29.



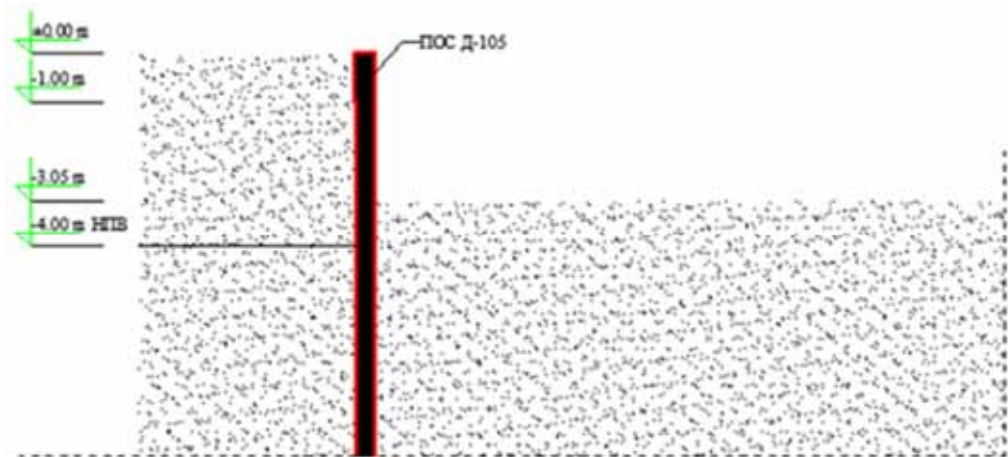
Слика 14. Прва фаза – Израда уводног канала од коте ±0,00т до коте -1,00т



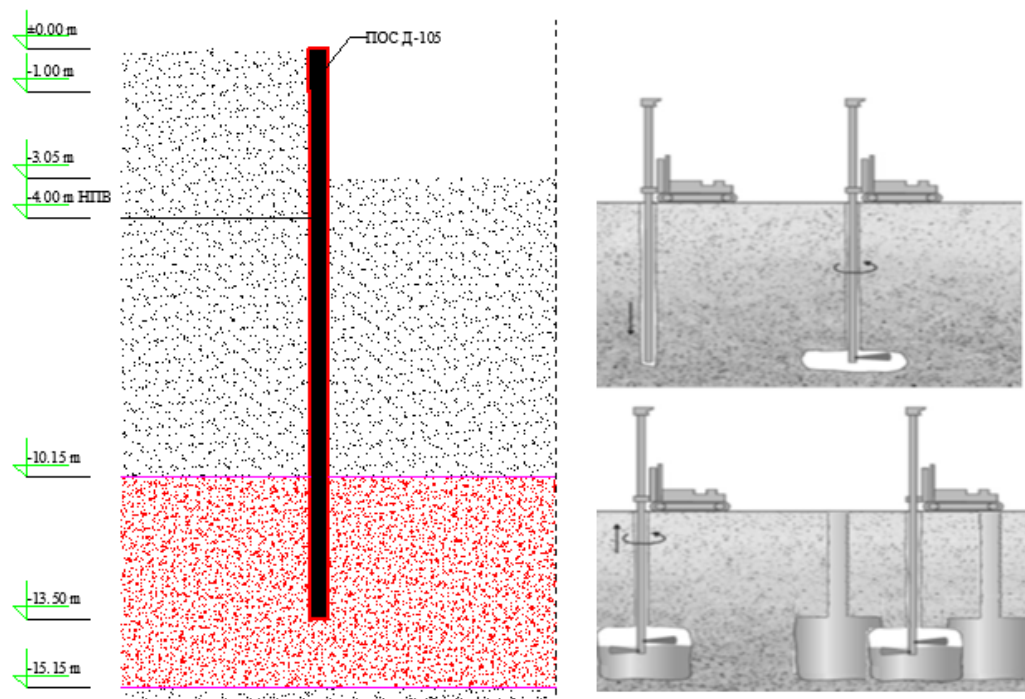
Слика 15. Друга фаза – Ископ по кампадама, армирање и бетонирање АБ дијафрагме дебљине 40,0 см по ободу планиране гараже



