

XL NAUČNO STRUČNI SKUP
ODRŽAVANJE MAŠINA I OPREME 2015

Beograd - Budva, 18-26. jun 2015. godine



Organizatori

ISBN 978-86-84231-39-2

Pokrovitelji



Ministarstvo prosvete,
nauke i tehnološkog
razvoja

Ministarstvo Privrede



Editor: Prof. dr Branko Vasić

Izdavač: INSTITUT ZA ISTRAŽIVANJA I PROJEKTOVANJA U PRIVREDI

Za izdavača: Miloš Dimitrijević, dipl.inž.maš.

CD ROM izdanje - obrada i dizajn: iipp

Dizajn i obrada radova: iipp; Tiraž: 50 primeraka

Izrada CD ROM izdanja - NT Soft

ISBN 978-86-84231-39-2; COBISS.SR-ID 215839244

Organizatori



Institut za istraživanja i projektovanja u privredi



Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu



Društvo održavalaca tehničkih sistema

Pokrovitelji



*Ministarstvo prosvete, nauke i
tehnološkog razvoja*



Privredna Komora Beograda



Ministarstvo Privrede

RAZVOJ I UNAPREĐENJE LABORATORIJSKOG POSTROJENJA ZA SIMULACIJU PROCESA PRERADE PIJAĆE VODE DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF LABORATORY PILOT PLANT FOR SIMULATION OF POTABLE WATER TREATMENT

Srđan Trivković, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd
Dr Slobodan Stupar, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd
Dr Aleksandar Simonović, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd
doc. dr Ognjen Peković, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd
Zorana Posteljnik,, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd

Rezime: Prerada vode uključuje sve procese u okviru kojih se kvalitet vode menja prema zahtevima krajnjeg korisnika. Najčešće se voda prerađuje u cilju dobijanja pijaće vode. Prerada pijaće vode u industrijskim postrojenjima, u zavisnosti od stepena njenog zagađenja i zahteva korisnika, može biti veoma složen proces. Odabir tretmana i tehnologije prerade pijaće vode zavisi od kvaliteta sirove vode. U ovom radu je detaljno opisano razvoj novog laboratorijsko postrojenja sa specifičnim konstruktivnim zahtevima koje se koristi za simulaciju određenih procesa u toku tretmana pijaće vode industrijskih postrojenja. Novo laboratorijsko postrojenje je razvijeno na osnovama postojećeg tehnološki zastarelog i neadekvatnog laboratorijskog postrojenja. Laboratorijsko postrojenje je projektovano za uporednu simulaciju više procesa u okviru tretmana vode. U navedeni sistem, sa ciljem što realnije simulacije, su implementirani: generator ozona, dozirni sistemi i merno akviziciona oprema i regulaciona oprema.

Ključne reči: industrijska prerada pijaće vode, laboratorijsko postrojenje

Summary: Water treatment covers all processes in which water is changed according to demands of the end user. Most often water is treated in order to obtain potable water. treatment of potable water in industrial plants, depending on its pollution and requirements of end user, can be very complex process. Selection of potable water treatment type and technologies mostly depends from quality of raw water. This paper describes in detail, development of new laboratory pilot plant, with specific design requirements, which is used to simulate certain processes during the treatment of potable water in industrial plants. This new laboratory pilot plant was developed on the basis of existing, technologically outdated and inadequate, laboratory plant. Laboratory pilot plant is engineered for comparative simulation of multiple processes within water treatment. In this system, with the aim of a more realistic simulation, have been implemented: the ozone generator, dosing systems and measuring-acquisition equipment and control equipment.

Keywords: industrial treatment of potable water, laboratory pilot plant

UVOD

Pod preradom vode se podrazumevaju procesi u okviru kojih se kvalitet vode menja prema zahtevima krajnjeg korisnika. Najčešće se voda prerađuje u cilju dobijanja pijaće vode, vode za industrijsku upotrebu, medicinu itd. Industrijska prerada pijaće vode, u zavisnosti od stepena njenog zagađenja i zahteva korisnika, može biti veoma složen proces. Promena kvaliteta sirove vode zavisi kako od njenog porekla (površinske ovde, podzemne vode,...) i prirodnih faktora (godišnjih doba, trenutnih vremenskih uslova,...), tako i od ljudskog faktora (industrije, nivoa ekološke svesti,...). Definisane tretmana i tehnologije prerade pijaće vode zavisi od kvaliteta sirove vode.

