

PRIMENA KRUTIH ČELIČNIH PROFILA KOD IZGRADNJE PODZEMNIH ETAŽA

Dragan Č. Lukić¹,
Aleksandar D. Prokić²

UDK:

Režime: U gradskim sredinama, usled problema parkiranja, sve više se javlja potreba za izvođenjem većeg broja podzemnih etaža. U centru Beograda, u ulici Dimitrija Tucovića, Alboni Promist investira izgradnju stambeno - poslovnog objekta. U ovom radu, prikazan je način izgradnje podzemnog dela konstrukcije ovog objekta primenom metoda "top down". Ova metoda omogućava da se u određenom trenutku izvođenja podzemnog dela konstrukcije objekta počne sa izvođenjem nadzemnog dela konstrukcije objekta. Poseban problem pri ovakvoj izgradnji je privremeno oslanjanje armiranobetonskih međuspratnih ploča na krute čelične profile složenog poprečnog preseka, ugrađene u šipove. Proračuni ovakvih konstrukcija su složeni jer se rešavaju problemi interakcije zaštitne konstrukcije i tla.

Ključne reči: temeljna jama, "top down" sistem gradnje, kruti čelični profili, dimenzionisanje,

1. UVOD

Pri izvođenju dubokih iskopa, a u cilju obezbeđenja stabilnosti bočnih strana iskopa, javlja se potreba za izradom zaštitne konstrukcije temeljne jame. Posebno, ovo se naročito odnosi na gradske uslove u kojima je prostor oko jame ograničen i gde se u neposrednoj blizini jame nalaze susedni objekti. U zavisnosti od dubine iskopa, dimenzija temeljne jame i geotehničkih uslova tla primenjuju se različiti sistemi zaštite temeljne jame. Ako su dubine iskopa velike (više podzemnih etaža što je slučaj ovog objekta) tada se kao rešenje nameće zaštita primenom zaštitnog zida u vidu zavese od bušenih šipova ili zida od armiranobetonskih dijafragmi. Pri projektovanju ovog objekta projektant se opredelio za zaštitnu konstrukciju u vidu zavese od bušenih šipova $\Phi 40$ mm. Pri tome, zaštitne konstrukcija treba da zadovolji sledeće uslove:

- da sa dovoljnim koeficijentom sigurnosti može da prihvati bočne pritiske tla i vode;
- da su promene naponsko deformacijskih stanja u tlu oko temeljne jame za vreme izvođenja radova relativno mala i da usled njih ne dolazi do pomeranja koja mogu izazvati oštećenja na susednim objektima i instalacijama oko jame.

¹ Dr. Dragan Č. Lukić, prof. dipl. inž. grad., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024/554-300, e-mail: drlukic.lukic@gmail.com

² Dr. Aleksandar D. Prokić, prof. dipl. inž. grad., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024/554-300, e-mail: a.prokic@EUnet.rs

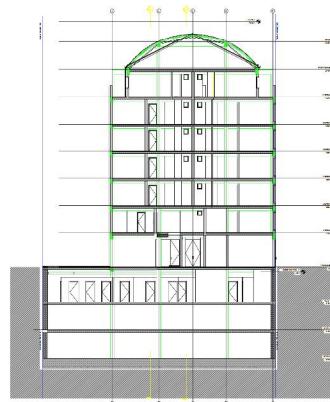
- da je koštanje izvođenja ovakvih konstrukcija ekonomski prihvatljivo, jer se najčešće radi o privremenim konstrukcijama.
- da postupci izvođenja ovakvih konstrukcija nisu složeni.

Za izgradnju ovog objekta, dubine iskopa su veće od 8 metara, i konstrukcije kao konzolni elementi koji su elastično uklješteni u tlo ne mogu da prihvate bočne pritiske tla sa dovoljnim faktorom sigurnosti. Pored toga, sastav tla je takav da pomeranja na vrhu zaštitne konstrukcije postaju velika i prete da dovedu do pojave oštećenja na susednim objektima. Zbog toga je predviđeno da se vrši razupiranje obodnog zida zaštitne konstrukcije temeljne Jame u više nivoa, u zoni međuspratnih konstrukcija, koristeći za to same konstrukcije. Ovakvi radovi su složeni, relativno skupi i dugo traju pa se zbog toga projektant opredelio da se razupiranje Jame izvodi samom konstrukcijom podzemnog dela objekta, odnosno da se istovremeno izvode radovi na zaštiti temeljne Jame i podzemnom delu konstrukcije objekta. Imajući u vidu veličinu objekta tj. površinu podzemnih etaža, projektant se opredelio da ubrza diamiku izvođenja radova na izgradnji celokupne konstrukcije objekta. Jedan od načina izvođenja ovakvih radova je takozvana "top down" gradnja koja se u svetu često primenjuje, dok je kod nas u početnoj fazi. Kod ovakvog načina izvođenja radova omogućuje se paralelno građenje podzemnog i nadzemnog dela objekta.

