

Miloš Lazović¹, Marija Lazović Radovanović², Teodora Mijailović³

PROJEKTOVANO REŠENJE ZAŠTITE TEMELJNE JAME PODZEMNE GARAŽE U VLAJKOVIĆEVOJ ULICI

Rezime:

U okviru izrade projekta podzemne garaže u Vlajkovićevoj ulici, razmatrana su različita varijantna rešenja obezbeđenja temeljne jame i susednih objekata. Potrebno je zadovoljiti uslov da je obezbeđena stabilnost bočnih strana iskopa u toku izvođenja radova i kasnije u eksploataciji objekta, kao i da se omogući kvalitetno izvođenje radova. Na osnovu izvršenih analiza može se zaključiti da je izrada lamela dijafragmi "samaca" sa ugradnjom montažnih elemenata i izvođenjem zaštitnog zida između njih u dve faze u konkretnim uslovima najpovoljnije rešenje.

Кljučне речи: podzemna garaža, zaštita temeljne jame, top down gradnja

DESIGNED SOLUTION FOR THE FOUNDATION PIT PROTECTION OF THE UNDERGROUND GARAGE IN VLAJKOVIĆEVA STREET

Summary:

Within the design of the underground garage in Vlajkovićeva Street, various variant solutions for the foundation pit protection and neighboring buildings were considered. It is necessary to meet the condition that the stability of the sides of the excavation is ensured during the works and later in the operation of the facility, as well as to enable quality execution of works. Based on the performed analyzes, it can be concluded that the production of "single" diaphragm lamellas with the installation of prefabricated elements and the construction of a protective wall between them in two phases in specific conditions is the most favorable solution.

Key words: underground garage, pit protection, top down construction

¹Vanredni profesor u penziji, Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija, e – mail: mmmlazovic@gmail.com

²Docent, Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija, e – mail: mlazovic@grf.bg.ac.rs

³ Master inženjer, Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija, e – mail: tbisev@gmail.com

1. UVOD

U radu je prikazan predlog projektovanog rešenja Projekta obezbeđenja temeljne jame i susednih objekata koji je deo projekta za građevinsku dozvolu za izgradnju objekta Podzemne javne garaže JG1003 - Vlajkovićeve na uglu ulica Vlajkovićeve i Kosovske, na delu k.p.br. 3010 K.O. Stari grad, Beograd.

Novo projektovani objekat ima četiri podzemne etaže. Objekat je projektovan na slobodnom prostoru s tim što je sa dve strane do ulica Vlajkovićeve i Kosovska. Ispod trotoara i ovih ulica nalaze se različite infrastrukturne instalacije o čemu se mora voditi računa pri izvođenju radova na zaštiti temeljne jame. Takođe, sa druge strane Vlajkovićeve ulice nalaze se stambeni objekti na koje može uticati izgradnja temeljne jame i objekta garaže. Na ostalim stranama je slobodna parkovska površina. Odstojanje do objekta Skupštine Srbije je veće od 20 m, tako da izvođenje radova nema uticaja na taj objekat. Potrebna dubina iskopa za izvođenje podzemne garaže je od 10.00 m do 13.00 m. S obzirom na ovu dubinu, kao i složene geološke uslove neophodno je uraditi zaštitu temeljne jame.

Projektovana konstrukcija zaštite temeljne jame treba da je u stanju da prihvati bočne pritiske tla i vode u svim fazama izvođenja radova, kao i u fazi eksploatacije objekta. Pomeranja zaštitne konstrukcije treba da su takva da usled njih ne može doći do pojave oštećenja na susednim objektima ili na uličnim instalacijama oko objekta. Pošto su pritisci vode veliki potrebno da se zadovolje uslovi globalne sigurnosti objekta na isplivavanje.

Na slici 1 prikazan je render podzemne garaže u Vlajkovićevoj ulici.



Slika 1 – Render podzemne garaže u Vlajkovićevoj ulici

2. OPIS VARIJANTNIH REŠENJA OBEZBEĐENJA TEMELJNE JAME I SUSEDNIH OBJEKATA

U okviru izrade projekta, razmatrana su različita varijantna rešenja obezbeđenja temeljne jame i susednih objekata. Kod svih rešenja potrebno je zadovoljiti uslov da je obezbeđena stabilnost bočnih strana iskopa u toku izvođenja radova i kasnije u eksploataciji objekta, kao i da se omogući kvalitetno izvođenje radova na fundiranju i građenju objekta.