Слика 15.а .Друга фаза – Ископ по кампадама, армирање и бетонирање АБ дијафрагмедебљине 40,0 см по ободу планиране гараже

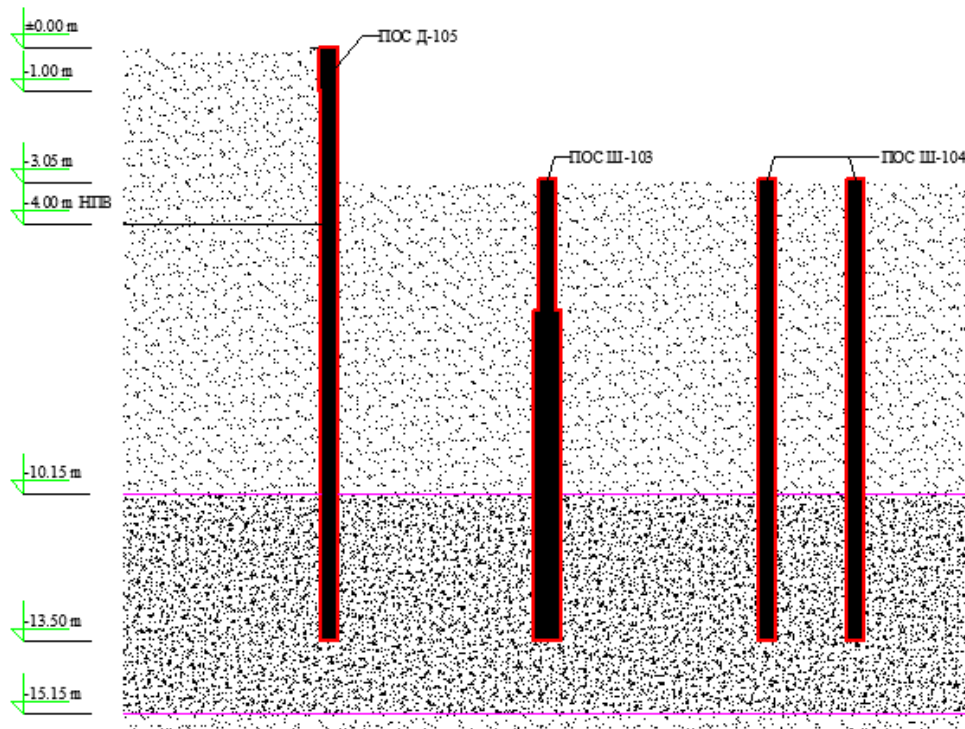


Слика 16. Трећа фаза – Широки ископ радног платоа до коте -3,05 m за другу стропну плочу

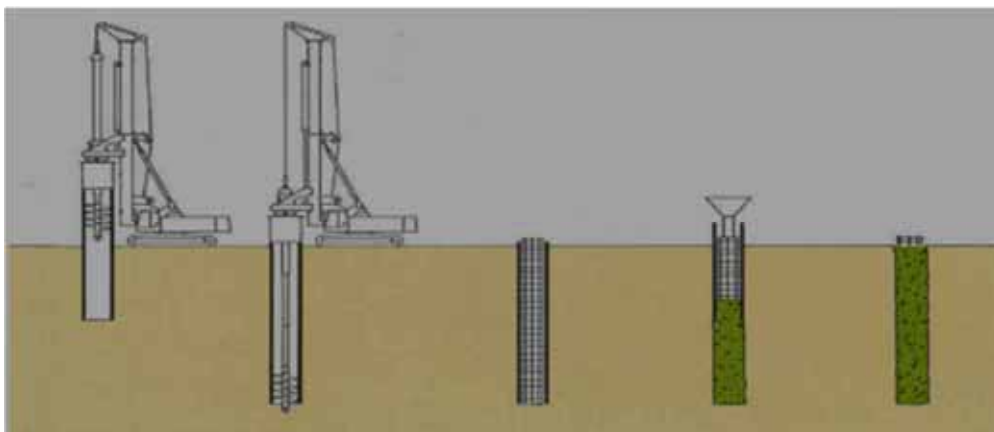


Слика 17. Четврта фаза – Млазно инјектирање испод нивоа подземне воде са коте -3,05 m