Sve strožiji zahtevi u procesima tretmana pijaće vode, koji se sprovode kroz definisane propise, normative i standarde, nameću konstantno usavršavanje i unapređenje tehnologija tretmana. Većina razvijenih zemalja poseduje propise, normative i standarde kojima se definišu uslovi i daju smernice za procese prerade pijaće vode, koji se indirektno koriste i kod nas. Kontrola procesa prerade i uslova za korišćenje pijaće vode se u Srbiji vrši kroz "Zakon o vodama" i niz pravilnika i uredbi koji su zakonom doneti

u tu svrhu ("Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće", "Pravilnik o opasnim materijama u vodama", "Pravilnik i dezinfekciji i pregledu vode za piće", itd.).

Testiranja u okviru definisanja procesa kao i uvođenja novih tehnologija prerade pijaće vode velikih postrojenja zahtevaju angažovanje većeg broja zaposlenih na postrojenju, dug period pripreme, dugoročne obustave rada i ekonomski su neisplativa. Usled kompleksnosti industrijskog procesa dobijanja pijaće vode, obično je neophodno izvršiti niz studija i ispitivanja na mikro nivou, u okviru opitnih-pilot postrojenja, u cilju dobijanja relevantnih procesnih podataka. Mikro simulacije zahtevaju kompaktna opitna-pilot postrojenja, lako prilagodljiva, jednostavna za upotrebu i prilagođena trenutnom stanju tehnike.

U ovom radu je predstavljen razvoj novog laboratorijskog postrojenja sa specifičnim konstruktivnim zahtevima koje se koristi za simulaciju određenih procesa u toku tretmana pijaće vode industrijskih postrojenja. Novim postrojenjem je moguće, prema zahtevima korisnika, simulirati proces ozonizacije, adsorpcije aktivnim ugljem kao i proces ostalih aktuelnih metoda dezinfekcije i sterilizacije. Razvijeno postrojenje je lako prilagodljivo i može se implementirati u postojeći opitni-pilot centar ili hemijsku laboratoriju za ispitivanje procesa tretmana vode u cilju proširenja njihovih mogućnosti i ispitivanja novih metoda. Pored testiranja određenog procesa tretmana vode, postrojenje se može koristiti kako za definisanje radnih režima postojećeg makro postrojenja, tako i za uvođenje novih tehnologija prerade vode. Nova instalacija ispunjava u potpunosti zahteve za veliku otpornost konstrukcije na izuzetno povišene pritiske, koji se javljaju kao posledica uvođenja novih tehnologija tretmana pijaće vode.

TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE

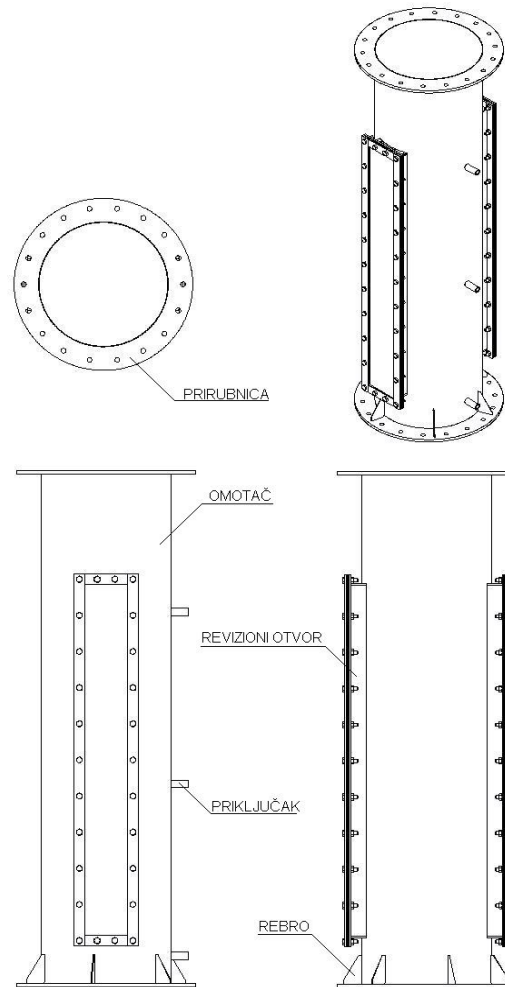
"Laboratorijsko postrojenje za simulaciju tretmana pijaće vode" je specifičan procesni sklop prilagođen konkretnoj primeni. Postojeća laboratorijska postrojenja slične namene projektovana su i izrađena u cilju ispunjenja sledećih proizvodnih zahteva: poređenja postojećih konvencionalnih tehnologija za preradu vode sa novim ili proširenja postojećih postrojenja, poređenja alternativnih sistema za tretman vode, usklađivanja sa međunarodnim regulatornim agencijama, optimizacije postojećih procesa, obezbeđenja fleksibilnih i sigurnih uslova za preradu koji svode na minimum opasnost od korišćenja kontaminirane vode za krajnje korisnike, obuku i edukaciju zaposlenih. Postojeći sistemi u većini slučajeva koriste ispitne kolone koje simuliraju rezervoare i komore, izrađene od termoplastičnog polimera (polipropilena, teška i fleksibilna plastika, itd.). Takođe na tržištu su široko zastupljene i kolone izrađene od polivinil hlorida (PVC) sa instalacijama izrađenim od aluminijuma.

U radu predstavljenom laboratorijskom postrojenju, kolone i instalacije su projektovane i izrađene od nerđajućeg čelika sa revizionim otvorima od providnog plexiglasa debljine 10mm. Takva konstrukcija kolona omogućava simulacije, u zavisnosti od režima rada, pri izuzetno povišenim pritiscima koji se javljaju kao posledica uvođenja novih tehnologija tretmana pijaće vode. Konstrukcija kolona i uslovi unutar njih odgovaraju industrijskim komorama za tretman pijaće vode, sa trenutno najrasprostranjenijom upotrebom. Za razliku od trenutnog stanja tehnike sličnih postojećih instalacija u sastavu navedene instalacije se nalaze kolone koje su izrađene, u cilju lakšeg transporta i brže i jednostavnije montaže i demontaže, od sekcija visina do 1m, minimalnih debljina plašta za date radne uslove, koje su međusobno kao i sa dovodnim i odvodnim vodovima spojene jednostavnim prirubničkim vezama.

Postrojenje je konstruisano tako da bude kompaktno, jednostavno za upotrebu, jednostavno za montažu i demontažu, a da uz to omogući lako i precizno očitavanje izmerenih vrednosti u širokom opsegu režima rada. Laboratorijsko postrojenje je projektovano za uporednu simulaciju više procesa u okviru tretmana vode:

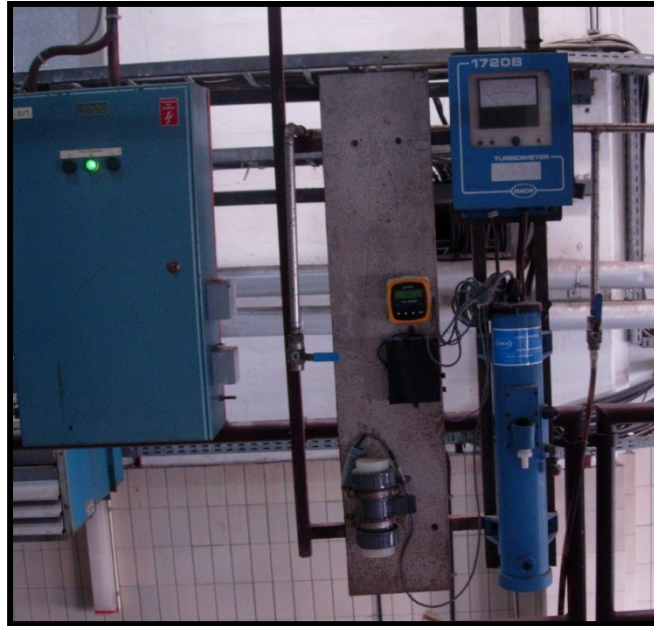
- pred-ozonizaciju i glavnu-ozonizaciju
- adsorpciju aktivnim ugljem
- i ostale metode dezinfekcije i sterilizacije