Proračuni ovakvih konstrukcija su složeni jer se radi o rešavanju problema interakcije konstrukcije i tla. Pored toga ovakvim proračunom treba obuhvatiti promene napona i deformacija u tlu i zaštitnoj konstrukciji prema fazama izvršenja radova.

2. KONSTRUKCIJA OBJEKTA

Stambeno poslovni objekat je spratnosti $P_0+P+6+P_k$. Međuspratnu konstrukciju objekta čine pune armirano betonske ploče sledećih debljina: $d=20\text{cm}$ nadzemnih etaža, $d=22\text{cm}$ podzemnih etaža i debljine donje ploče $d=80\text{ cm}$ (sa kontrakapitelima ispod stubova) koje se oslanjaju na zidove jezagra, projektovana armiranobetonska platna i stubove. Rastojanja stubova su do 7.5 m u oba pravca. Pojedini vertikalni stubovi podzemnih etaža spregnuti sa čeličnim profilima.

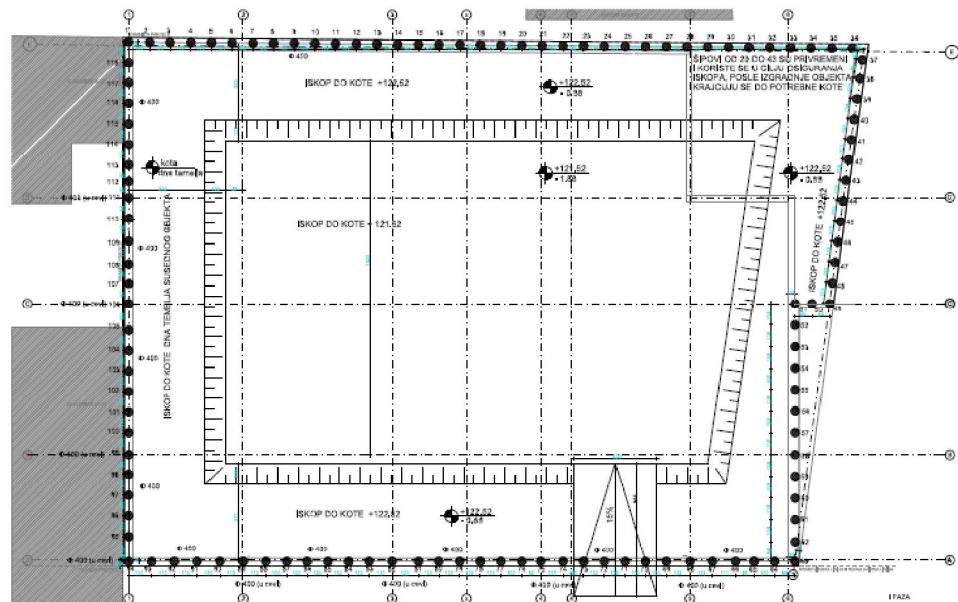


Slika 1. Vertikalni presek objekta

Čelični profili su u radnoj fazi u toku izgradnje objekta korišćeni za rad prema "top down" metodi. Takođe, čelični profili su korišćeni za nošenje armiranobetonskih ploča iznad prve, druge i treće podzemne etaže u fazi osiguranja iskopa. Proračun konstrukcije sproveden je programskim paketom TOWER kao jedinstvena prostorna konstrukcija, a u skladu sa važećim JUS standardima. U proračun su uključeni samo obodni šipovi, dok je centralni deo temeljen na ploči. Na slici 1 je prikazan vertikalni presek kroz objekat.

3. PROJEKTOVANO REŠENJE ZAŠTITE ISKOPOA

Imajući u vidu navedene granične uslove projektom je dato rešenje sa izradom obodnih šipova Ø400mm (prikazano na slici 2). Jedan broj obodnih šipova Ø400mm na mestima stubova dat je u čeličnoj cevi. Šipovi od 29 do 43 su privremeni i u funkciji su zaštite iskopa i tehnologije izvođenja, a posle završetka podzemnog dela konstrukcije se krajcuju do potrebne kote i taj deo se zatrپava zemljom iz iskopa. Pored navedene ugradnje obodnih šipova predviđena je i izgradnja šipova u unutrašnjem delu objekta za potrebe paralelnog rada podzemnih i nadzemnih etaža, razupiranja, a posebno iskopa dubljeg dela objekta. Unutrašnji šipovi prečnika Ø 1200mm i Ø 900mm su predviđeni sa udvojenim i jednostrukim nosačima kao stalni, a šipovi prečnika Ø 900mm i Ø 600mm sa jednostrukim nosačima kao pomoćni u toku izgradnje objekta. Po betoniranju donje ploče i zidova dubljeg dela objekta pomoćni nosači bi se uklonili. Po obodu objekta između šipova data su dva alternativna rešenja: sa armiranim platnom – keceljom i bobičastom folijom. U autoliftu predviđena je ugradnja dva armiranobetonska stuba. Radovi u dubljim etažama će se izvoditi u podzemnoj vodi tako da se mora obezbediti kontrolisano crpljenje vode tokom izvođenja radova.