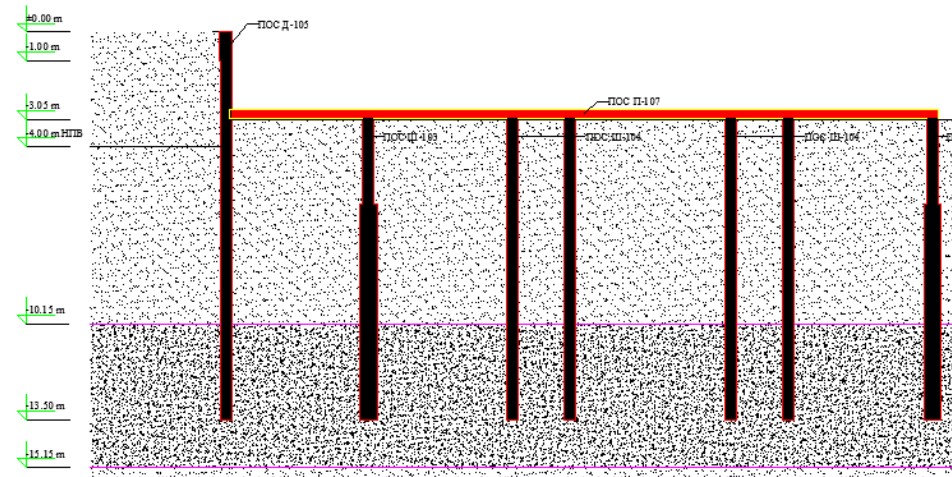




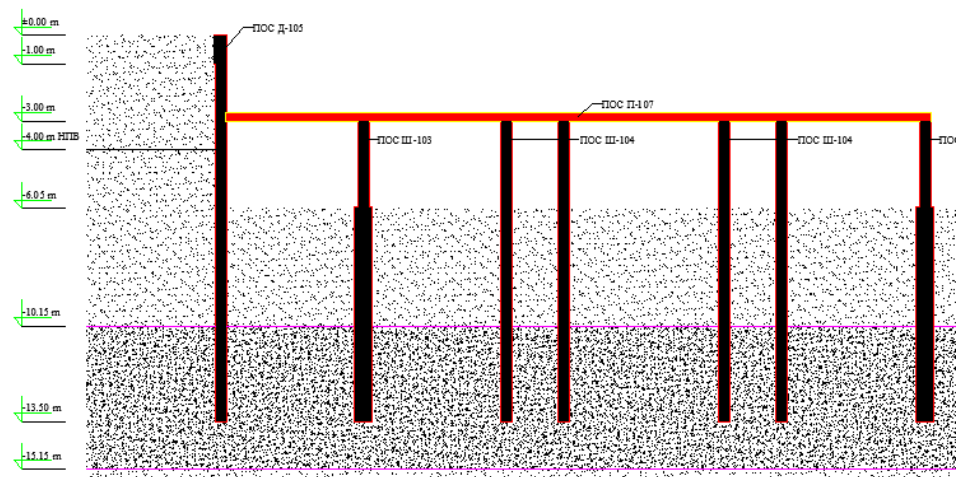
Слика 18. Пета фаза – Извођење бушених шипова са коте -3,05 m до коте -13,50 m константног пречника  $\varnothing 40$  cm пос ш-104 и промјерљивог пречника  $\varnothing 40/\varnothing 60$  cm пос ш-103