Kompletna tehnička dokumentacija i crteži mašinskog dela instalacija su urađeni u 3D CAD softveru dok je proračun čvrstoće kolona pod datim opterećenjima urađen numeričkom analizom u FEA simulatoru.



Slika 1. – Ortogonalne projekcije prve sekcije kolona dobijene 3D CAD softverom

Primarne radne elemente instalacije, u okviru kojih se vrše testovi i ispitivanja, predstavljaju tri segmentno dizajnirane kolone koje na adekvatan način simuliraju rezervoare i kontaktne komore u okviru industrijskih postrojenja. Kolone su cevnim i elektro instalacijama spojene sa procesnom opremom u zatvoren sistem sa mogućnošću selektivnog i paralelnog ispitivanja definisanog tretmana vode. U navedeni sistem, sa ciljem što realnije simulacije, su implementirani: generator ozona, merno akviziciona oprema (rotametri, pokazivači, davači, turbidimetri, PH metri, merači ostatka ozona, itd.), regulaciona oprema (ventili, regulatori specijalne namene, itd.). Snabdevanje procesnom vodom i gasom (kiseonik i vazduh) za potrebe laboratorijskog postrojenja je omogućeno, putem ulaznih priključaka iz zasebnih komponenti ili iz postojećih instalacija industrijskog postrojenja na kome se instalacija nalazi. Pristup opremi i kolonama je omogućen pristupnim platformama na tri nivoa.



Slika 2. – Merno akviziciona operma na postrojenju

Opitne kolone su izrađene, u cilju lakšeg transporta i brže i jednostavnije montaže i demontaže, od sekcija visina do 1m, malih debljina plašta. Sekcije su međusobno i sa dovodnim i odvodnim vodovima spojene prirubničkim vezama. Konstrukcija kolona je, prema zahtevima za povećanom čvrstoćom i što većom otpornošću na koroziju, u potpunosti izrađena od kiselo-otporne legure nerđajućeg čelika EN 1.4401 tj. AISI 316, koji danas predstavlja jedan od malobrojnih materijala koji se mogu koristiti u izradi konstrukcija koje su u kontaktu sa veoma agresivnim materijama koje se koriste u procesu tretmana vode (ozon, hlor,...). Zahtevi za izdržljivost strukture kolona na izuzetno povišene pritiske su usledili zbog uvođenja novih tehnologija tretmana vode i njihovih simulacija a među njima i ispitivanjem dezinfekcije vode kroz difuziju ozona hidroudarom. Konstruktivno rešenje kolona obezbeđuje dug eksploatacioni period instalacije uz minorna sezonska održavanja. Specijalno dizajniranim revizionim otvorima je omogućen lak pristup unutrašnjosti kolona i jednostavna promena parametara procesa tj. elemenata unutar njih (senzora, sistema difuzije,...). PMMA poklopci revizionih otvora, velikih dimenzija, omogućavaju konstantan monitoring i adekvatnu akviziciju podataka u toku datog ispitivanja. Uticaj definisanog procesa i analizu podataka u odnosu na visinu tretirane vode je moguće izvršiti putem niza priključaka postavljenih u tu svrhu na bočnim zidovima kolona. Priključci za uzorkovanje su izvedeni na svakih 50mm visine kolone zbog dobijanja što realnijih rezultata ispitivanja i mogućnosti analize za širok spektar kontaktnog vremena i visine. Posebna pažnja pri projektovanju kolona poklonjena je upotrebi standardizovanih polufabrikata i gotovih delova u cilju pojednostavljenja izrade i smanjenja cene koštanja.