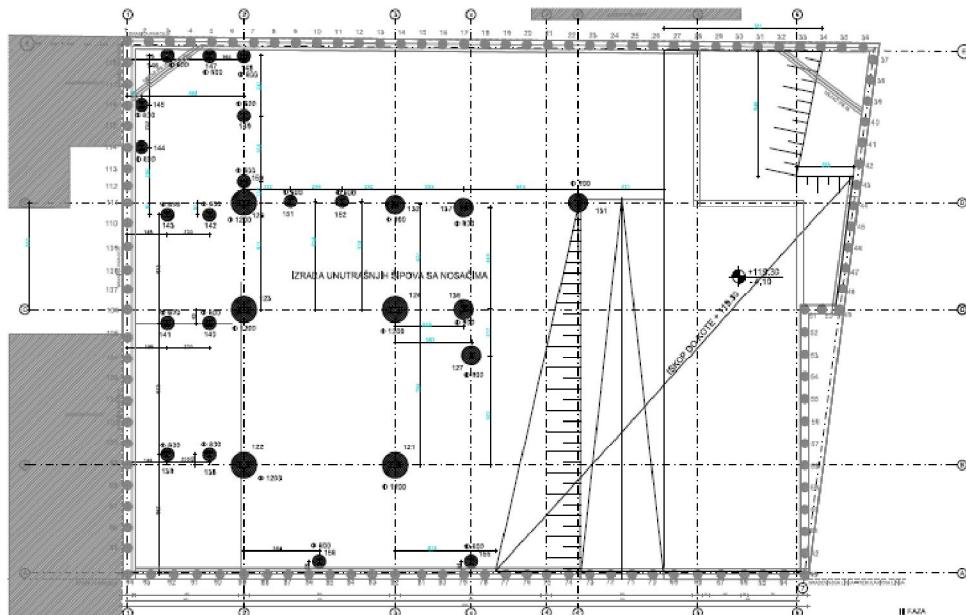
Slika 2. Raspored obodnih šipova

Potrebno je ovde posebno naglasiti da se osiguranje mora raditi paralelno sa izgradnjom podzemnog dela objekta simultano kako je prikazano u projektu. Redosled izvođenja radova i faze se moraju poštovati jer su u funkciji stabilnosti objekta i sigurnosti radnika. U toku izgradnje podzemnog dela objekta, paralelno se moraju izvoditi radovi i na hidroizolaciji, imajući u vidu da se radi o specijalnom vidu hidroizolacije. Međutim, zbog velike dubine i mogućnosti podizanja nivoa podzemne vode, pored hidroizolacije treba ostaviti u separatoru otvore za kontrolisano odvođenje vode iz zaleda objekta. Izgradnja nadzemnog dela objekta je data u funkciji napredovanja radova podzemnog dela, a pri tom da se ne ugrozi stabilnost sa jedne strane, kao i da se sa druge strane ne predimenzionišu pomoćni konstruktivni elementi. Za objekat i delove objekta mora u svakom trenutku biti obezbeđena stabilnost. Imajući to u vidu, dato je rešenje da se do betoniranja donje ploče može uraditi konstrukcija završno sa kotom 130.05 (ploča iznad 1 sprata), a onda sukcesivno dodavati etaže prema tehnologiji izvođenja.

4. REDOSLED IZVOĐENJA RADOVA – TEHNOLOGIJA

Reredosled izvođenja radova osiguranja temeljne jame sa suksesivnom izgradnjom konstrukcije objekta paralelno podzemnih i nadzemnih etaža prikazano je po fazama.

I faza: Široki iskop do kote 121.52 u centralnom delu sa ostavljanjem rampe za silaz. Iskopani materijal bi se odmah odvozio na deponiju. Iskop do kote dna temelja susednog objekta u osi 1. Iskop do kote vrha šipa 122.62 po obodu. Izrada obodnih šipova, slika 2.