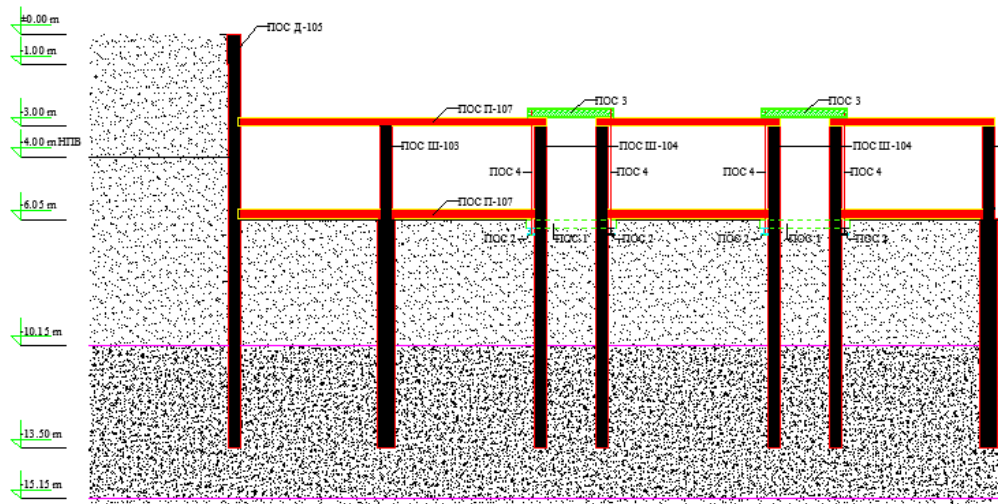
Слика 19. Шематски приказ извођења шипа



Слика 20. Шеста фаза – извођење друге стропне плоче са коте -3,05m

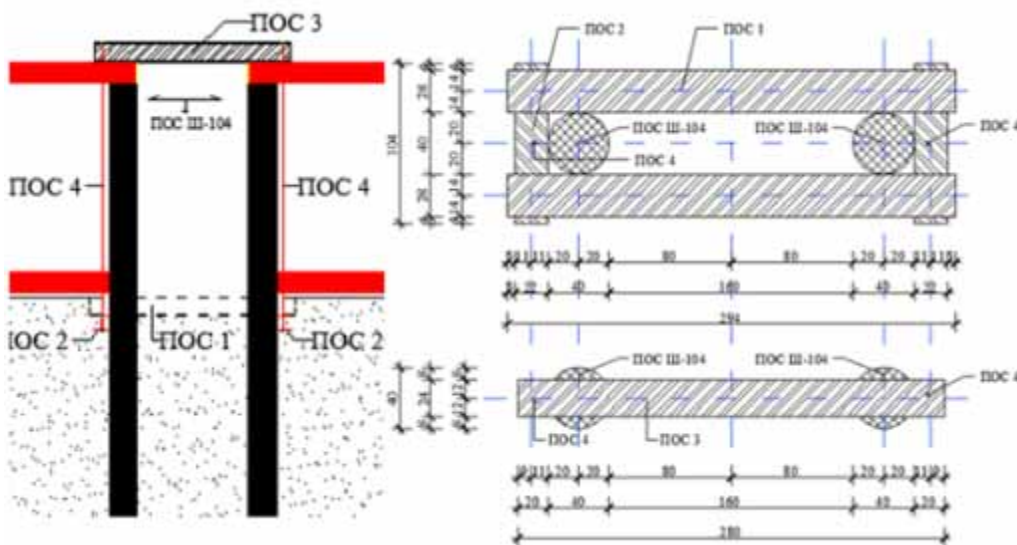


Слика 21. Седма фаза – Тунелски ископ тла испод друге стропне плоче пос п-107 од коте -3,05m до коте -6,05 m



Слика 22. Осма фаза – Извођење треће стропне плоче пос п-107 са коте -6,05 т

Таваница је једним дијелом ослоњена помоћу висиће оплате, другим дијелом на шип промјењивог попречног пресека (слика 23), а ободно је ослоњена на дијафрагму преко анкера (слика 24).