Kao moguća varijantna rešenja obezbeđenja temeljne jame i susednih objekata analizirana su sledeća rešenja:

1) Izvođenje armiranobetonskih dijafragmi po obodu temeljne jame i njihovo razupiranje konstrukcijom objekta primenom "top down" gradnje [1].

2) Izvođenje sekantnih bušenih šipova sa podupiranjem konstrukcijom objekta [2].

3) Izrada bušenih šipova po obodu temeljne jame sa montažom gotovih prefabrikovanih elemenata i izvođenjem zaštitnog zida između njih. Zid se izvodi u dva sloja, a njegovo razupiranje je konstrukcijom objekta [3].

4) Izrada lamela dijafragmi "samaca" sa ugradnjom montažnih elemenata i izvođenjem zaštitnog zida između njih u dve faze. Kao i u predhodnim slučajevima primenom "top down" gradnje, razupiranje zaštitne konstrukcije izvodi se tavanicama samog objekta.

Na osnovu izvršene tehnokonomske analize, može se zaključiti da je rešenje broj 4, u konkretnim uslovima najpovoljnije rešenje. Razupiranjem zaštitne konstrukcije tavanicama objekta, koje se izvode odozgo na dole, praktično se eliminišu horizontalna pomeranja zaštitne konstrukcije. Pored toga ovakvo rešenje je racionalno, jer nije potrebno izvoditi geotehničke ankere ili na drugi način razupirati obodne zidove zaštitne konstrukcije temeljne jame.

U narednom delu daje se detaljan opis usvojenog rešenja zaštite temeljne jame.

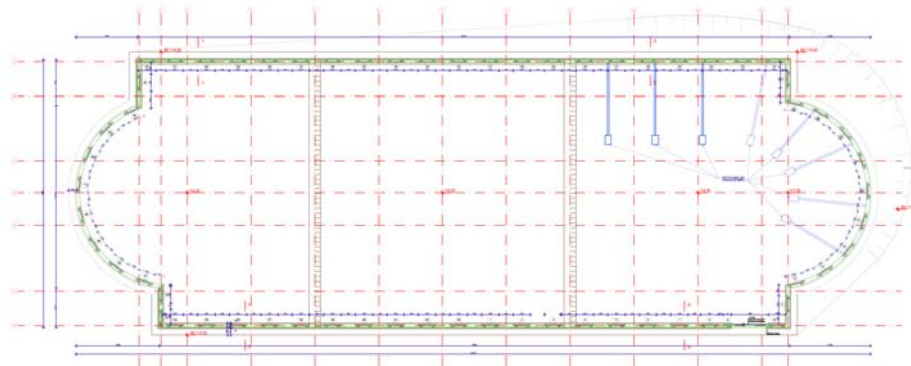
3. DETALJAN OPIS PREDLOŽENOG REŠENJA

Kao što je predhodno rečeno na osnovu analize varijantnih rešenja zaštite temeljne jame, kao najpovoljnije rešenje usvojeno je da se zaštita jame izvodi u obliku zaštitnog zida od armiranobetonskih dijafragmi $d=40$ cm, koje se u nivou tavanica podupiru samim tavanicama koje se izvode po metodi "top down" gradnje odozgo na dole.

U narednom delu daje se detaljniji opis predloženog rešenja prema fazama izvršenja radova.

Radovi na obezbeđenju temeljne jame i izvođenju konstrukcije objekta započinju pripremljenim radovima. U okviru zemljanih radova vrši se iskop i formiranje radnih platoa. Pošto je teren u nagibu, formiraju se tri platoa na kotama 114,40 mnv, 115,00 mnv i 115,60 mnv. Sa gornje strane prema zgradi skupštine iskopom se formiraju škarpe u nagibu 1:1. Između ovih platoa izvode se potrebne rampe, kako bi se omogućilo kretanje mehanizacije. Po obodu jame vrši se nasipanje ovih platoa tucanikom, kako bi se omogućilo kretanje teške mehanizacije. Unutrašnji deo platforme može se koristiti za izradu montažnih elemenata, kao i za tesarske i armiračke pogone.