Slika 3. Izrada unutrašnjih šipova sa nosačima

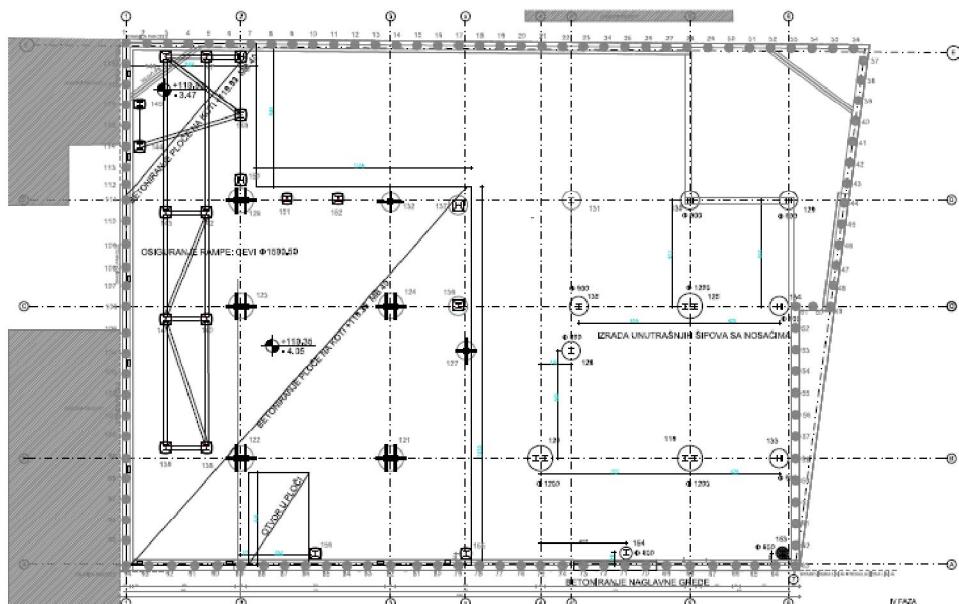
II faza: Izrada naglavne grede u osama 1,A, E, 6 i 7 (sa razupiranjem u uglovima ose 1 i E i osa 7 i E. Iskop do kote 119.30 za izradu ploče na koti 119.35. Između šipova se radi admiriranobetonko platno debljine 10 cm sa ankerovanjem u šipove ili bobičasta folija.

III faza : Izrada unutrašnjih šipova od ose 1 do ose 4' sa nosačima, slika 3. Nastavak započetog iskopa do kote 119.30. Između šipova se radi armiranobetonko platno debljine 10 cm sa ankerovanjem u šipove ili bobičasta folija. Betoniranje naglavne grede u osi 7 i u osi E.

IV faza: Pripreme za betoniranje ploča i greda na koti 119.93 i na koti 119.35. Uvaljati posteljicu na $M_s = 20000 \text{ kN/m}^2$, uraditi sloj betona 5 cm, MB 10, staviti foliju iznad betona. Ugradnja ankera u obodne šipove i zavarivanje čeličnih profila na stalne čelične stubove u cilju srečavanja probijanja ploče, kao i druge pripreme za betoniranje. Zavarivanje cevi $\Phi 1590,50$ (osiguranje rampe) za pomoćne nosače.

Betoniranje ploče i greda na koti 119.93 i na koti 119.35, MB 40 (samo ova ploča iz tehnoloških razloga). Priprema hidroizolacije po obodnom delu. Ostavljanje otvora u ploči za betoniranje obodnih zidova, i ostavljanje drugih otvora. Izrada dela naglavne grede u osi A. Izrada preostalih unutrašnjih šipova sa nosačima, slika 4 i 5.

V faza: Ugradnja ankera u obodne šipove i šalovanje rampe. Betoniranje rampe MB 40 (iz tehnoloških razloga) i zida u osi 2. i osi 1 do rampe sa hidrizolacijom obodnog zida. Pripreme za betoniranje ploče i greda na koti 119.35. Uvaljati posteljicu na $M_s = 20000 \text{ kN/m}^2$, uraditi sloj betona 5 cm, MB 10, staviti foliju iznad betona. Ugradnja ankera u obodne šipove i zavarivanje čeličnih profila na stalne čelične stubove u cilju srečavanja probijanja ploče, kao i druge pripreme za betoniranje.



Slika 4. Zavarivanje čeličnih profila (sprečavanje probaja)

Betoniranje ploče i greda na koti 119.35, MB 40 (samo ova ploča iz tehnoloških razloga). Priprema hidroizolacije po obodnom delu. Ostavljanje otvora u ploči za betoniranje obodnih zidova, i ostavljanje drugih otvora.

