

primljen: 28.07.2023.
korigovan: 09.10.2023.
prihvaćen: 11.10.2023.

pregledni rad

UDK : 624.04:628.16(667)

SPECIFIČNOSTI PROJEKTOVANJA KONSTRUKCIJSKIH SISTEMA OBJEKATA U SKLOPU POSTROJENJA ZA PIJAČU VODU U GANI, AFRIKA

Darko Živković¹, Predrag Blagojević², Miljan Milenković³, Aleksandar Šutanovac⁴,

Rezime: U radu se navode specifičnosti konstrukcijskih rešenja objekata u sklopu postrojenja za pijaču vodu koje se nalazi u Gani – Afrika, čiji je investitor Republika Gana. Kompleks objekata za pijaču vodu se nalazi na obali reke Volta u blizini mesta Agordome. Tokom izrade projektne dokumentacije, kroz saradnju su primenjena iskustva i najbolje prakse za date klimatske i lokacijske uslove više kompanija iz Francuske, Italije, Belgije i Srbije. Specifičnosti u projektovanju konstrukcija su funkcija objekata, klimatski uslovi, blizina reke i nivo podzemne vode. Razmatraju se sva specifična dejstva i uticaji u toku građenja i eksploatacije objekata. Prikazuje se tehnologija i faze izvođenja radova. Ukazuje se na kritične faze građenja, analizira fazna gradnja i njeni uticaji na konstrukcijski sistem. Predmet ovog rada su i specifični detalji koji su bili prilagođeni načinu izvođenja objekata i tehnologiji lokalnih izvođača radova. Predloženim rešenjem je izvršena značajna ušteta i jednostavnije izvođenje radova.

Gljučne reči: armirani beton, konstrukcija, fundiranje

SPECIFIC ASPECTS OF DESIGNING STRUCTURES FOR A DRINKING WATER TREATMENT FACILITY IN GHANA, AFRICA

Abstract: This paper outlines the specific design solutions for structures within a water treatment facility located in Ghana – Africa, with the Republic of Ghana as the investor. The drinking water treatment facility complex is situated on the banks of the Volta River near the town of Agordome. During the preparation of the project documentation, collaboration incorporated the experiences and best practices for the given climatic and local conditions from several companies in France, Italy, Belgium, and Serbia. Structural design challenges and the resulting solutions are due to the function of the facilities, climate conditions, proximity to the river, and groundwater levels. The paper presents all load types present during construction and lifetime of the facilities that are considered in the structural design, as well as the various construction phases and the employed construction technology. Critical construction phases are highlighted, phase construction is analyzed, and its impacts on the structural system are examined. This paper also addresses specific details tailored to the local contractors' construction technology. The proposed solution has achieved significant savings and simplified execution of the construction work.

Key words: steel reinforced concrete , structure, funding

¹ dr asistent sa doktoratom, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, darko.zivkovic@gaf.ni.ac.rs

² dr docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, predrag.blagojevic@gaf.ni.ac.rs

³ dipl. građ. ing., „SartE Engineer Consultancy“, Beograd, miljan.milenkovic@gmail.com

⁴ asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, aleksandar.sutanovac@gaf.ni.ac.rs

1 UVOD

Predmetni Projekat obuhvata objekte u okviru fabrike za proizvodnju pijaće vode u Gani – Afrika. Kompleks objekata za pijaću vodu se nalazi na obali reke Volta u blizini mesta Agordome (slika 1). U izradi projektne dokumentacije su učestvovala kompanije iz Francuske, Italije, Belgije i Srbije.

Na slici 2 je prikazana lokacija i kompleks objekata. GPS koordinate lokacije su 5.951232N 0625790E

Autori ovog rada su projektovani na nivou glavnog projekta (PGD) i izvođačkog projekta (PZI) tri objekta koji su predmet ovog rada i vršili tehničku kontrolu i konsultantske usluge za ostale objekte u okviru kompleksa.

Zajedničko za većinu objekata je da su fundirani i građeni ispod nivoa podzemne vode. Ovo je opredelilo i tehnologije građenja što je i predmet ovog rada. Projekti konstrukcija svih objekata su zasnovani na EC standardima i relevantnim lokalnim tehničkim standardima, zakonima i pravilnicima.



Slika 1 – Lokacija postrojenja u Gani – Afrika (Izvor: Google Maps)



Slika 2 – Prikaz kompleksa postojećih objekata (Izvor: Google Maps)

1.1 PODLOGE ZA IZRADU ELABORATA

Korišćena je sledeća tehnička dokumentacija :

- Katastarsko-topografski plan;
- Tehnološki projekat;
- Elaborat o geotehničkim i geomehaničkim karakteristikama tla [1].

1.1.1 Reljef i klima

Lokacija se nalazi u oblasti vlažne poluekvatorijalne i suve ekvatorijalne klimatske zone. Severni deo Distrihta leži u vlažnoj poluekvatorijalnoj zoni dok je južni deo suva ekvatorijalna klimatska zona. Na klimu okruga utiču i jugozapadni monsunski vetrovi dva puta godišnje, što dovodi do režima dvostrukog maksimuma padavina. Kišna sezona je od aprila do jula i septembra do novembra. Prosečna godišnja količina padavina se kreće između 1.168mm i 2.103mm.

1.1.2 Karakteristike tla

Geotehnička snimanja su izvršena u avgustu 2021. godine od strane italijanske kompanije LESICO INFRASTRUCTURE S.R.L iz Milana.

U izveštaju su prikazani rezultati istraživanja tla i laboratorijska ispitivanja.

Materijal donjeg sloja se sastoji od peščara, škriljaca i fosilnih krečnjaka.

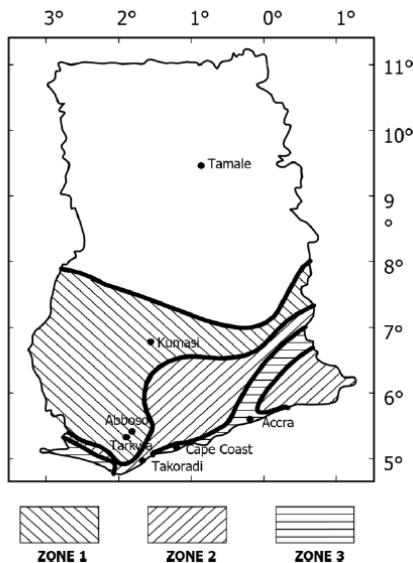
Teren je ravan na približnoj koti od 15 mNV. Karakteristike terena u području gabarita objekta su prikazane u inženjerskogeološkim presecima terena.