Zatim se po obodu jame izvode armiranobetonske uvodnice. Funkcija ovih uvodnica je da omoguće pravilnu geometriju pri izvođenju dijafragmi, kao i da vrše raspodelu bentonitske suspenzije. Dimenzije zidova uvodnica su $2 \times 15 \times 120$ cm. Ove uvodnice izvode se na međusobnom odstojanju od 45 cm. Njihovo razupiranje vrši se drvenim gredicama. Između izvedenih uvodnica grajferima se vrši iskop za lamele dijafragmi prema rasporedu prikazanom na slici 2.



Slika 2 – Raspored lamela dijafragmi

Iskop za lamele vrši se uz primenu bentonitske suspenzije kojom se pridrđavaju bočne strane iskopa i sprečava njihovo obrušavanje. Po dubini dijafragme su podeljene u četiri grupe, prateći konfiguraciju terena, tako da se one kreću od 11,50 m do 13,50 m. U iskopane rovove lamela dijafragmi autodizalicama spuštaju se gotovi armiranobetonski elementi dijafragmi. Ovi elementi izvode se na platou u glatkoj oplati i sastoje se od ploče 20x220 cm i dva rebra 20x30 cm. Na ovaj način dobija se element čija je debljina 40 cm.

Iznad izvedenih elemenata dijafragmi izvodi se vezna greda koja ih međusobno povezuje debljine 40 cm i visine do kote donje ivice ploče na koti 0,00.

Zatim se izvodi iskop unutar temeljne jame do kote dna tavanice na -1. Ovaj iskop se izvodi sa ostavljanjem bermi na polovini visine prve etaže. Između izvedenih lamela vrši se iskop bagerima i ručno da bi se formirao prostor za izvođenje prve faze zaštitnog zida jame između njih. Debljina ovog zida je 20 cm, i on se izvodi sa oplatom od talasastog lima. Na ovaj način se postiže dobra veza smicanja sa zidom koji se izvodi u drugoj fazi. Posle izvođenja ovog zida vrši se iskop ostavljene berme i stvaraju se uslovi za izvođenje prve faze obodnog zida do dubine koja je oko 0,50 m ispod tavanice -1. Na strani ka Skupštini gde su formirane škarpe, dubina iskopa u prvoj fazi je veća. Na tom delu zaštitni zid se ne može ponašati kao konzolni, pa je potrebno da se u fazama izvrši podupiranje vezne grede. Ovo podupiranje izvodi se kosnicima od čeličnih cevi koje se oslanjaju na privremeno izvedene temelje. Rastojanje između kosnika po dužini zida je 6,00 m.

Paralelno sa izvođenjem zaštitnog zida između izvedenih lamela dijafragmi, može se otpočeti sa izvođenjem bušenih šipova na stubnim mestima. Ovi šipovi Ø1200 mm su dubine oko 15,00 m i izvode se sa kote donje ivice tavanice -1. Pošto je tlo glinovito, bušenje za ove šipove se izvodi bez zacevljenja bušotine. U izvedenu bušotinu spušta se armaturni koš do nivoa temeljne ploče, a na gore montažni element stuba objekta. Betoniranje donjeg dela šipa vrši se kontraktorskim postupkom.

Izvođenjem stubova, stvoreni su uslovi za izvođenje armiranobetonske tavanice -1. Debljina ove tavanice je 25 cm. Ova tavanica oslanja se po obodu na izvedeni zid, a unutar jame na stubove. Posle ove tavanice vrši se montaža oplata i izvođenje tavanice na koti 0,00, čija je debljina 30 cm sa sistemom ukrštenih greda i 40 cm na delu gde se ne izvode ukrštene grede. Na ovaj način u tlu se formira jedna kruta kutija od armiranog betona koja je u stanju da prihvati sve bočne pritiske tla koji deluju na zaštitni zid temeljne jame. Pri tome, horizontalna pomeranja

zaštitne konstrukcije su zanemarljivo mala. Na sličan način izvode se i rampe između nivoa 0,00 i -1.