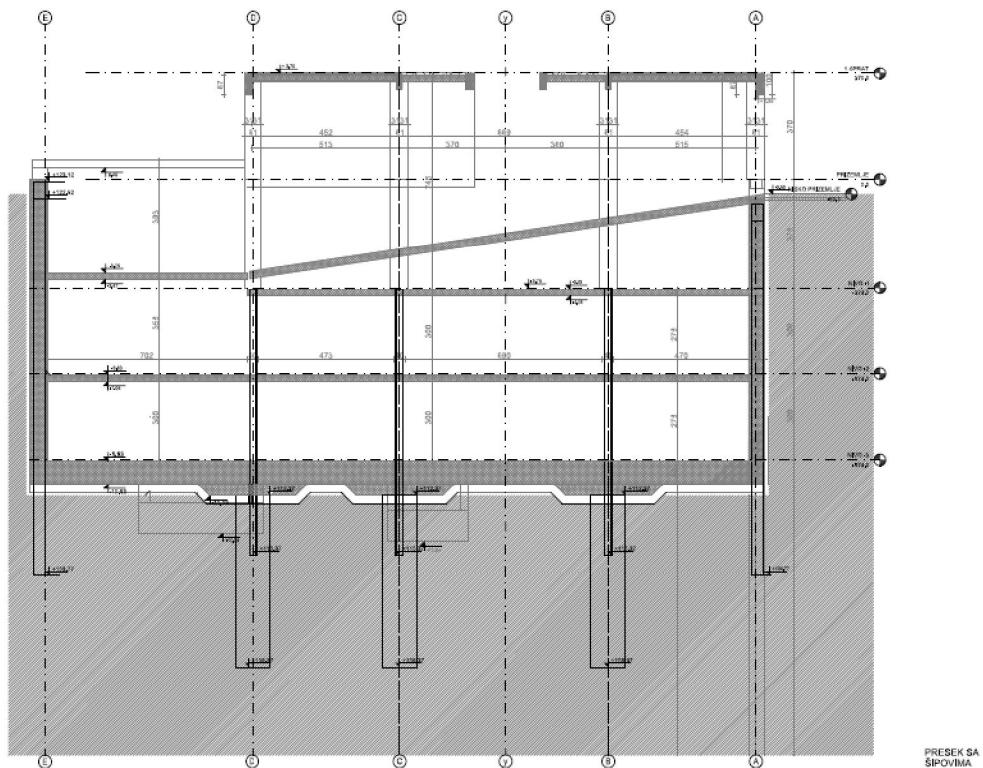
Tehnološka pauza za kretanje po rampi i pločama na kotama 119.93 i 119.35 15 dana
Za vreme tehnološke pauze raditi sledeće radove:

Početak rada na konstrukciji iznad kote 119.57.

Izrada zida u osi 1 do kote I sprata (ovo je prioritet). Izrada obodnih zidova prve podzemne etaže, sa hidroizolacijom spoja obodnih zidova i ploča i obodnih zidova.

VI faza: Iskop rampe do kote 117.66 i centralnog dela do kote 117.00. Popločavanje rampe (ukoliko bude potrebno). Izrada obodnih zidova prve podzemne etaže, sa hidroizolacijom spoja obodnih zidova i ploča i obodnih zidova.

VII faza : Iskop druge podzemne etaže do kote 116.30 sa izvozom materijala i odvozom na deponiju. Uraditi prioritetno iskop obodnog dela u cilju betoniranja dela ploče na koti 116.35. Pripreme za betoniranje ploče na koti 116.30. Uvaljati posteljicu na $Ms = 20000 \text{ kN/m}^2$, uraditi sloj betona 5 cm, MB 10, staviti foliju iznad betona. Ugradnja ankera u obodne šipove i zavarivanje čeličnih profila na stalne i pomoćne čelične stubove u cilju srečavanja probijanja ploče, kao i druge pripreme za betoniranje. Izrada stubova prve podzemne etaže MB 40.



Slika 5. Prikaz čeličnih nosača u vertikalnom presekupodzemnih etaža

VIII faza: Betoniranje dela ploča na koti 116.35, MB 30, kao razuporc obodnim šipovima. Ostavljanje otvora u ploči za betoniranje obodnih zidova, i ostavljanje drugih otvora. Priprema hidroizolacije po obodnom delu.

IX faza: Iskop za lift sa podupiranjem do kote 110.72. Iskop kapitela ispod glavnih stubova prečnika 3.00 m. Iskop do kote 112.47 preostalog dela ispod glavnog objekta za izradu donje ploče. Iskop organizovati na taj način da se obezbedi da iskop ispod ploče

na koti 116.35 ne bude pre roka od 15 dana od dana betoniranja. Izrada tampon sloja $d = 30$ cm sa pripremom podtla. Betoniranje donje ploče i zidova lifta. Betoniranje kapitela ispod glavnih stubova. Priprema hidroizolacije. Crpljenje podzemne vode.

X faza: Betoniranje donje ploče ispod glavnog objekta na koti 112.37. Priprema hidroizolacije po obodnom delu donje ploče.

Dozvoljava se nastavak rada na sledećoj etaži nadzemnog objekta.

XI faza: Izrada armiranobetonskih stubova treće podzemne etaže MB40. Betoniranje obodnih zidova treće podzemne etaže samougradljivim betonom. Priprema hidroizolacije po obodnom delu. Priprema i betoniranje preostalog dela ploče na koti 116.35. Zatrpanjanje zemljom dela van gabarita objekta. Paralelno iskop sa razupiranjem aneksnog dela objekta. Ugradnja tampon sloja sa pripremom podloge. Crpljenje podzemne vode.

Dozvoljava se nastavak rada na sledećoj etaži nadzemnog objekta.

XII faza: Izrada armiranobetonskih stubova druge podzemne etaže samougradljivim betonom MB40. Betoniranje obodnih zidova druge podzemne etaže samougradljivim betonom. Zatrpanjanje zemljom dela van gabarita objekta.