1.1.3 Hidrogeološke karakteristike terena

S obzirom da je lokacija celog postrojenja u „hidrološkom režimu“ reke Volte preduzeto je praćenje režima podzemnih voda naročito u sušnim i kišnim delovima sezone.

1.1.4 Seizmičke karakteristike područja

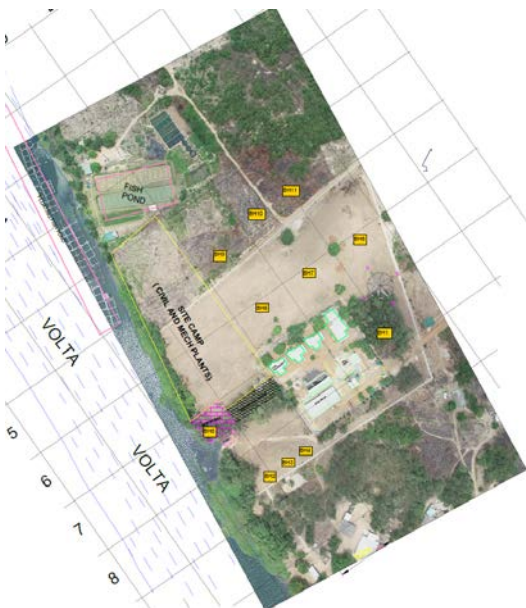
Gana se nalazi u blizini poznatih svetskih aktivnih seizmičkih zona. Iskusiła je značajne zemljotrese, posebno u Akri i okolini. Najviše je ugroženo severoistočno priobalno područje. Oblast u kome se gradi spada u zonu 2 sa ubrzanjem tla od 0.25g. Vrednosti su sledeće: prva zona 0.15g, druga zona 0.25g, treća zona 0.35g (slika 3).



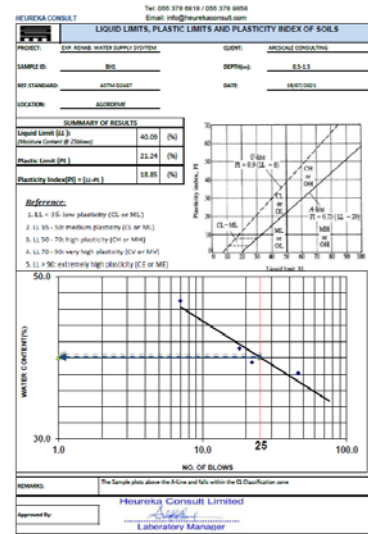
Slika 3 – Karta seizmičkog hazarda Gane po parametru ubrzanja [1]



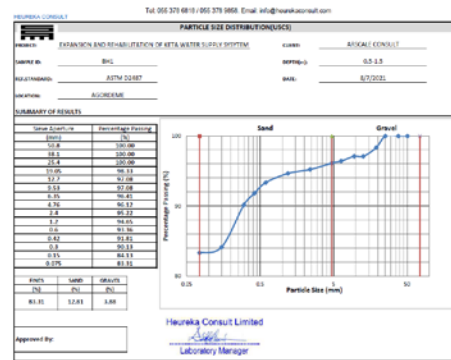
Slika 4 – Terenski istražni radovi [1]



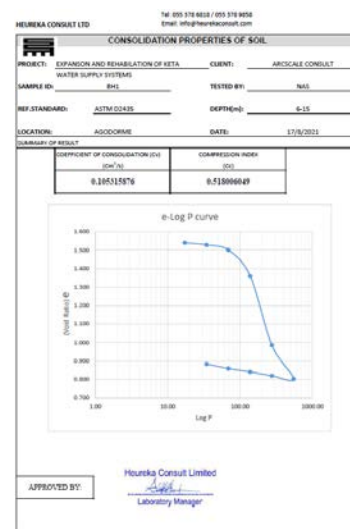
Slika 5 – Raspored istražnih bušotina [1]



Slika 6 – Izvod iz elaborata [1]: granica tečenja, granica plastičnosti, indeks plastičnosti zemljišta na mestu istražne bušotine BH1



Slika 7 – Izvod iz elaborata [1]: distribucija veličina čestica na mestu istražne bušotine BH1



Slika 8 – Izvod iz elaborata [1]: konsolidacijska svojstva tla na mestu istražne bušotine BH1

2 OPIS KONSTRUKCIJSKIH REŠENJA

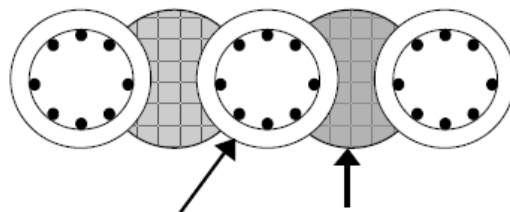
Konstruktivni sistemi projektovanih objekata su prilagođeni tehnološkom procesu eksploatacije i mogućim načinima izvođenja u skladu sa projektom zadatkom koji je bio mnogo strožiji od realnih uslova na lokaciji. Zahtev je bio da se pored svih osnovnih, dopunskih i naročitih dejstava kao što su: skupljanje i tečenje betona, temperaturna razlika i temperaturna promena, faze građenja, izvrši analiza uticaja na objekte u slučaju da budu celi potopljeni vodom zbog blizine reke.

U proračunskim modelima objekti su tretirani kao prostorni sistemi sa površinskim i linijskim elementima kruto ili zglobno povezanim između sebe. Uticaji u poprečnim preseccima su dobijeni simulacijom opterećenja u skladu sa trenutno važećom regulativom za ovu vrstu objekata i lokaciju na kojoj se objekat nalazi. U toku projektovanja su ispoštovani svi zahtevi iz trenutno važeće regulative za ovu vrstu objekata. Za armiranje svih konstruktivskih elemenata je usvojen čelik B500B i beton klase C35/45. Proračun temeljnih konstrukcija je urađen simulacijom tla kao elastične podloge preko modula reakcije tla za vertikalni pravac a u skladu sa elaboratom o geotehničkim uslovima temeljenja koji je sastavni deo projektne dokumentacije. Objekti koji su zatrpani sračunati su i na vertikalno dejstvo nasipa i dejstvo vozila. Detaljno su analizirana dejstva od uzgona podzemne vode, temperature vazduha, temperature tečnosti u objektima tokom eksploatacije. Hidrodinamički pritisak tečnosti na zidove i dno rezervoara (impulsivni i konvektivni) je sračunat u skladu sa tehničkim normativima.