Pošto beton tavanica očvrstne, vrši se demontaža oplata i kroz otvore u tavanicama spušta se mehanizacija za iskop nivoa -2. Ovaj iskop zbog ograničene visine vrši se malim bagerima težine do 7,00 tona. Odvoz iskopanog materijala izvodi se damperima korišćenjem rampi ili se koriste specijalne korpe kojima se uz pomoć motora sa reduktorima iskopani materijal iznosi napolje i vrši njegov utovar u kamione. Kao i u predhodnom nivou i ovde se uz obodni zid ostavlja berma na polovini spratne visine. Na isti način kao i kod nivoa -1, izvodi se prva faza obodnog zida u dva nivoa. Pošto je završen iskop nivoa -2, vrši se priprema podloge za betoniranje tavanice -2. Ova tavanica izvodi se na isti način kao i tavanica -1.

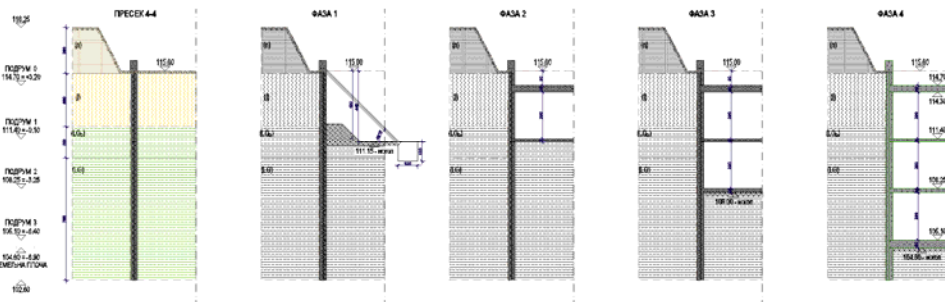
Isti postupak se ponavlja i za izvođenje nivoa -3. Posle iskopa sa bermom po obodu temeljne jame izvodi se prva faza obodnog zida. Zatim se vrši priprema podloge i betoniranje temeljne ploče. Ploča se armira u svemu prema datim detaljima i planovima armature. Debljina temeljne ploče je 50 cm i ona se izvodi u dve faze 30+20 cm. Gornji sloj se izvodi sa dodacima betonu za kristalijaciju.

Podloga ispod temeljne ploče priprema se na sledeći način: posle iskopa vrši se ravnjanje i zbijanje podloge. Zatim se vrši nasipanje tucanika (frakcija 0-31.5 mm) u sloju debljine 20 cm i vrši njegovo zbijanje vibro pločama. Zbijanje treba izvoditi do postizanja modula stišljivosti od 20 MPa. Unutar ovoga sloja montiraju se drenažne cevi za kontrolisano kretanje podzemne vode do sabirnih bunara iz kojih se voda muljnim pumpama izbacuje u kišnu kanalizaciju. S obzirom na sastav i osobine tla, ne očekuje se veći priliv podzemne vode u temeljnu jamu. Preko izvedenog drenažnog sloja polaže se čepasta folija, a preko nje vrši se montaža armature za temeljnu ploču.

Pošto su završeni radovi na tavanici 0,00, može se pristupiti i izradi konstrukcije iznad nje, čime se formira četvrti nivo podzemne garaže.

Preko ovih tavanica posle izvedene hidroizolacije i slojeva za pad, vrši se nasipanje terena u svemu prema projektu uređenja terena.

Na slici 3 prikazane su faze izvođenja radova za presek 4.



Slika 3 – Faze izvođenja radova za presek 4

Da bi se obezbedila zaštita objekta od podzemnih voda, predviđeno je izvođenje hidroizolacije. Ova izolacija se izvodi premazima na bazi penetrante. Montažni elementi dijafragmi, posle očvršćavanja betona premazuju se sa spoljašnje strane penetrantom u tri sloja. Posle izrade I faze zida vrši se premaz njegove površine penetrantom takođe u tri sloja. Betoniranje II faze zaštitnog zida izvodi se od vodonepropusnog betona. Na ovaj način sprečeno je prodiranje vode i vlage u

unutrašnjost objekta po njegovom obodu. Što se tiče temeljne ploče, ona se izvodi u dva sloja, s tim što je gornji sloj debljine 20 cm i on se izvodi sa dodacima betonu za kristalizaciju. Na ovaj način potpuno se onemogućava prodor vode u objekat sa donje strane kroz temeljnu ploču.