Dozvoljava se nastavak rada na komplet konstrukciji nadzemnog objekta.

Paralelno betoniranje donje ploče autolifta, zidova i vertikalnih greda. Betoniranje donje ploče anksa. Priprema hidroizolacije po obodnom delu donje ploče.

XIII faza: Betoniranje obodnih zidova, stubova i zidova autolifta III podzemne etaže anksa. Betoniranje ploče na koti 116.35. Priprema hidroizolacije po obodnom delu.

XIV faza: Betoniranje obodnih zidova, stubova i zidova II podzemne etaže anksa. Betoniranje ploče na koti 119.35 i 119.93. Priprema hidroizolacije po obodnom delu.

XV faza: Betoniranje obodnih zidova, stubova i platana I podzemne etaže anksa. Betoniranje ploče na koti 123.12 i 123.80. Priprema hidroizolacije po obodnom delu i iznad gornje ploče. Zatrpanjanje zemljom dela van gabarita objekta.

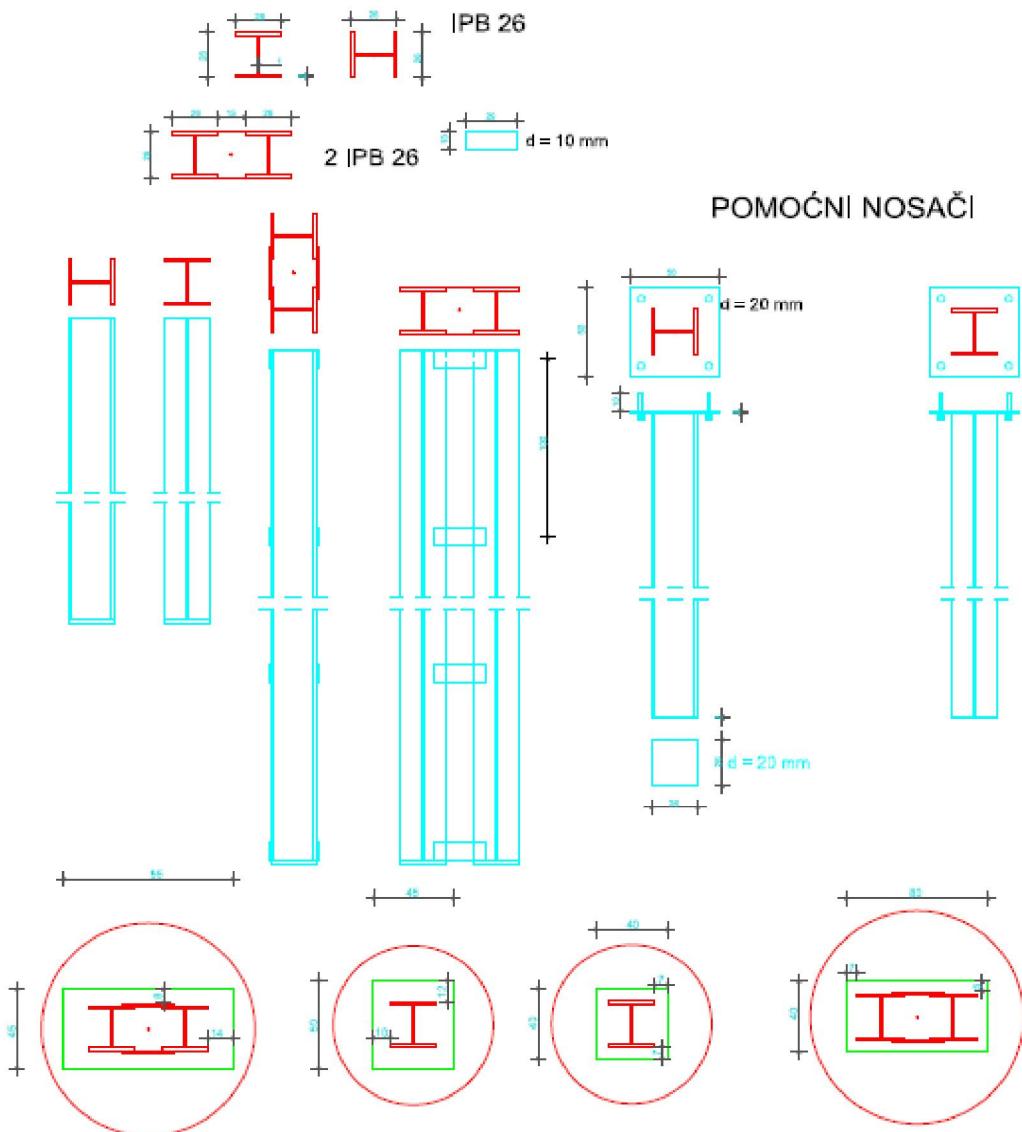
5. PRIMENA KRUTIH ČELIČNIH PROFILA

Za izgradnju podzemnog dela ovog objekta projektovani su IPB 260 čelični nosači sa jednim ili dva nosača. Na sledećoj slici 6 prikazani su tipovi primenjenih nosača u stubovima i njihovi poprečni preseci. Prikazani su stalni nosači, koji ostaju spregnuti u stubovima, i pomoći nosači koji se uklanaju.