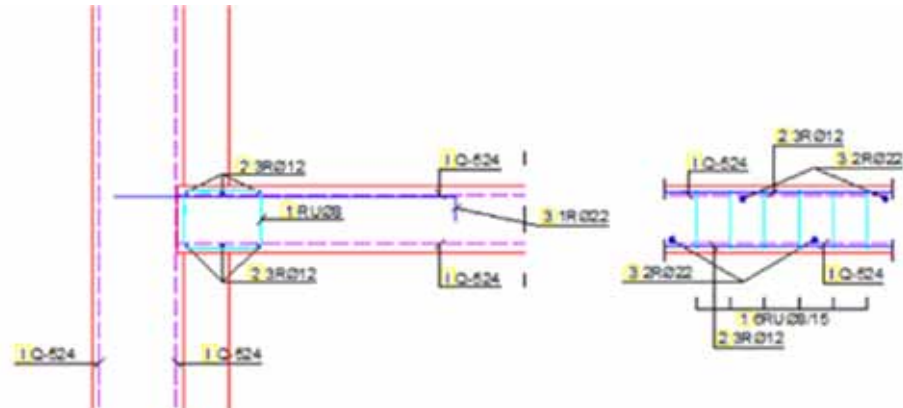


Слика 23. Детаљи ослањања таванице

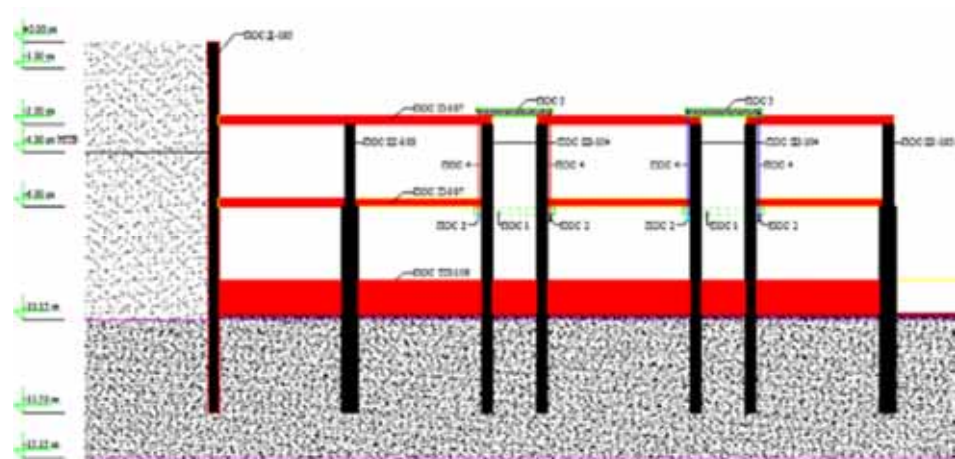
Гдје је:

Пос 1 и пос 2 – приврени метални ослонци стропне плоче на коти -6,05 т

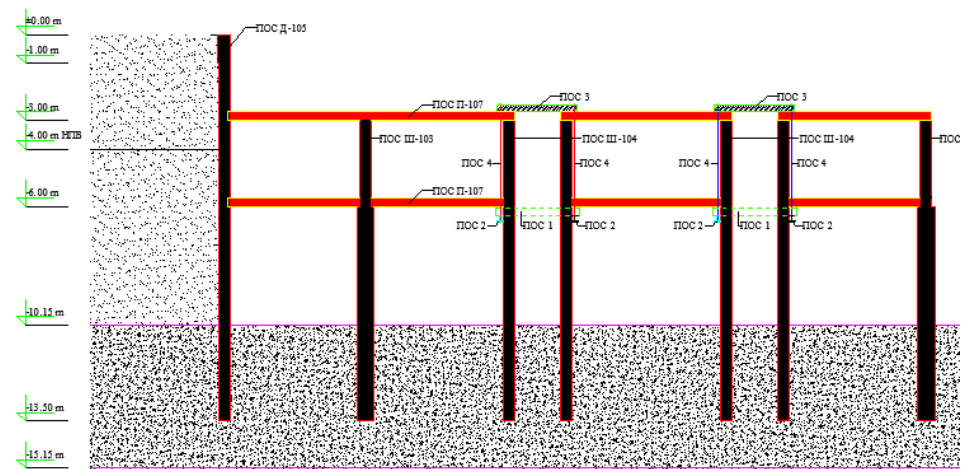
Пос 3 – метални носач који преноси оптерећење од плоче на коти -6,05 т преко ужади пос 4 на врх шипа пос ш-104