Proračunima su analizirana tri moguća tehnološka procesa prilikom izvođenja radova koji su prilagođeni specifičnim uslovima lokacije. Analizirano je izvođenje tehnologijom „pile walls“, temeljenje na bunarima i tehnologijom Larsen talpama.

Tehnološki postupak proizvodnje bušenih zasečenih šipova („pile walls“) se deli na primarne i sekundarne bušotine. Najpre se izvode primarni šipovi - bez armature, a zatim sekundarni-ojačani armaturnim koševima. Bušotina za sekundarni šip delimično zaseca beton primarnih šipova. Vremenski razmak za zasecanje primarnih šipova odabira se i tačnije određuje na osnovu iskustva, nakon zasecanja prvih primarnih šipova. Pretpostavlja se razmak od 1 do maksimalno 3 dana. Pre početka bušenja moraju biti izvedeni uvodni kanali koji tačno definišu poziciju tačaka bušenja u nivou terena. Primarni šipovi su betonirani do nivoa glave uvodnih kanala tako da prilikom sekundarne bušotine bude obložna cev

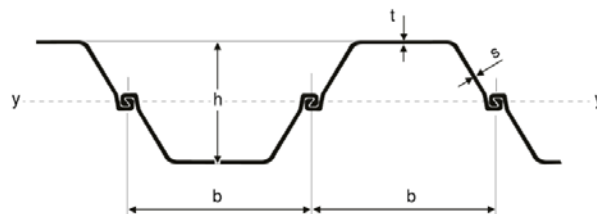
usađena i vođena po celoj dužini u mestu dodira sa primarnim šipovima. Tako se osiguravaju uslovi za ispravno zasecanje primarnih šipova uz poštovanje propisane geometrije.



Slika 9 – Položaj primarnih i sekundarnih šipova (tehnologija „pile walls“). Primarni šipovi su bez armature, sekundarni su sa armaturom

Temeljenje na bunarima je opravdano u relativno kohezivnim materijalima. Izrada bunara zavisi od vrste materijala od kojeg se radi, lokaciji i dubini na koju se bunar spušta, mestu izrade i načinu eventualnog transporta, ili metodi spuštanja. Kada se bunar spusti do projektovane kote započinje ispunjavanje dna bunara da bi se dobio masivni temelj za konstrukciju i vodonepropusni čep. Nakon očvršćavanja podvodnog betona ispumpa se voda iz bunara i radi temeljna ploča.

Metoda sa Larsen talpama predstavlja savremeno rešenje u ovoj oblasti. Sastoji se od većeg broja talpi koje se međusobno utiskuju i povezuju u zemlji. Pobijanje larsen-profila vrši se vibracionom tehnikom. Uzduž svake pregrade postavljene su sa jedne i druge strane simetrične kuke-žlebovi koje se u toku pobijanja u zemlju uzdužno uklapaju i stvaraju spoj sa potpunim zaptivanjem. Larsen talpe formiraju zaštitu sa potpunim zaptivanjem od prodora tečnih materijala (slika 10).

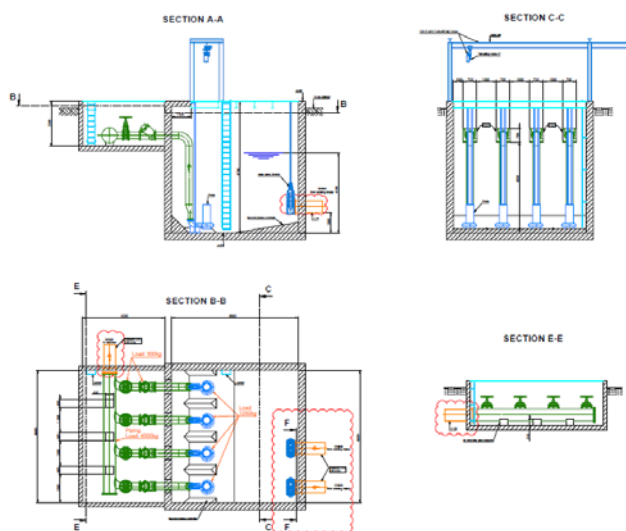


Slika 10 – Larsen talpe

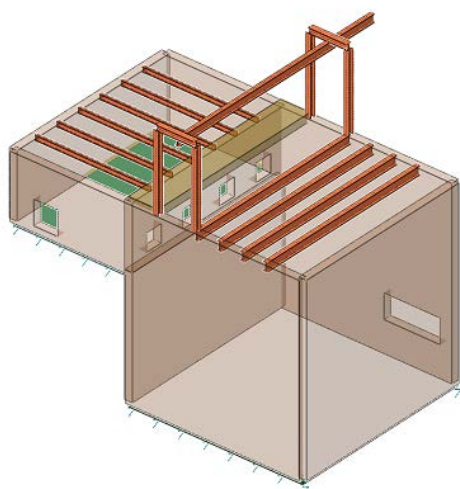
2.1. PUMPNA STANICA

Objekat je u osnovi dužine 1160cm i širine 740cm. Sastoji se iz dve komore različitih dubina. Veća komora je dubine 716cm a manja 260cm (slika 11). Ceo objekat je ukopan. Iznad nivoa tla se nalazi čelična konstrukcija sa kranskom stazom koja služi za montažu i demontažu pumpi koje se nalaze u dubljoj komori. Temeljna ploča je debljine 40cm a zidovi 30cm. Objekat je projektovan od betona klase C35/45 i armiran armaturom B500B [2],[3].

Proračunski model je prikazan na slici 12. Proračunom su obuhvaćena sva dejstva koja su pomenuta u opisu konstrukcije a specifičnost je simulacija skupljanja betona i uticaja temperature u fazi eksploatacije i remonta u različitim godišnjim dobima.