Za statičke uticaje dobijene na osnovu statičkog proračuna, kao i za uslove izvijanja izvršena je provera nosača primenom progamskog paketa TOWER. Čelični nosači, stalni i privremeni, bez betonskog dela kod stalnih stubova, nisu računati na uticaj seizmike u vremenskom periodu izgradnje objekta. U definitivnom proračunu konstrukcije uzeto je u obzir seizmičko opterećenje. Potrebno je, u nekoj budućoj analizi upotrebe čeličnih nosača za izgradnju podzemnog dela objekta, modelirati konstrukciju u toku izvođenja kao i uticaj zemljotresa (u toku izvođenja radova). Ova analiza je neophodna u seizmički aktivnim područjima, gde može doći do zemljotresa i u toku izgradnje objekta, posebno ukoliko ta izgradnja traje duže vreme.

Poseban problem pri korišćenju čeličnih nosača za ovaku vrstu izgradnje predstavlja osiguranje probijanja ploče kroz nosač. U svetu postoje istraživanja koja su pokazala da se mogu koristiti zavareni nosači u samojo ploči koji omogućuju osiguranje od probijanja.

Međutim, to zahteva veće debljine armiranobetonskih međuspratnih konstrukcija, a posebno što nije ozakonjeno u domaćoj regulativi. Pored toga, povećanje debljine međuspratnih konstrukcija dodatno finansijski opterećuje objekat.



Slika 6. Tipovi nosača u stubovima

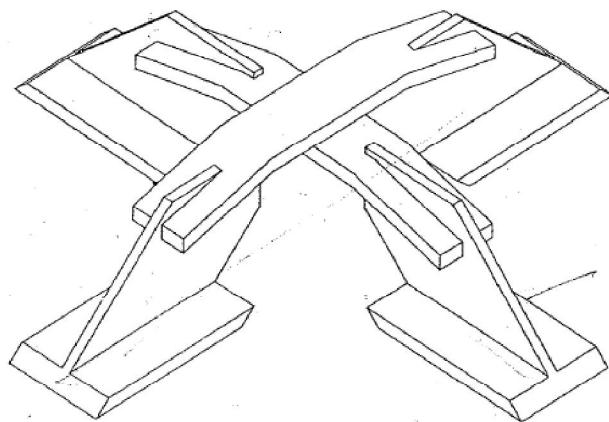
Pored ovog rešenja, u inostranoj regulativi postoje i drugi načini osiguranja u samoj ploči. Jedno od takvih osiguranja prikazano je na slici 7.

3.1

Innenstütze

Typ I-4

Der Tobler WALM® Typ I-4 ist die gängige Lösung über Innenstützen.