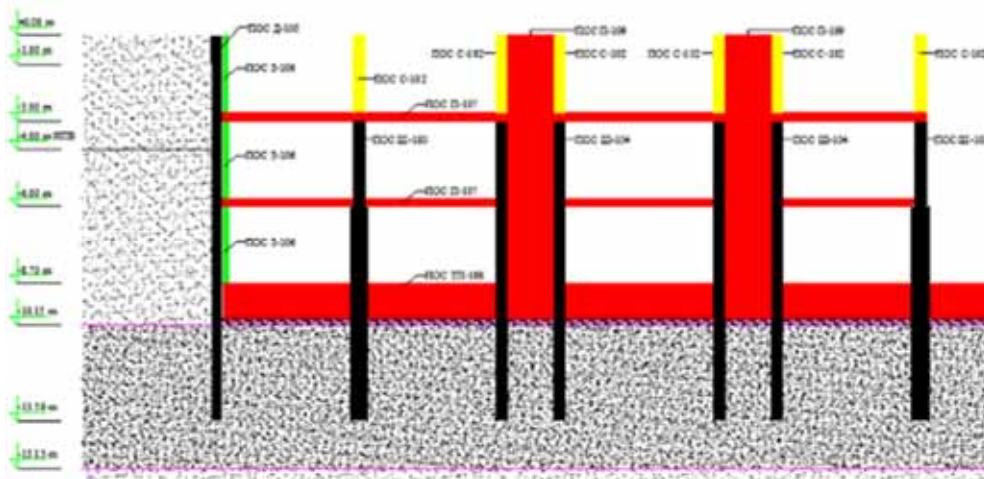
Слика 24. Детаљи ослањања таванице и дијафрग्ме



Слика 25. Девета фаза – Тунелски ископ тла испод треће стропне плоче од коте -6,00 m до коначне коте темељне јаме -10,15 m



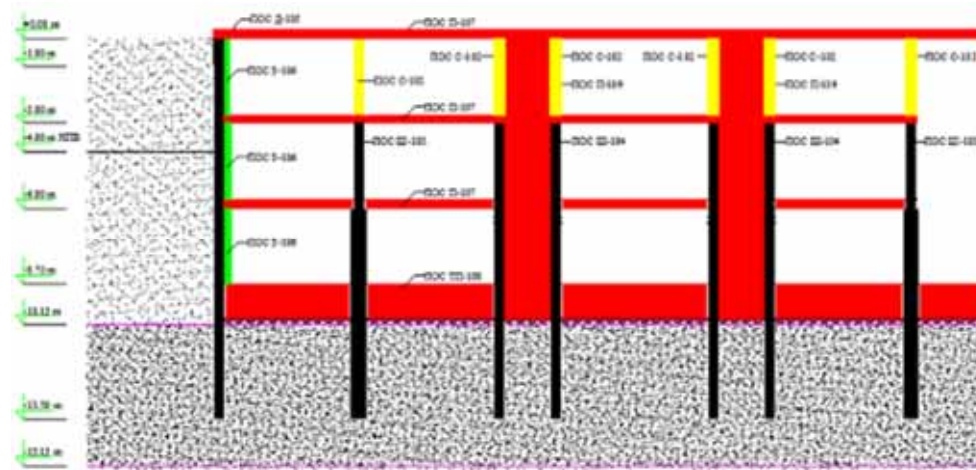
Слика 26. Десета фаза – Извођење темељне плоче пос тп-108 са коте -9,90 m уз претходно постављање хидроизолације