Slika 11 – Planovi oplate pumpne stanice

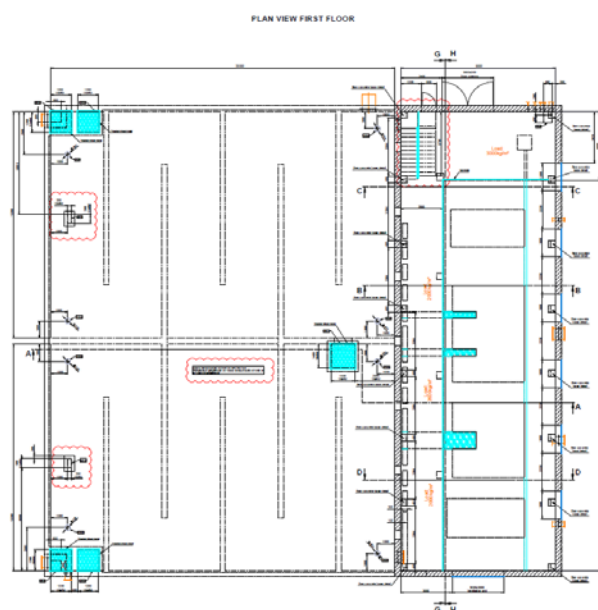


Slika 12 – Proračunski model pumpne stanice

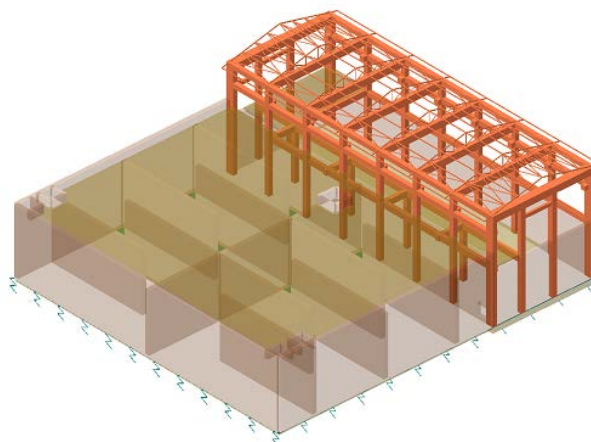
2.2. REZERVOAR ZA VODU

Rezervoar za vodu sa zatvaračnicom je dužine 3020cm i širine 2755cm (slika 12). Svetla visina rezervoara je 500cm a maksimalna dubina vode je 480cm. Zapremina bazena je oko 2500 m³. Objekat je temeljen na ploči debljine 60cm i 100cm. Spoljašnji zidovi su debljine 40cm a unutrašnji debljine 30-35cm. Zatvaračnica je projektovana na dva nivoa sa galerijom i kranskim stazama za portalni kran. Objekat je delimično ukopan [4],[5].

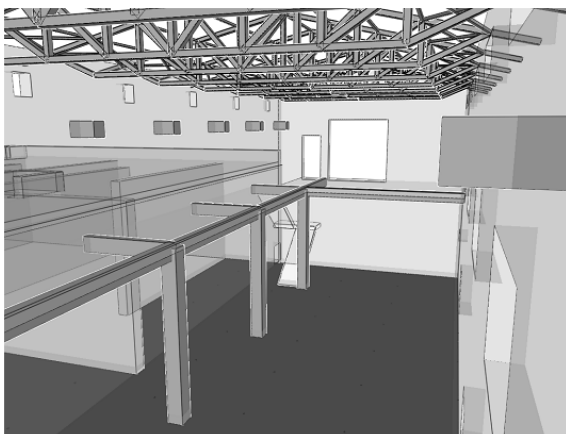
Na slici 14 je prikazan 3D proračunski model a na slici 15 je prikazan deo proračunskog modela gde se vidi galerija i deo čelične krovne konstrukcije.



Slika 13 – Osnova rezervoara sa zatvaračnicom i pumpnom stanicom



Slika 14 – Proračunski model rezervoara



Slika 15 – Deo proračunskog modela (3D prikaz unutrašnjosti pumpne stanice)

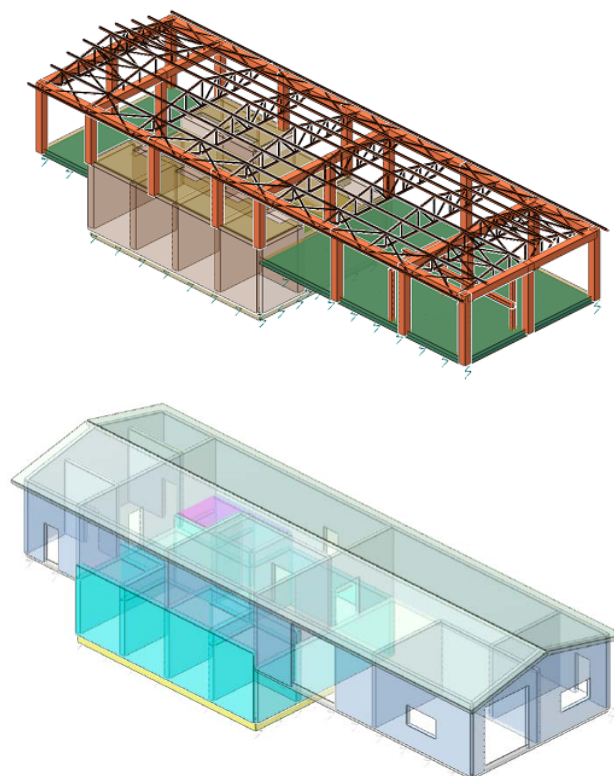
Proračunom su obuhvaćena dejstva kroz sve faze građenja, eksploatacije i remonta. Analizirane su sve kombinacije dejstava od kojih su najzahtevnije bile skupljanje betona, uticaj temperature u svim pomenutim fazama jer je objekat delimično ukopan.

2.3. POSTROJENJE SA REAGENSIMA

Objekat je namenjen za skladištenje preparata za tretman pijaće vode. U podzemnom delu se nalazi šest bazena a u prizemnom magacini i laboratorije. Dužina objekta je 3270cm, širina 1055cm. Temeljna ploča ispod bazena je 125cm a zidovi su debljine 40cm. U prizemnom delu objekta se nalazi portalni kran za utovar, istovar, montažu i demontažu opreme. Nadzemni deo objekta je skeletni. Krovna konstrukcija se sastoji od čeličnih rešetki na osovinskom rastojanju od 360cm (slika 16).



Slika 16 – Planovi oplata postrojenja sa reagensima



Slika 17 – Proračunski model postrojenja sa reagensima

Elementi konstrukcije su proračunati na dejstva prema analizi opterećenja datoj u okviru proračuna elemenata konstrukcije.

Proračun konstrukcije je urađen uz pomoć programa za statičku i dinamičku analizu prostornih konstrukcija “Tower 8”© „Radimpex,, - Beograd na nekoliko prostornih proračunskih modela (slika 17).