KONSTRUKTIVNO REŠENJE - POSTUPAK ISPITIVANJA

Postupak ispitivanja zavisi od vrste simulacije koja se izvodi

1. Ozonizacija

Postupak se izvodi u zatvorenom sistemu gde se gas (O_3+O_2) za dezinfekciju tretirane vode kroz sistem cevovoda, merno regulacione opreme (ventila, rotametara, itd.) i instrumenata specijalne namene dovodi do keramičkih poroznih difuzora na dnu prohromskih kolona - komora. Porozni difuzori omogućavaju ravnomernu distribuciju ozona a samim tim i dezinfekciju vode unutar kolona. Kolone se mogu redno koristiti za simulaciju procesa predozonizacije i ozonizacije ili zasebno za uporedna ispitivanja. Sirova voda predviđena za tretman i voda iz prethodnog procesa obrade (pred-ozonizacije ili nekog pred-tretmana) se dovode putem ulaznog otvora na vrhu kolone dok se tretirana voda odvodi izlaznim otvorom blizu dna kolone. Uticaj reagovanja ozona na tretiranu vodu se može ispitivati i po nivoima kolone putem

priključaka na bočnim stranama kolona. Navedena simulacija dezinfekcije vode ozonom se može varirati promenom niza faktora u toku procesa: kvaliteta i kvantiteta tretirane vode, količine gasa dovedenog za tretiranje, procenta ozona u gasu, dodatka reagenasa, promene pred-tretmana, itd.



Slika 3. – Generator za proizvodnju ozona i porozni distributer-difuzor ozona na postrojenju

2. Adsorpcija aktivnim ugljem

Postupak se izvodi u prilično jednostavnom zatvorenom sistemu gde se aktivni uglj dodaje u kolonu prema potrebi kroz revizione otvore uz male izmene konstruktivnih karakteristika dna kolone u odnosu na tretman ozonom. Kolone se mogu redno koristiti za zasebna ili uporedna ispitivanja procesa pred-tretmana i tretmana aktivnim ugljem i simulacije adsorpcije aktivnim ugljem poboljšane ozonom. Sirova voda predviđena za tretman i voda iz prethodnog procesa obrade (pred-tretmana aktivnim ugljem ili nekog drugog pred-tretmana) se dovodi putem ulaznog otvora na vrhu kolone dok se tretirana voda odvodi izlaznim otvorom blizu dna kolone. Uticaj reagovanja aktivnog uglja na tretiranu vodu se može ispitati i po nivoima kolone putem priključaka na bočnim stranama kolona. Instalacijom je omogućeno i ispitivanje reaktiviranog uglja ukoliko se u sistem implementira uređaj za reaktivaciju. Navedena simulacija adsorpcije aktivnim ugljem se može varirati promenom niza faktora u toku procesa: kvaliteta i kvantiteta tretirane vode, količine dodatog aktivnog uglja, izborom aktivnog uglja, dodatka reagenasa, promene pred-tretmana, itd.

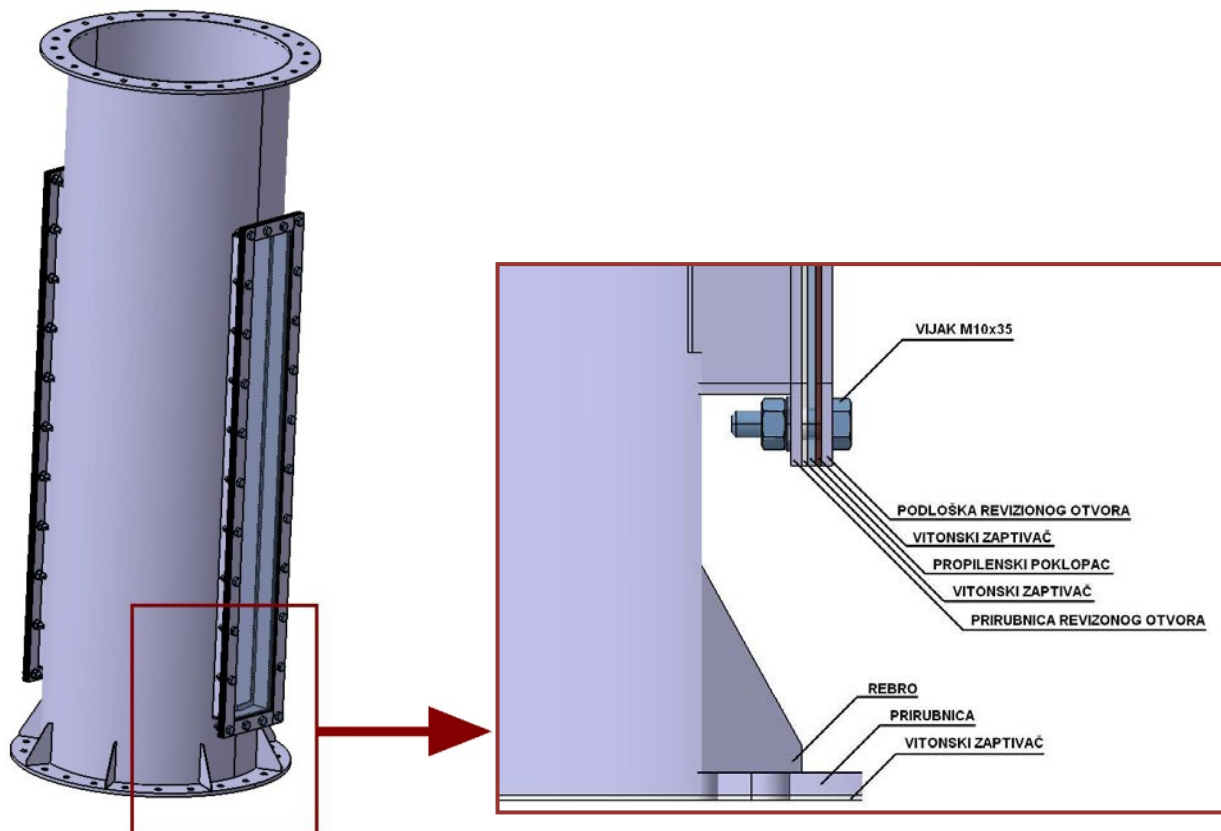
3. Ostale metode dezinfekcije i sterilizacije

Postupak tretiranja sirove vode se izvodi u zatvorenom sistemu dodavanjem sredstava za dezinfekciju i sterilizaciju (hlordioksida, kombinovanih reziduala hlora, joda, broma, hlorida broma, itd.) u prohromsku kolonu kroz revizione otvore uz izmene konstruktivnih karakteristika dna kolone, prema zahtevima procesa ili kroz priključke na bočnim stranama kolone. Ukoliko se na laboratorijskom postrojenju simulira proces dezinfekcije i sterilizacije ultraljubičastim svetlom potrebno je instalaciju sa ultraljubičastim lampama montirati na nosače predviđene za tu svrhu, koji su sastavni deo konstrukcije kolona. Simulacija tretmana vode se može izvoditi u kolonama redno za zasebna ili uporedna ispitivanja aktuelnih metoda dezinfekcije i sterilizacije. Voda predviđena za tretman ili voda iz prethodnog procesa obrade se dovodi putem ulaznog otvora na vrhu kolone dok se tretirana voda odvodi izlaznim otvorom blizu dna kolone. Uticaj reakcije dezinfekcionog sredstva na tretiranu vodu se može ispitati i po nivoima putem priključaka na bočnim stranama kolona. Navedeno laboratorijsko postrojenje nam omogućava da simulaciju metoda dezinfekcije i sterilizacije možemo varirati i ispitivati promenom niza faktora u toku procesa: kvaliteta i kvantiteta tretirane vode, kvantiteta i kvaliteta dezinfekcionog sredstva, promene pred-tretmana, jačine ultraljubičastih lampi, itd.