4. PRORAČUN ZAŠTITNE KONSTRUKCIJE TEMELJNE JAME

Proračun zaštitne konstrukcije za obezbeđenje temeljne jame i fundiranje objekta je po svojoj prirodi veoma složen. Radi se o rešenju problema interakcije konstrukcije objekta temeljne konstrukcije i tla, i to u vertikalnom i horizontalnom pravcu. Kod ovakvih proračuna veoma je važno da se pravilno modelira ponašanje tla. Gornji mekši slojevi modelirani su kao tlo Mohr-Coloumb-ovim elastoplastičnim modelom. Parametri za ovaj model preuzeti su iz Geotehničkog elaborata [4].

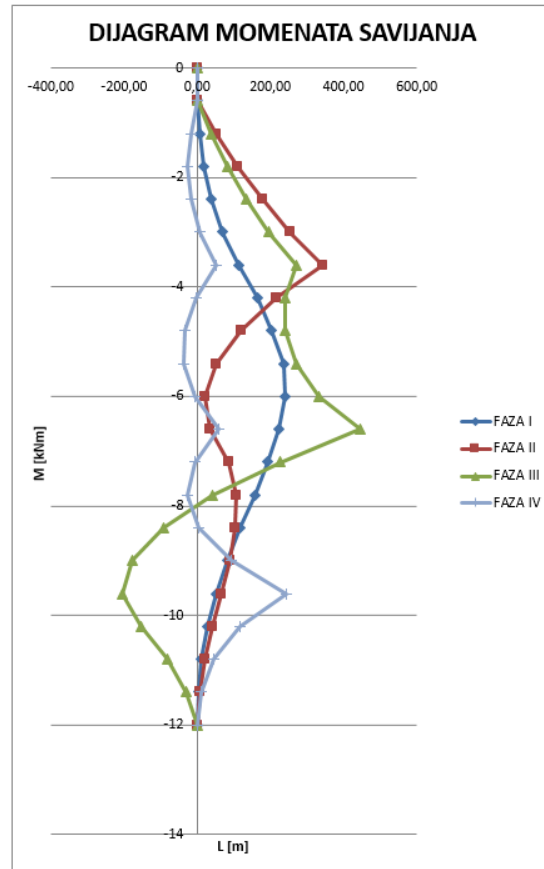
Proračun uticaja u zaštitnoj konstrukciji temeljne jame izvršen je u četiri karakteristična poprečna preseka.

Na slici 4 prikazani su dijagrami momenata savijanja za četiri faze izvođenja radova.

Na osnovu predhodno navedene geotehničke dokumentacije, usvojeni su parametri otpornosti i deformabilnosti tla za proračun elemenata zaštitne konstrukcije temeljne jame. Sve računске analize rađene su sa paramertima u dreniranim uslovima, pa su samim tim dobijeni rezultati proračuna na strani sigurnosti.

Kao što je poznato, proračun podupretih deformabilnih potpornih konstrukcija koje su elastično uklještene u tlo, predstavlja jedan veoma aktuelan problem građevinske geotehnike.

Najčešće se ovakvi problemi rešavaju aproksimativno primenom metoda granične ravnoteže. Usvajanjem faktora sigurnosti obezbeđuje se adekvatna stabilnost, a pomeranja potporne konstrukcije i tla se svode na prihvatljivi nivo. Međutim, ovakvim proračunima ne mogu se obuhvatiti neki veoma bitni elementi koji značajno utiču na tačnost proračuna kao što su faze građenja i početno naponsko stanje u tlu.