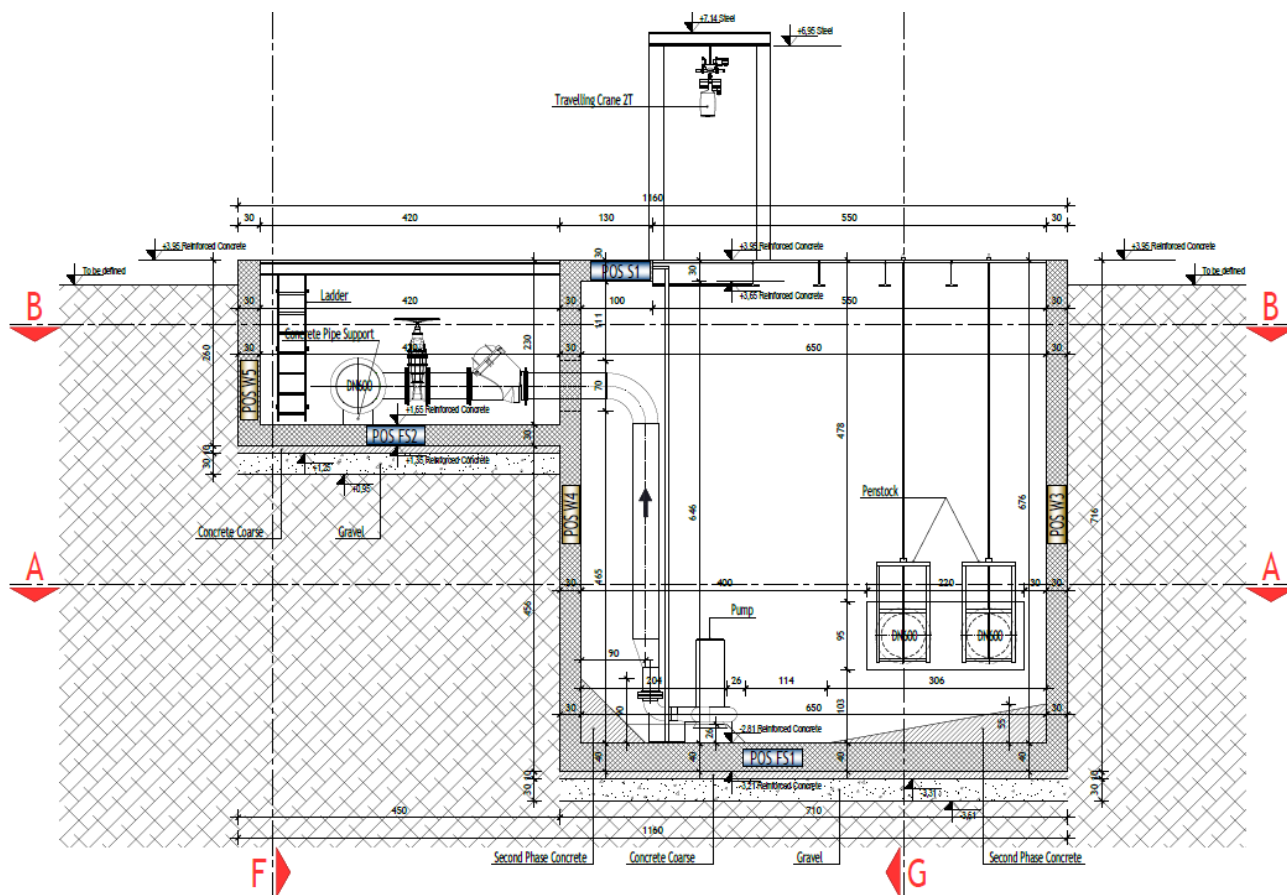
Uticaji u poprečnim presecima su dobijeni simulacijom vertikalnog i horizontalnog opterećenja u skladu sa trenutno važećom regulativom za ovu vrstu objekata i za lokaciju na kojoj se objekat nalazi [6],[7].

3 GRAFIČKA DOKUMENTACIJA

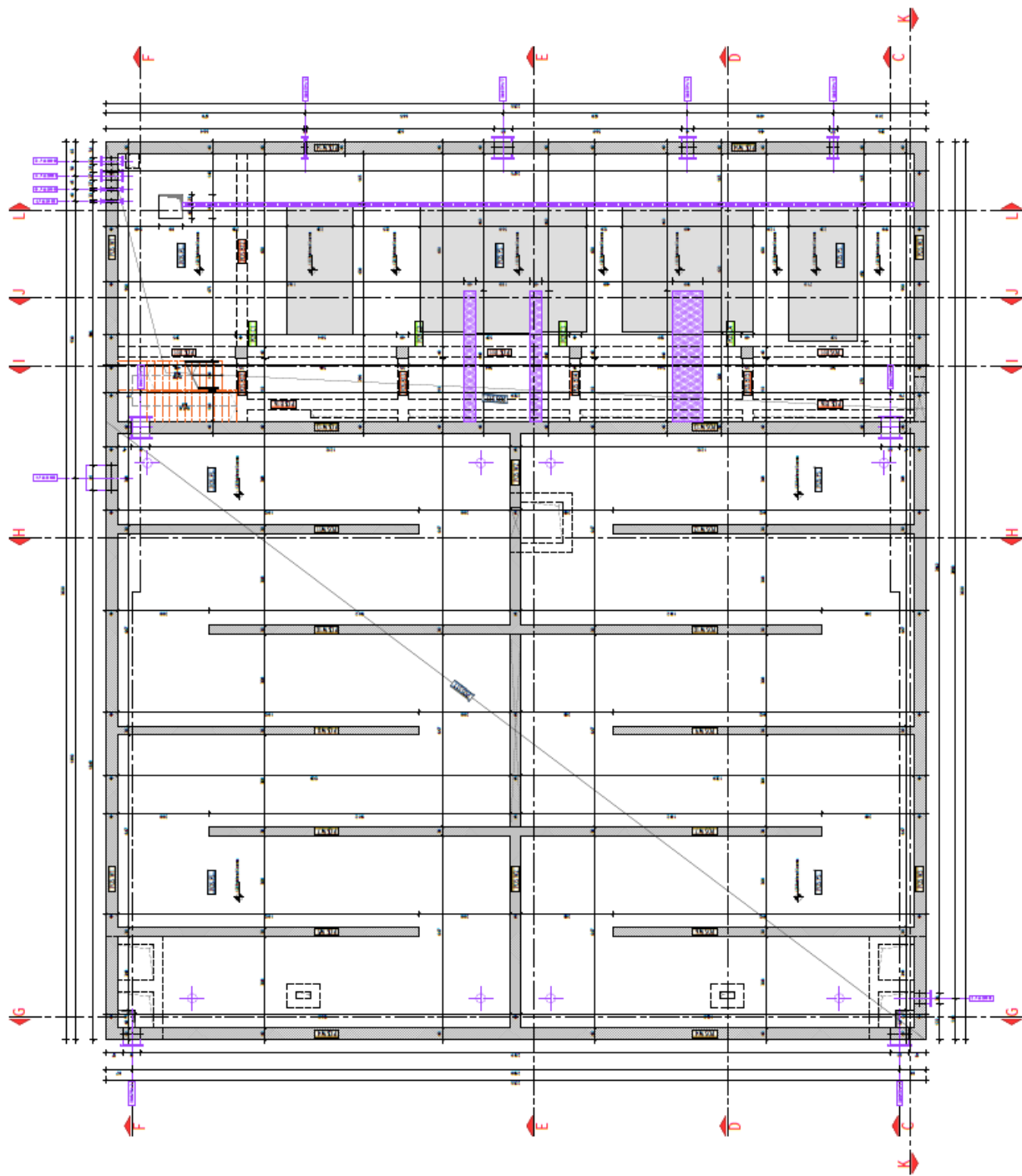
Pored tekstualne i numeričke dokumentacije autori ovog rada su na 99 crteža A0 i A1 formata prikazali dispozicione crteže, planove oplata, planove armiranja i sve detalje neophodne za izvođenje objekta. Grafički prilozi su mnogo sadržajni od uobičajenih zbog stroge tehničke kontrole i slabo tehnički obrazovane radne snage. Nekoliko dispozicionih crteža i detalja je prikazano na slikama od 18 do 24.