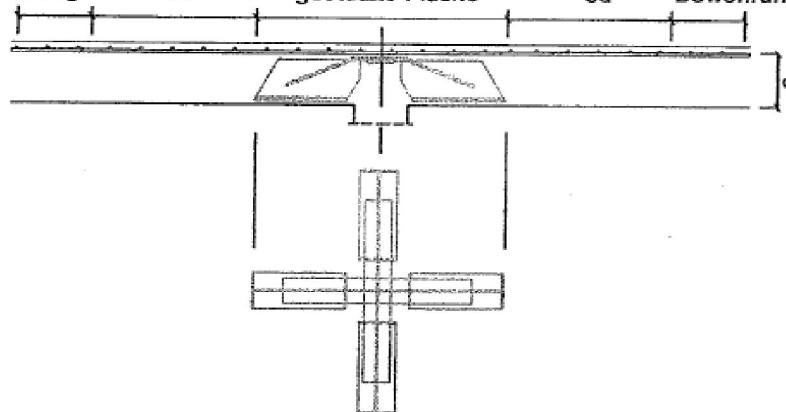
Verankerung der
Bewehrung

3d

gestützte Fläche

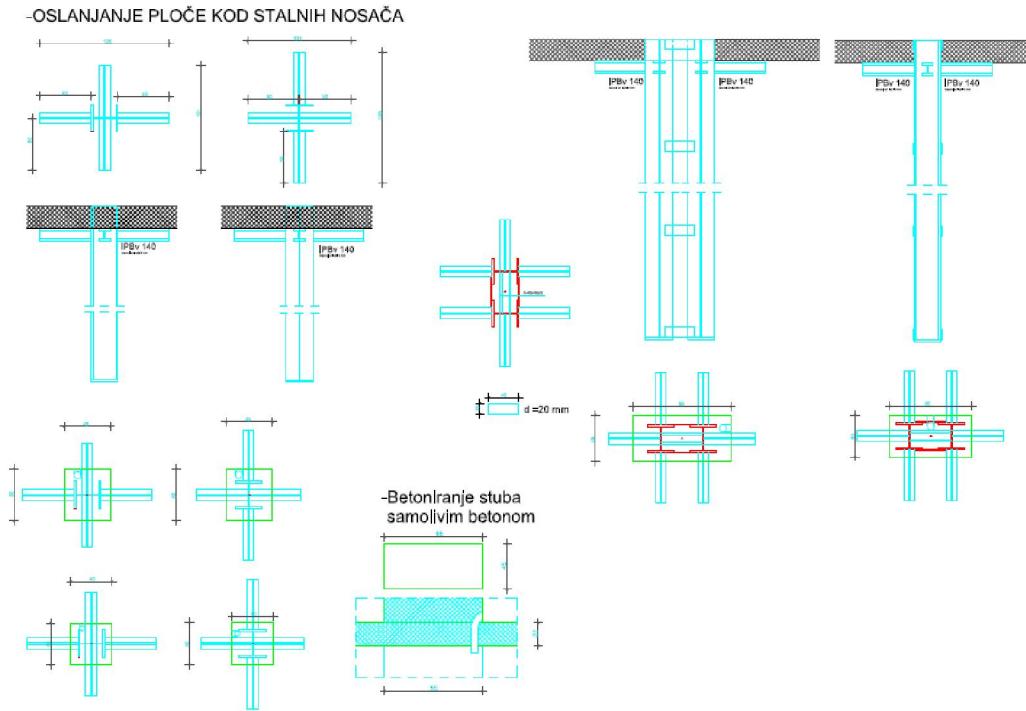
3d

Verankerung der
Bewehrung



Slika 7. Osiguranje od probijanja u ploči

Pri projektovanju ovog objekta projektant se opredelio da se osiguranje od probijanja obezbedi zavarivanjem IPB_v 140 čeličnih nosača za glavni nosač. Detalji osiguranja prikazani su na slici 8.



Slika 8. Detalji osiguranja i oslanjanje ploča kod stalnih nosača

LITERATURA

- [1] ACI 318-05 Code and Commentary
- [2] Glavni projekat osiguranja temeljne Jame objekta u ulici D. Tucovića 77 u Beogradu, **2010**
- [3] Yurkevich P.B., Development top-down method of underground construction or hitech in Russian; **2002**
- [4] Liang X., Montesions G.J. Seismic Behavior of Reinforced Concrete Column-Steel Beam Subassemblies and Frame Systems, Journal of structural engineering ASCE **2004**
- [5] T-WALM Dokumentation Stützenkopfverstärkung Tobler WALM, (january 2005)
- [6] Bonić Z., Davidović N., Prolović V., Lukić D., Vacev T., Experimental Investigation of Punching Shear Failure of Column Footings, Cement & Concrete Composites 33, **2011**, (in press)

- [7] Bešević M., Truić T., Landović A., Kukaras D., Analiza nosivosti spregnutih ab okruglih stubova sa krutim čeličnim pofilima, Zbornik radova Građevinskog fakulteta broj 19, **2010**
- [8] Bešević M., Vlajić Lj., Adaptacija, sanacija i dogradnja objekta u Nemanjinom ulici br. 9 u Beogradu, 13 KONGRES DGKS, **2010**,
- [9] EN 1994-1-1: **2004** Evrokod 4 (Aneks A i B), EN 1991-1-6, EN 13670
- [10] Bešević M., Landović A., Eksperimentalno - teorijska analiza parametara od uticaja na nosivost pritisnutih HOP štapova od nerđajućeg čelika. Zbornik Građevinskog fakulteta br. 18, **2010**,
- [11] Bešević M., Nosivost centrično pritisnutih hladno oblikovanih štapova od visokovrednih i nerđajućih čelika, IZGRADNJA 64 br. 7-8, **2010**
- [12] Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za montažu čeličnih konstrukcija, Sl. list SFRJ 29/70;
- [13] Zavarene noseće čelične konstrukcije; SRPS C.H3.010 i SRPS C.H3.0H (odgovara DIN 1913)

APPLICATION OF SOLID STEEL PROFILES IN CONSTRUCTION OF GROUND FLOOR

Summary: In urban sites, due to parking problems, there is a need for constructing numerous number of underground floors. In the center of Belgrade, Timitrija Tucovica street, Alboni Promist has invested in the construction of residential and business. In this paper, shows how the construction of the underground part of the construction of this object using the method "top down". This method allows you to perform at a certain point of the underground facility construction begins with the performance overhead of the building envelope. A particular problem with such a construction is a temporary suspension slab reinforced concrete slab on a rigid steel cross-sectional profile of a complex, embedded in the piles. The calculations are complex structures such as to solve the problems of interaction design and soil protection.

Key words: excavation pit, "top down" method, solid steel sections, calculation,

Napomena: "Ovaj rad finansiralo je Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, Nemanjina 22-26 (Projekat TR 36043)"