Slika 4 – Dijagrami momenata savijanja za četiri faze izvođenja radova

U konkretnom slučaju primenjen je jedan numerički postupak proračuna podupretilih deformabilnih potpornih konstrukcija, prateći faze izvršenja radova. Naime, kod proračuna ovakvih konstrukcija veoma je bitno da se faze proračuna usklade sa fazama izvršenja radova, jer se statički sistem menja sa napredovanjem iskopa i izradom tavanica objekta. Pošto su veze napona i deformacija u tlu nelinearne predloženi numerički postupak je inkrementalno-iterativni. Započinje se sa računanjem pritisaka tla u stanju mirovanja koji deluju sa obe strane zaštitne konstrukcije kao ravnotežno opterećenje. Za tako definisano naponsko stanje u tlu računavaju se vrednosti modula deformacije u tlu. Tretirajući problem kao ravanski korišćenjem analitičkih rešenja računavaju se pomeranja usled jediničnih horizontalnih sila na kontaktu potporne konstrukcije i tla i formira matrica fleksibilnosti tla, odnosno njenom inverzijom matrica krutosti tla. Spajanjem ove matrice sa matricom krutosti potporne konstrukcije dobija se matrica krutosti

sistema, odnosno problem se svodi na sračunavanje uticaja u jednoj ekvivalentnoj ramovskoj konstruktiji.

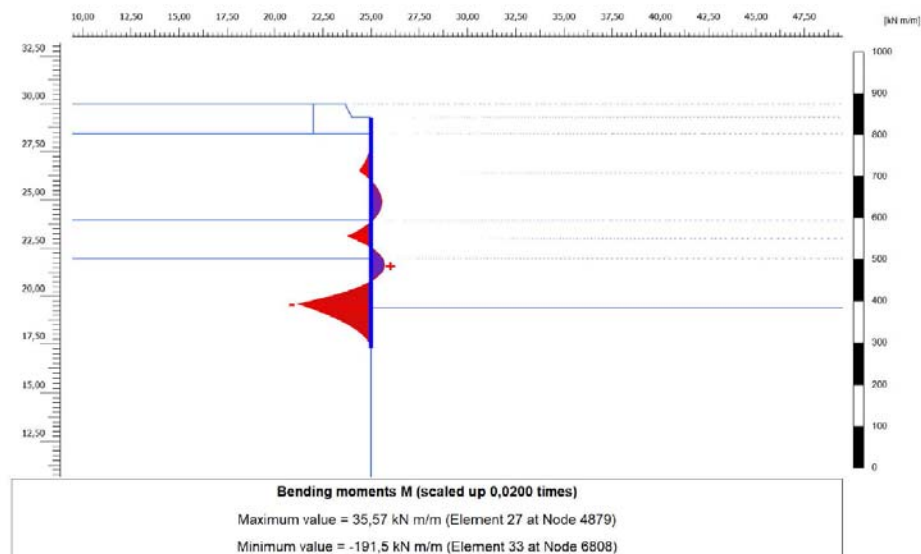
Usled iskopa koji se izvodi u slojevima propisane debljine, dolazi do narušavanja ravnoteže horizontalnih sila. Na sistem se u tom inkrementu kao opterećenje nanosi opterećenje koje je postojalo na iskopanoj lameli, kao i opterećenje po dubini zaštitne konstrukcije usled promene vertikalnog napona. Unutar svakog inkrementa vrši se potreban broj iteracija kako bi se zadovoljili uslovi plastičnosti u tlu, odnosno odredile zone u kojima su ti uslovi ispunjeni. Uticaji usled tekućeg inkrementa se sabiraju sa do tada dostignutim naponsko deformacionim stanjem u tlu i zaštitnoj konstrukciji. Sa iskopima u inkrementima se nastavlja sve do postizanja željene dubine.