Za većinu detalja (spojeva, prodora, ankera, veza) data su varijantna rešenja zbog loše snabdevenosti i

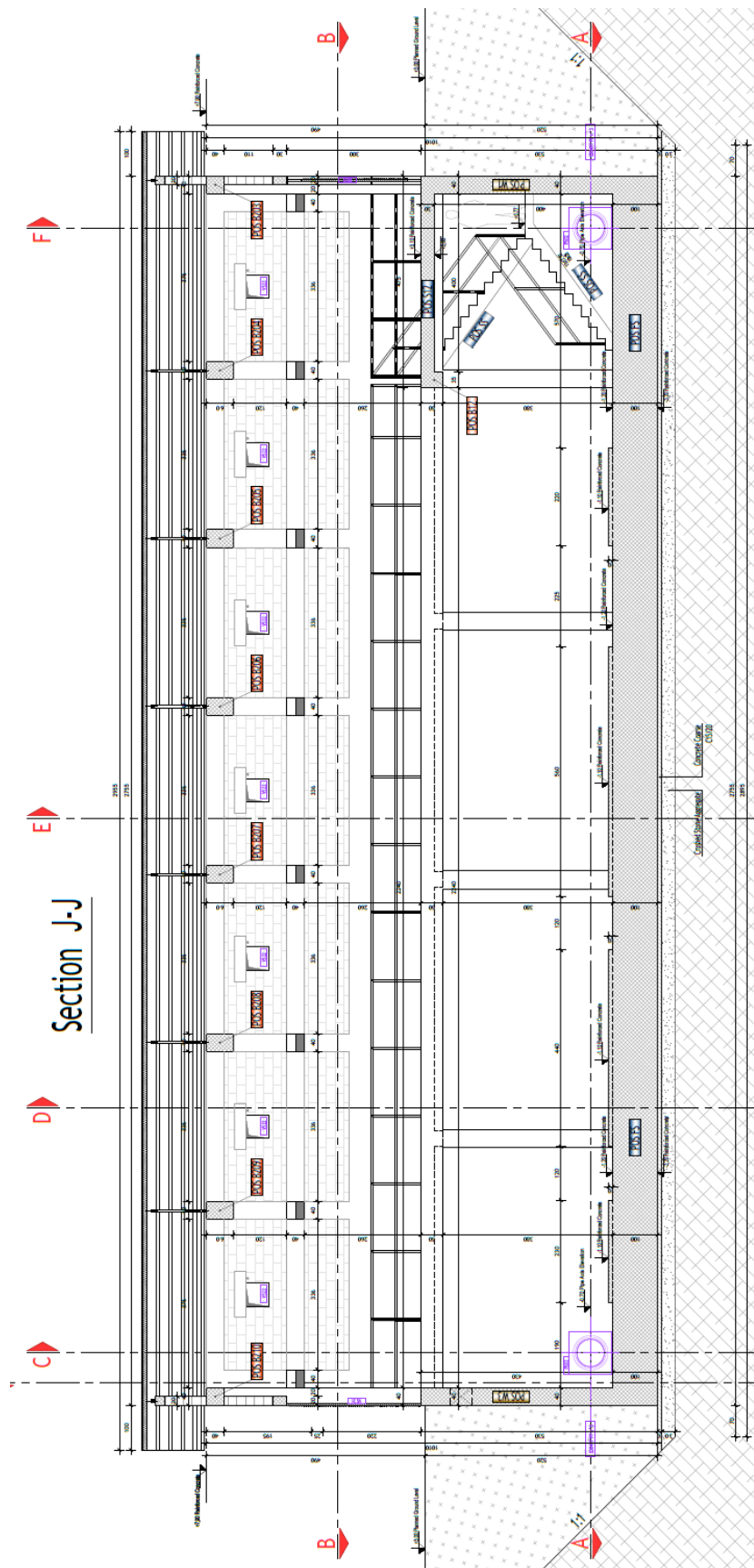
ograničenih tehnoloških kapaciteta. Svi konstrukcijski elementi su maksimalno uprošćeni a neki u toku projektovanja korigovani i usaglašavani sa zahtevima budućih izvođača radova.