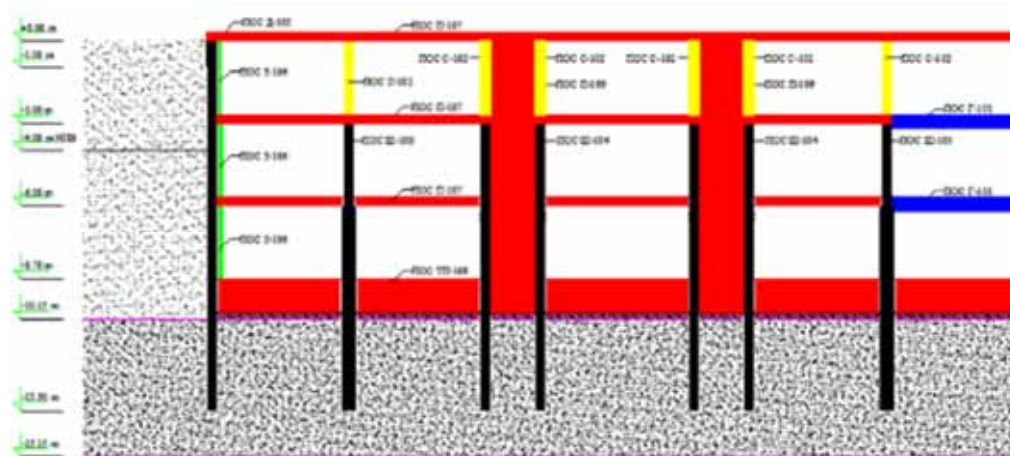
Слика 27. Једанаеста фаза – Извођење АБ платна пос п-109 са коте -8,70 m до коте ±0,00 m

Дванаеста фаза – извођење стубова пос с-102 (наставка шипова) са коте -2,70 m до коте ±0,00m;

Тринаеста фаза – извођење унутрашњих ободних зидова пос з-106 уз претходно постављање хидроизолације;



Слика 28. Четрнаеста фаза – Извођење прве стропне плоче пос п-107 са коте ±0,00 m



Слика 29. Петнаеста фаза – Извођење АБ рампи пос 2-101

### 3. ЗАКЉУЧАК

Реализација грађевинских објеката у сложеним условима данас је постала изводљивијом захваљујући напретку машинске индустрије и развојем опреме за извођење захтевних позиција радова у овој области. Пројектно рјешење треба да је оптимално, што подразумијева да је одабрано међу могућим (која задовољавају услове носивости и деформабилности), по цијени изградње. У раду је приказан пројектни приступ у реализацији грађевинског објекта у врло сложеним условима. Показало се оптималним рјешење кориштења коначних елемената конструкције у функцији напредовања ископа за њену реализацију (top-down метод). Важно је нагласити да се овим приступом, кроз фазе реализације пројекта, за елементе конструкције мијењају услови ослањања и утицаја. То значи да се за сваку фазу реализације пројекта мора спровести детаљна статичка анализа, којом ће се доказати да је конструктивни елемент у тој фази задовољавајуће одабран са захтијеваним фактором сигурности. Како се види, знатно се повећава обим прорачунских анализа. При реализацији пројекта неопходно је спровести мониторинг, по свим фазама, којим би се потврђивале величине добивене из статичких анализа, чиме се на квалитетан начин управља ризиком при изградњи објекта.

### 4. БИБЛИОГРАФИЈА

- [1] *User manual Hibbit*. Karlsson & Sorensen, Abacus, Inc. 2011.
- [2] J. E. Boeles, *Foundation Analysis and design*, New York: McGraw-Hill, 4th Edition, 1988, pp. 1004.
- [3] M. Tomlinson, J. C. Woodward, *Pile design and construction practice*. Boca Raton: CRC Press, 2015.
- [4] U. S. army Corps of Engineers, *Deep Foundations, Unified Facilities Criteria (UFC)*, 2004, pp. 1-1-D-2.
- [5] B. M Das, *Principles of foundation engineering*. Thomson Engineering, Sixth Edition, 2007, pp. 750.
- [6] B. R. Broms, "Lateral resistance of piles in cohesive soils", *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, Vol 90, No. SM 2, 1964
- [7] M. T. Davisson, „Lateral Load Capacity of Piles“, *Highway research Record, Transportation Research Board, Washington, DC*, No. 333, 1970. pp. 104–112