Na ovaj način sračunati su uticaji u dijafragmama u navedenim presecima u svim fazama izvođenja radova. U prvoj fazi izvodi se iskop do dubine od 4,30 m. U ovoj fazi dijafragme se ponašaju kao konzolni elementi koji su elastično uklješteni u tlo. Na zaštitnu konstrukciju sa spoljašnje strane deluje aktivan pritisak tla, a sa unutrašnje strane pasivan otpor tla sve do dubine gde su ova dva pritiska izjednačena. Na dole, otpori tla zamenjuju se sistemom elastičnih opruga. U drugoj fazi izvodi se iskop do dubine ispod donje kote tavanice -2. Pri ovome izvedene su tavanice na nivoima -1 i 0,00, pa na tim mestima se formiraju horizontalni oslonci. Kao opterećenje na zaštitnu konstrukciju nanosi se reaktivno opterećenje tla koje je postojalo na iskopanom delu, kao i razlika bočnih pritisaka tla ispod toga, pre i posle izvršenog iskopa. Dobijeni uticaji u zaštitnoj konstrukciji se sabiraju sa do tada sračunatim uticajima. Isti postupak proračuna se ponavlja i za iskop treće faze do konačne dubine, odnosno donje kote temeljne ploče. Pri ovim proračunima računato je samo sa bočnim pritiscima tla, bez pritiska vode, jer je izvođenjem iskopa između lamela dijafragmi omogućeno vertikalno dreniranje tla. Na kraju, izvršen je proračun zaštitne konstrukcije temeljne jame u konačnoj fazi kada je objekat u eksploataciji. Pri ovome računato je sa bočnim pritiscima tla u stanju mirovanja, kao i sa hidrostatičkim pritiskom vode. Na osnovu dobijenih uticaja po fazama, formirane su obvojnice uticaja u zaštitnoj konstrukciji (obodnom zidu) temeljne jame. Na osnovu ovih uticaja određena je potrebna armatura u karakterističnim presecima. Treba napomenuti da je za faze izvođenja računato sa faktorom sigurnosti 1,35, dok je za konačnu fazu računato sa faktorom sigurnosti 1,65. Predhodno opisani proračuni urađeni su u četiri karakteristična preseka po obodu jame.

Pored predhodno opisanog proračuna, urađen je i proračun zaštitne konstrukcije u karakterističnim presecima MKE korišćenjem programa PLAXIS 3D [5]. I ovde je proračun uticaja urađen prema fazama izvršenja radova. Upoređenjem dobijenih rezultata po ova dva postupka proračuna može se zaključiti da su dobijena relativno dobra slaganja rezultata.

Pored proračuna dijafragmi, izvršen je i proračun svih ostalih elemenata zaštitne konstrukcije (vezne grede iznad dijafragmi i čeličnih kosnika).

Na slici 5. prikazan je dijagram momenata savijanja u četvrtoj fazi izvođenja radova.



Slika 5 – Dijagram momenata savijanja u četvrtoj fazi izvođenja radova

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano projektovano rešenje obezbeđenja temeljne jame i susednih objekata za podzemnu garažu u Vlajkovićevoj ulici. Na osnovu izvršenih tehničkih i ekonomskih analiza, kao najpovoljnije rešenje usvojena je izrada lamela dijafragmi “samaca“ sa ugradnjom montažnih elemenata i izvođenjem zaštitnog zida između njih u dve faze. Razupiranje zaštitne konstrukcije izvodi se tavanicama samog objekta primenom ”top down” gradnje. U radu je prikazan detaljan opis izvođenja radova, prateći faze izvođenja radova. Za proračun zaštitne konstrukcije temeljne jame primenjen je jedan numerički inkrementalno-iterativni postupak proračuna podupretilih deformabilnih potpornih konstrukcija. Pored navedenog proračuna, urađen je i proračun zaštitne konstrukcije u karakterističnim preseccima primenom računarskog programa PLAXIS 3D. Može se zaključiti dobro poklapanje rezultata.

LITERATURA

- [1] Lazović M., Canić, B., Lazović M., Radovanović J.: Izgradnja podzemnog dela konstrukcije poslovnog objekta u Podgorici, Simpozijum 2012. Vrnjačka Banja, Društvo građevinskih konstruktera Srbije, Beograd, septembar 2012.
- [2] Projekat za građevinsku dozvolu i projekat za izvođenje – projekat obezbeđenja temeljne jame i susednih objekata tržnog centra ADA MALL na K.P. 10100/1; 10100/2; 10100/3; 10100/9; 10100/13; 10101/1; 10175/1 KO Čukarica, 2017.
- [3] M. Lazović, B. Canić: ZIRA CENTAR BEOGRAD top down metod izgradnje, Kongres konstruktera Srbije, Zlatibor 2008.

- [4] "Geoput" d.o.o. Beograd: Elaborat o geološko-geotehničkim uslovima izgradnje objekta garaže "Vlajkovićeve", 2017.
- [5] PLAXIS 3D Foundation Tutorial Manual version 1.5, Delft University of Tehnology & Plaxis bv, 2006, The Netherlands.