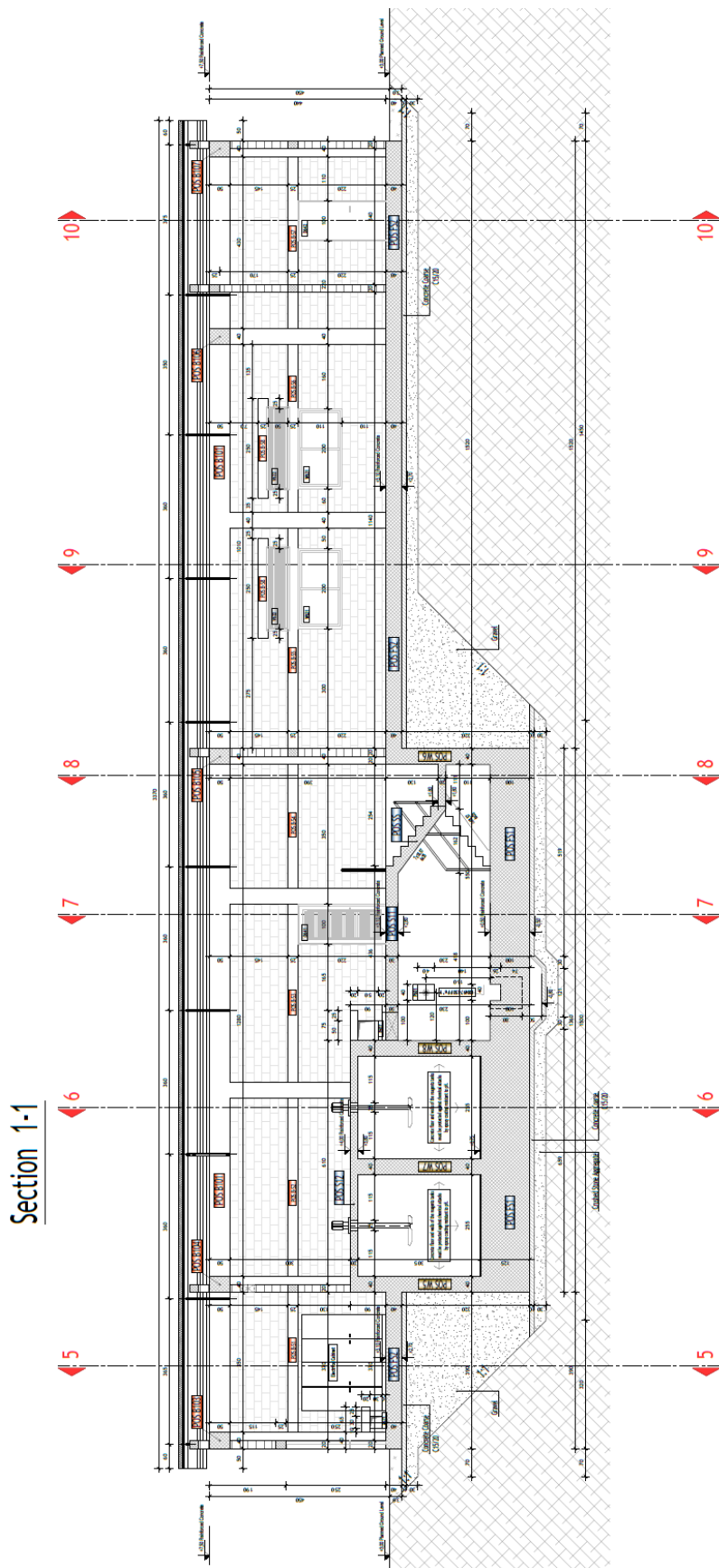
Slika 18 – Pumpna stanica, vertikalni podužni presek



Slika 19 – Dispozicioni crtež rezervoara za pijaću vodu – osnova



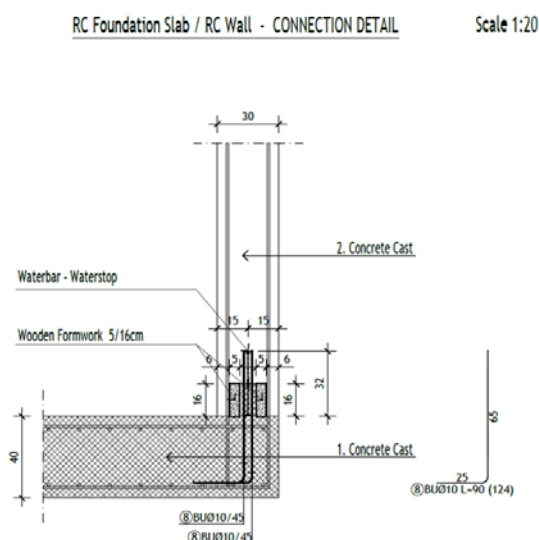
Slika 20 – Dispozicioni crtež rezervoara za pijaću vodu – vertikalni presek



Slika 21 – Dispozicioni crteži postrojenja sa reagensima – vertikalni presek

3.1. RADNE SPOJNICE

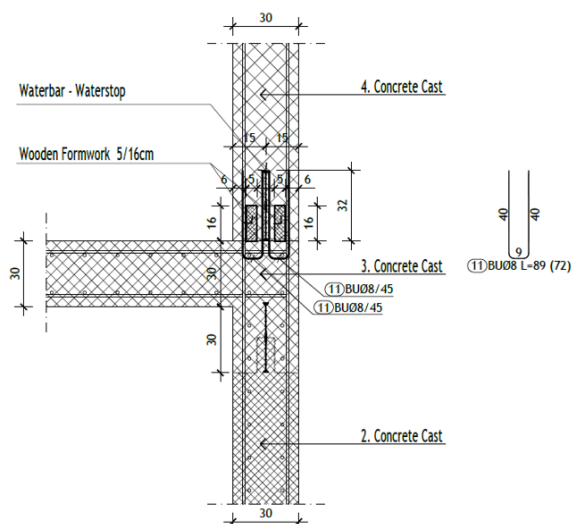
Za izvođenje svih radnih spojnica predložena je Sika Waterbar ili slična traka drugih proizvođača. To su gumene trake koje se koriste za spajanje površina prilikom nastavka betoniranja. Predviđena mesta za nastavljnje betoniranja nisu dilatacije već se na tim mestima ostvaruje kontinuitet konstrukcije u fazi eksploatacije.