KONSTRUKTIVNO REŠENJE - MERNO ISPITNA INSTALACIJA

Merno-ispitnu instalaciju čine sledeće komponente:

- tri segmentne kolone koje su izrađene od sekcija visina 1m, malih debljina plašta (1mm-1.5mm). Sekcije su međusobno kao i sa dovodnim i odvodnim vodovima spojene prirubnicama. Prirubnice, debljine 8mm, su međusobno povezane vijčanom vezom i zadihtovane vitonskim zaptivačima. Na prvoj sekciji svake kolone se nalaze dva nasuprot postavljena revizionna otvora, dimenzija 1000x100mm, izrađena od providnih PMMA ploča debljine 10mm. Revizionni otvori su povezani vijčanom vezom i zadihtovani vitonskim zaptivačima. Osnova je, u zavisnosti od gabarita kolone, dodatno lokalno ojačana, u korenom delu sa 8-12 rebara. Na bočnim stranama kolona, na svakih 500mm, su izvedeni priključci za uzorkovanje, nazivnog prečnika DN15. Otvaranje i zatvaranje priključaka se vrši pomoću kugličnih ventila.



Slika 4. – CAD model i konstruktivno rešenje prve sekcije kolone

- cevna instalacija za dopremanje vode i gasa, nazivnih prečnika od DN10 do DN20.
- cevna armatura: ventili, regulatori specijalne namene, priključci, prirubnice, adapteri, itd.
- merno akvizicione oprema specijalne namene: rotametри, pokazivači, davači, turbidimetri, PH metri, merači ostatka ozona u tretiranoj vodi, instrumenti specijalne namene.
- sistem za generisanje dezinfekcionog i sterilizacionog agensa: instalacija generatora ozona, UV sistem.
- elektro instalacije.
- sistemi zaštite i ambijentalni monitoring za ozon i druge hemijski opasne materije.



Slika 5. – Izvedeno stanje druge sekcije jedne od kolona i prve sekcije kolone sa revizionim otvorom



Slika 6. – Prirubnički spoj sekcija kolone i prolaz kolone kroz drugi nivo pristupne platforme

ZAKLJUČAK

U radu navedenim metodama i novom instalacijom omogućava se industrijskim postrojenjima za preradu vode posredno konstantno praćenje trendova, unapređenje funkcionalnosti i proširenja kapaciteta procesa i neposredno, zadovoljenje potreba kranjih korisnika-potrošača. Navedeno laboratorijsko postrojenje i svi njegovi sastavni elementi su dizajnirani tako da se, osim manualnog merenja, praćenja i kontrole svakog sistema u okviru njega zasebno, vrlo lako može integrisati u jedan zbirni sistem za merenje, praćenje i kontrolu proizvodnje industrijskih sistema-SCADA sistem.

Instalacija je konstrukciono rešena tako da bude fleksibilna tj. da je vrlo lako moguća njena implementacija u postojeće opitne-pilot centre i laboratorije za tretmane vode a ujedno i paralelna simulacija sa postojećim procesima u okviru njih (koagulacija i fluktacija, bistenje, filtracija, itd.). Prikazano rešenje je razvijeno za potrebe proizvodnog pogona PP Makiš u okviru JKP „Beogradski vodovod i kanalizacija“ gde se i nalazi u trenutnoj eksploataciji.

LITERATURA

- 1) Cheremisinoff N., Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies, ISBN 0-7506-7498-9,
- 2) Bogner M., Stanojević M., O vodama, teorija, propisi i primeri iz prakse, Eta, Beograd 2006
- 3) Wynn C., Kirk B., McNabney R., Pilot plant for tertiary treatment of wastewater with ozone, EPA-R2-73-146, January 1973
- 4) Water treatment handbook, Seventh edition, ISBN 978-2-7430-0970-0