Slika 22 – Detalj radne spojnice – prekid betoniranja na spoju temeljne ploče i zida

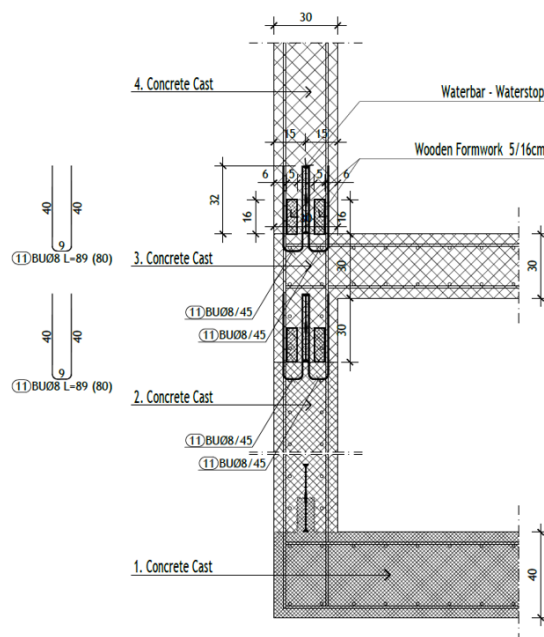
Radne spojnice – prekidi betoniranja su definisani iz tehnoloških razloga zbog geometrije konstrukcije i zbog skupljanja betona i uticaja temperature u fazi izvođenja. Osnovni kriterijum je da ugrađena armatura u konstrukcijskim elementima za fazu eksploatacije može da prihvati uticaje u fazi izvođenja bez pojave prslina. Modeliranje i simulacija dejstava je specifična pri čemu treba pratiti uticaje u presecima kroz sve faze izvođenja i eksploatacije. Korišćeni program (TOWER8) za proračun ovih objekata to omogućava. Na slikama 22, 23, 24 su prikazani detalji radnih spojnica na karakterističnim mestima prekida betoniranja koji su se kroz veliki broj izvedenih objekata pokazali kao jednostavni za izvođenje i sigurni u eksploataciji. Prikazani detalji se mogu primeniti u zidovima za horizontalne i vertikalne prekide betoniranja kao kod ploča. Prikazani detalji mogu da pretrpe male modifikacije u zavisnosti od potreba izvođača radova. Prema ovim detaljima je uspešno izvedeno preko osamdeset objekata gde su projektanti konstrukcija bili autori ovog rada [8],[9],[10],[11].

RC Foundation Slab / RC Wall Concrete Casts - CONNECTION DETAIL Scale 1:20



Slika 23 – Detalj radne spojnice-prekid betoniranja na spoju ploče i zida

RC Wall Concrete Casts - CONNECTION DETAIL Scale 1:20



Slika 24 – Detalj horizontalne radne spojnice u zidu

4 ZAKLJUČAK

Kompletan proračun konstrukcija sa specifičnim dejstvima i zahtevima investitora i tehničke kontrole sproveden je u programu „Tower 8“ [12].

Dokumentacija za ove objekte je urađena u skladu sa EC standardima [13], [14], [15], [16], [17], i relevantnim lokalnim tehničkim standardima, zakonima i pravilnicima.

Kod ove vrste objekata, gde se skladište tečnosti, i gde je merodavno granično stanje upotrebljivosti (otvori prslina) neophodno je da se proračunskim modelima simuliraju sve faze građenja. Obavezno je praćenje preraspodele uticaja i rezidualnih napona.

Faze građenja i prekide betoniranja usaglasiti sa uticajima u konstrukcijskim elementima.

Ovakav način modeliranja daje realnu sliku uticaja u karakterističnim preseccima za razliku od standardnih pristupa proračunima. Preporuka je da površine taktova betoniranja ploča i zidova treba definisati iz uslova graničnog stanja upotrebljivosti pri dejstvu od skupljanja betona. Neophodno je voditi računa o vrednosti referentne temperature, koja često nije poznata ili je orijentaciono procenjena zbog nepoznavanja precizne dinamike građenja. Ovaj podatak direktno utiče na količinu armature u preseccima, odnosno, na cenu koštanja objekta. Referentnu temperaturu nije moguće definisati tehničkom regulativom, tako da bi izvođači radova trebalo da primene ovo važno uputstvo projektanta izvođačima radova.

LITERATURA

- [1] **Geotechnical investigation report for the expansion and rehabilitation of Keta water supply system project.** *Final report for the WTP, Intake and Lagoon areas.* Engineers, Architects & Dev. Consultants, P.O.Box CT1543 Cantonment, Accra, August 2021
- [2] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar, Milenković Miljan: **PGD – projekat za građevinsku dozvolu pumpne stanice postrojenja za pijaću vodu u Agordome, Gana, 2022.**
- [3] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar: **PZI – projekat za izvođenje pumpne stanice postrojenja za pijaću vodu u Agordome, Gana, 2022.**
- [4] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar, Milenković Miljan: **PGD – projekat za građevinsku dozvolu rezervoara za pijaću vodu u Agordome, Gana, 2022.**
- [5] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar: **PZI – projekat za izvođenje rezervoara za pijaću vodu u Agordome, Gana, 2022.**
- [6] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar, Milenković Miljan: **PGD – projekat za građevinsku dozvolu postrojenja sa reagensima za pijaću vodu u Agordome, Gana, 2022.**
- [7] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar: **PZI – projekat za izvođenje postrojenja sa reagensima za pijaću vodu u Agordome, Gana, 2022.**
- [8] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar: **Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda u Leskovcu-Iskustva i preporuke u toku projektovanja konstrukcijskih sistema.** *Simpozijum DGKS, Zlatibor, 635-644, 2016.*
- [9] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar: **Redesign and reconstruction of partially collapsed waste water treatment plant.** *1st International Conference on Construction Materials for Sustainable Future – CoMS2017, Zadar, Croatia, 706-711, 2017.*
- [10] Blagojević Predrag, Živković Darko, Šutanovac Aleksandar, Miličević Dragan: **Hidrotehnički objekti u sklopu sistema za odvođenje otpadnih voda za naselja hercegovačke i bokokotorske rivijere.** *Nauka i Praksa, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Vol 21, 83-90, 2018.*
- [11] Šutanovac Aleksandar, Blagojević Predrag, Živković Darko: **Glavni projekat postrojenja za preradu vode „Berilovac“ u Pirotu – iskustva u toku projektovanja konstrukcijskih sistema.** *Nauka i Praksa, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Vol 21, 77-82, 2018.*
- [12] Program za proračun konstrukcija „Tower“, Radimpex Software, www.radimpex.rs
- [13] EN 1991 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije
- [14] EN 1992 Eurokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija
- [15] EN 1993 Eurokod 3: Projektovanje čeličnih konstrukcija
- [16] EN 1997 Eurokod 7: Geotehničko projektovanje
- [17] EN 1998 Eurokod 8: Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija