Projekt sustava pripreme deionizirane vode za laboratorijsku uporabu

Valenčak, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:574572

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Domagoj Valenčak

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Juretić, dipl. ing.

Student:

Domagoj Valenčak

Zagreb, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Posebno zahvaljujem svome mentoru izv. prof. dr. sc. Hrvoju Juretiću na pruženoj pomoći i vremenu tijekom izrade ovoga rada.

Domagoj Valenčak

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Domagoj Valenčak** Mat. br.: 0035200939

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava pripreme deionizirane vode za laboratorijsku uporabu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Deionized water system design for laboratory use**

Opis zadatka:

Za većinu laboratorijskih svakodnevnih aktivnosti kao što su ispiranje laboratorijskog posuđa i pribora, punjenje vodenih i ultrazvučnih kupelji, punjenje laboratorijskih parnih sterilizatora i dr. treba osigurati dovoljne količine deionizirane vode srednje kvalitete (električne vodljivosti manje od 1 μS/cm) koja se daljnjim postupcima pročišćavanja može pripremiti i do kvalitete ultra čiste vode.

U sklopu ovog rada potrebno je predložiti idejno rješenje i dimenzionirati sustav za centralnu pripremu deionizirane vode srednje kvalitete kojom se opskrbljuje petnaest laboratorija smještenih u zgradi koja ima tri kata. Na raspolaganju je voda iz sustava javne vodoopskrbe.

Rad treba sadržavati:

1. Izbor tehnološkog postupka za pripremu deionizirane vode;
2. Osnovni proračun postrojenja;
3. Tehnološku shemu postrojenja s posudama, armaturom i opremom za automatski rad;
4. Prikaz utroška energije i kemikalija;
5. Prikaz smještaja postrojenja i cijevnog razvoda.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
28. studenog 2019.

Datum predaje rada:
1. rok: 21. veljače 2020.
2. rok (izvanredni): 1. srpnja 2020.
3. rok: 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 24.2. – 28.2.2020.
2. rok (izvanredni): 3.7.2020.
3. rok: 21.9. - 25.9.2020.

Zadatak zadao:
izv. prof. dr. sc. Hrvoje Juretić

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA II
POPIS TABLICA III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE IV
POPIS OZNAKA V
SAŽETAK VII
SUMMARY VIII
1. UVOD 1
1.1. O vodi koja se koristi u laboratorijske svrhe 1
1.2. Problematika zadatka 5
2. Metodologija pročišćavanja vode 6
2.1. Destilacija 6
2.2. Metode filtracije 6
2.2.1. Ultrafiltracija 6
2.2.2. Rezervna osmoza 7
2.3. Deionizacija 8
2.4. Elektrodeionizacija 9
2.5. Adsorpcija 9
2.6. Ultraljubičasta oksidacija 10
3. Ionska izmjena 11
3.1. Općenito 11
3.2. Demineralizacija ionskom izmjenom 13
4. Proračun postrojenja 15
4.1. Parametri vodovodne vode iz mreže 15
4.2. Proračun spremnika 16
4.3. Osnovni proračun 18
4.4. Potrošnja energije za demineralizaciju 27
5. Zaključak 30
LITERATURA 31
PRILOZI 32

POPIS SLIKA

Slika 1: Prikaz polarnosti molekula vode

Slika 2: Prikaz ultra čiste vode

Slika 3: Potrošnja vode u zgradi sa laboratorijima[5]

Slika 4: Primjena procesa ultrafiltracije za dobivanje kakvoće vode za ljudsku potrošnju

Slika 5: Reverzna osmoza

Slika 6: Grafički prikaz osmoze i reverzne osmoze[1]

Slika 7: Princip rada reverzne osmoze[6]

Slika 8: Sustav deionizacije

Slika 9: Obrada vode ultraljubičastom oksidacijom

Slika 10: Struktura kationske izmjene koja zamjenjuje H^+ za Na^+ ione[7]

Slika 11: Proces demineralizacije

Slika 12: Koeficijent oslabljenja β za visoku podnicu bez izreza

Slika 13: Proračunski koeficijent β za plitke podnice

POPIS TABLICA

Tablica 1 : Tehnologije uklanjanja nečistoća u vodi[1]

Tablica 2 : Karakteristike voda različite razine čistoće[2]

Tablica 3 : Osnovna podjela ionskih izmjenjivača[7]

Tablica 4 : Mineralni sastav vode pripremljene za demineralizaciju

Tablica 5 : Popis opreme za demineralizaciju

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

Broj crteža	Naziv iz sastavnice
ZRDV – 1	Tehnološka shema
ZRDV – 2	Smještaj postrojenja
ZRDV – 3	Cijevni razvod po visini zgrade
ZRDV – 4	Cijevni razvod prizemlja
ZRDV – 5	Cijevni razvod prvog kata

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
V_{demi}	m³	volumen demineralizirane vode u spremniku
D	m	promjer
$H_{spremnika}$	m	visina spremnika
s	mm	debljina stjenke plašta
p	bar	proračunski tlak
K	N/mm²	proračunska čvrstoća na radnoj temperaturi
S	-	stupanj sigurnosti za valjani i kovani čelik
υ	-	koeficijent oslabljenja
c_1	mm	dodatak za dopušteno odstupanje materijala za debeli lim
c_2	mm	dodatak za smanjenje debljine lima korozijom i trošenjem
s_p	mm	debljina stjenke podnice
β	-	faktor za duboke ili niske podnice
Q	m³/h	protočna volumna brzina vode
τ	h	vrijeme punjenja spremnika
KT	mval/L	karbonatna tvrdoća
BT	mval/L	bazna tvrdoća
AT	mval/L	ukupna anionska tvrdoća
AT_1	mval/L	anionska tvrdoća jedan
AT_2	mval/L	anionska tvrdoća dva
E_t	mg/mval	ekvivalentna težina kemijskog spoja
M	mg/mmol	molarna masa spoja
v	-	valencija atoma
V_P	m³	volumen posude
A_P	m²	površina posude

H_P	m	visina posude
V_{mK_2}	m³	volumen ionske mase kationskog filtra
K_K	val/L	korisni volumni kapacitet ionskog izmjenjivača
H_{mK_2}	m	visina ionske mase kationskog filtra
H_{K_2}	m	visina kationskog spremnika
c_p	m/h	brzina strujanja vode kroz otplinjivač
H_{pr}	mm	visina punjenja Raschigovim prstenima
H_s	mm	visina slobodnog prostora
v_z	$\frac{m^3\ zraka}{m^3\ vode}$	brzina strujanja zraka
V_z	m³ zraka/h	potrebna količina zraka
Δp	Pa	pad tlaka
V_{dek}	m³	volumen spremnika dekationirane vode
V_{mA_2}	m³	volumen ionske mase anionskog izmjenjivača
H_{mA_2}	m	visina ionske mase anionskog izmjenjivača
H_{A_2}	m	visina anionskog spremnika
P	W	snaga
w_{el}	kWh m^{-3}	ukupna specifična električna energija

SAŽETAK

U završnom radu predstavljeni su razni tehnološki postupci pripreme vodovodne vode iz mreže do visoke kvalitete vode. Odabran je i proveden proračun za sustav ionske izmjene za pročišćavanje vode do kvalitete električne vodljivosti manje od 1µS/cm koja se priprema radi opskrbljivanja 15 laboratorija u svrhu ispiranja posuđa i pribora, punjenja vodenih i ultrazvučnih kupelji, punjenja laboratorijskih parnih sterilizatora i dr. Uz osnovni proračun proveden je i proračun utroška kemikalija i energije.

U prilogu su dani sljedeći crteži:

- tehnološka shema postrojenja s posudama, armaturom i opremom za automatski rad,
- prikaz smještaja postrojenja,
- cijevni razvod.

Ključne riječi: ionska izmjena, demineralizirana voda, jako kiseli kationski izmjenjivač, jako bazni anionski izmjenjivač, otplinjivač, spremnik demineralizirane vode, spremnik dekationirane vode, posuda za HCl, posuda za NaOH.

SUMMARY

In this graduate thesis various technological processes for the preparation of tap water to high quality water are presented. A calculation for an ion exchange system for water purification to an electrical conductivity quality of less than 1µS/cm, which is being prepared to supply 15 laboratories for the purpose of rinsing laboratory glassware and utensils, filling water and ultrasonic baths, filling laboratory steam sterilizers and the like, was selected and implemented. Furthermore, in addition to the basic calculation, a chemical and energy consumption calculation was also implemented.

The following drawings are enclosed:

-Process flow diagram

-Disposition of equipment

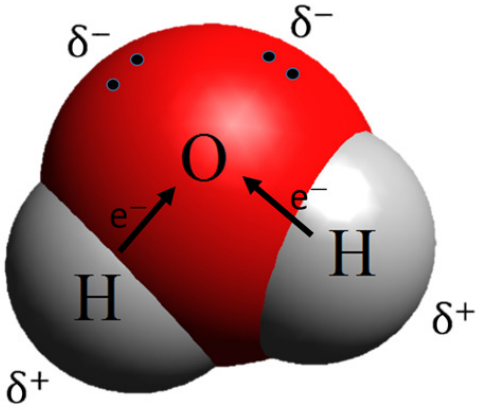
- Piping system

Key words: ion exchange, demineralised water, strongly acidic cation exchanger, strongly basic anion exchanger, degasifier, demineralised water tank, decationised water tank, HCl vessel, NaOH vessel

1. UVOD

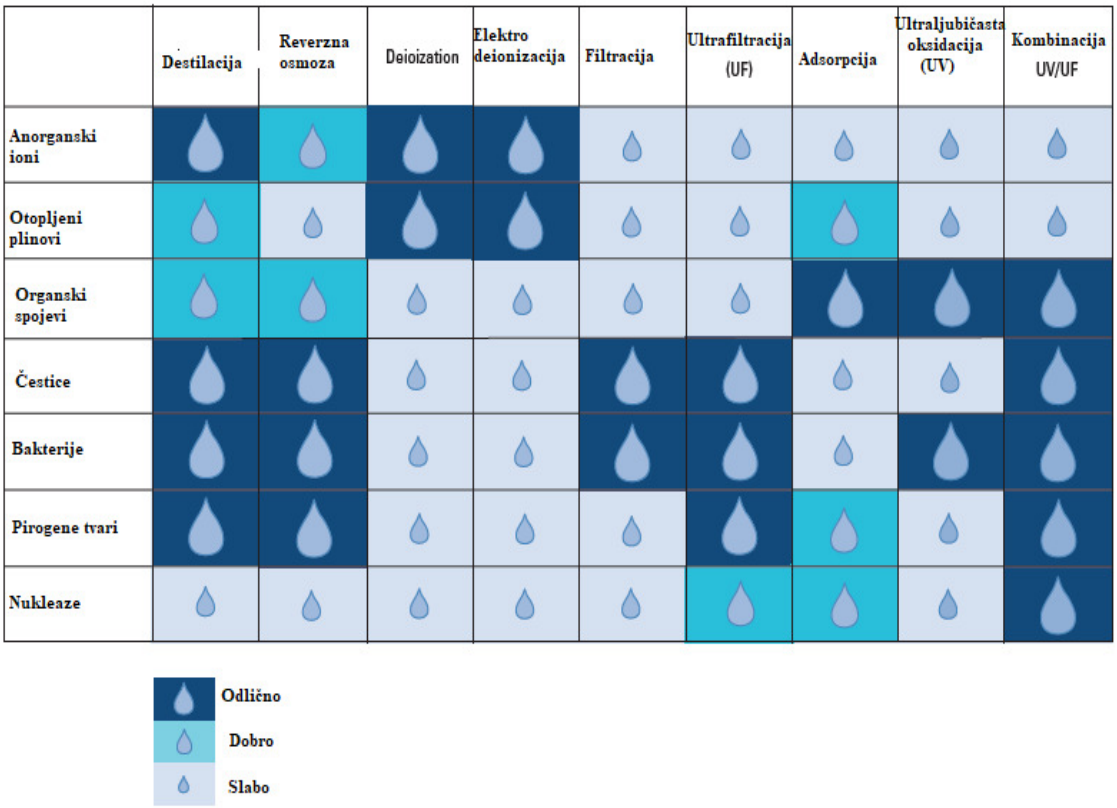
1.1. O vodi koja se koristi u laboratorijske svrhe

Više od 130 godina, sustavi pročišćavanja vode pouzdani su u razvoju znanosti i industrije. Pročišćavanje vode uključuje rješenja za najvažnije i svakodnevne potrebne primjene od elektrodeionizacije do reverzne osmoze i demineralizacije [1]. Kvalitetu vode često shvaćamo zdravo za gotovo u svakodnevnom životu i u svom poslu. Ako radimo u laboratoriju, možda smo itekako svjesni potrebe za vodom s reagensima za naše laboratorijske eksperimente kako bismo umanjili rizik od znanstvene varijabilnosti ili spriječili bakterijske bolesti, ali ipak ne razmatramo kvalitetu vode koju koristimo u svojoj opremi. Nepažnja o kvaliteti vode u laboratoriju može rezultirati kompromitiranim eksperimentalnim rezultatima, kontaminiranim reagensima ili oštećenom opremom. Voda je poznata kao univerzalno otapalo, jer se više tvari (ne svih tvari) otapa u vodi različitog stupnja nego u bilo kojem drugom otapalu. To je zbog jedinstvene polarnosti i vodikovih veza molekula vode. Ista jedinstvena molekularna svojstva vode odnose se na njezinu sposobnost reakcije s neutralnim organskim molekulama i uspostavljanje vezanja vodika s drugim molekulama. Iz tog razloga, kvaliteta vode je ključna u laboratoriju, jer gdje god je potrebna voda, mora se uzeti u obzir reaktivnost vode. Voda se lako kontaminira kemijskim tvarima, plinovima, parama i ionima koji se izlučuju iz vodova i spremnika. To mogu biti natrij i silikat iz stakla, plastifikatori i ioni iz cjevovoda, mikrobne vrste i njihovi endotoksini, kao i onečišćenja u obliku čestica. Topiva organska onečišćenja mogu se uvesti čak i iz smola koje se koriste u procesu obrade vode ionskom izmjenom, posebno ako su odabrane neadekvatne smole ili su smole prethodno onečišćene [2].



Slika 1: Prikaz polarnosti molekule vode

Tablica 1: Tehnologije uklanjanja nečistoća u vodi[1]



Pročišćavanje vode vrši se korak po korak, često zahtijeva kombinaciju tehnologija, od kojih svaka varira ovisno o sposobnost uklanjanja određenih onečišćenja. Gonja tablica ilustrira koje nečistoće uklanja svaka tehnologija [1].

Otpornost i vodljivost su pojmovi koje treba znati kada je u pitanju čistoća vode. Otpornost je tendencija vode bez iona da se opire provođenju električne energije. Mjerna jedinica je megaohm po centimetru (MΩ/cm), a varira s temperaturom. Teoretski maksimum je 18,2 do 18,3 MΩ/cm pri 25 °C. Što je veći ionski sadržaj, manji je otpor i obrnuto. U sustavima ultra čiste vode ta se vrijednost određuje pomoću linijskog brojila. Mjerenja otpornosti izvedena uzvodno u sustavu prije naknadnih tretmana kao što su UV, fina filtracija ili čak izlaganje zraku, iako su važna za praćenje određenih procesa obrade, ne mogu u potpunosti ukazivati na ionski sadržaj vode u konačnom proizvodu. Vodljivost je sklonost vode koja sadrži ione za provođenje električne energije. Mjerna jedinica je Simens (S), microsimens po centimetru (µS/cm). Što je više iona prisutnih u vodi, veća je vodljivost i obrnuto. To se mjeri konduktometrom. Vodljivost se povećava s temperaturom. Mjerenje ionske kontaminacije samo po sebi ne ukazuje na "čistu" vodu. Također se mora uzeti u obzir određeni broj onečišćenja, uključujući mikrobne i one organske porijekla.

Ukupni organski ugljik (TOC) je mjera organskih onečišćenja koja se nalaze u vodi. Visoke vrijednosti TOC-a ukazuju na organska onečišćenja, od kojih mnoga mogu poslužiti i kao hranjive tvari za mikroorganizme i biti indikativna za druga onečišćenja. Premda povišeni sadržaj TOC-a ne ukazuje na specifični kontaminant, mjerenje TOC-a kada se koristi zajedno s parametrima vodljivosti i mikrobioma izvrstan je kvalitativni pokazatelj. Razine TOC sustava za opskrbnu vodu u rasponu od 200 µg/l (i sigurno ispod 500 µg/l) mogu se smatrati praktično razumnom kvalitetom vode za središnju mrežu koja je podvrgnuta konačnom poliranju. Najbolja voda visoke čistoće (nakon poliranja) treba biti u rasponu od 1-5 µg/l, a tako niske razine TOC-a mogu biti kritične za neke primjene (poput HPLC). Tekuća kromatografija visoke djelotvornosti(HPLC) je kromatografska tehnika koja se koristi za odvajanje mješavine spojeva u analitičkoj kemiji i biokemiji s ciljem identificiranja, kvantifikacije ili pročišćavanja pojedinih komponenti smjesa. Uobičajeno je da se pri mjerenju razine TOC-a potrebnih za centralizirane sustave vodoopskrbe ispravno provodi izvan mrežno mjerenje u redovitim intervalima (kao što je tromjesečno); međutim tamo gdje su potrebna vrlo osjetljiva ograničenja TOC-a (poput <50 µg/l), potrebno je provesti on-line mjerenje. Postoje praktična ograničenja točnosti razumno ekonomičnih instrumenata TOC-a, a ako je određeni kontaminant zabrinjavajući, možda će biti potrebno izravnije ispitivanje tog onečišćivala. Kada govorimo o kvaliteti vode i toleranciji za onečišćujuće tvari, pitanje uvijek postaje: "Koliko je čisto"?Specifikacije vode opisali su ASTM (Američko udruženje za ispitivanje i materijale) D1193, ASTM D5196, ISO (Međunarodna organizacija za standardizaciju) 3696 i CLSI® (Institut za kliničke i laboratorijske standarde (ranije NCCLS) C3-A4. Povijesno vode najviše čistoće su često opisane kao „tip I“ za označavanje ultra čistih voda, a tip II ili tip III za označavanje nižih razreda [2].

Tablica 2: Karakteristike voda različite razine čistoće [2]

American Society for Testing and Materials ASTM D1193-06 (2011)

Specifikacija vode za stupanj reagensa

Parameter	Tip I	Tip II	Tip III	Tip IV
Otpornost min. MΩ-cm (25°C)	18.0	1.0	4.0	0.2
pH vrijednost (25°C)	NA	NA	NA	5 to 8
TOC, max. (ug/l)	50	50	200	NS
Natrij max. (ug/l)	1	5	10	50
Klorid max (ug/l)	1	5	10	50
Silicij max. (ug/l)	3	3	500	NA
	Tip A		TipB	TipC
Bakterija max. (CFU/100 ml)	1		10	1000
Endotoxin (EU/ml)	<0.03		0.25	NA

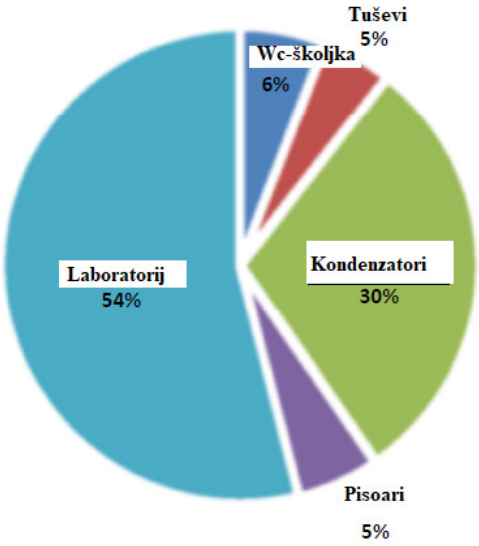
Ultra čista voda (UPW), voda visoke čistoće ili visoko pročišćena voda je voda koja je pročišćena u skladu sa strogim specifikacijama. Ultra čista voda je uobičajeni pojam u industriji poluvodiča da bi se naglasila činjenica da se voda tretira na najvišoj razini čistoće za sve vrste onečišćenja, uključujući: organske i anorganske spojeve, otopljene i neotopljene čestice, isparljivi i ne isparljivi, reaktivni i inertni, hidrofilni i hidrofobni, i otopljeni plinovi. Uz činjenicu da se kod pripreme UPW uklanjaju organske čestice i otopljeni plinovi, tipični UPW sustav ima tri stupnja: fazu prethodne obrade za proizvodnju pročišćene vode, primarnu fazu za daljnje pročišćavanje vode i fazu poliranja, najskuplji dio postupka [3].



Slika 2: Prikaz ultra čiste vode

Ultra čista voda tretira se kroz više koraka kako bi zadovoljila standarde kvalitete za različite korisnike. Primarni krajnji korisnici UPW uključuju ove industrije: poluvodiči, solarna fotonaponska energija, farmaceutski proizvodi, proizvodnja energije (pod i super kritični kotlovi) i specijalne aplikacije kao što su istraživački laboratoriji. Izraz "ultra čista voda" postao je popularan u kasnim 1970-ima i ranim 1980-ima kao način opisivanja osobite kvalitete vode koja se koristi u energetskim, farmaceutskim ili poluvodičkim postrojenjima. Dok svaka industrija koristi ono što se naziva "ultra čistom vodom", standardi kvalitete razlikuju se, što znači da se UPW koji koristi farmaceutska tvornica razlikuje od onog koji se koristi u poluvodičkom kablu ili elektrani. Standardi su povezani s UPW uporabom. Na primjer, poluvodička postrojenja koriste UPW kao sredstvo za čišćenje, stoga je važno da voda ne sadrži otopljene onečišćujuće tvari koje se mogu istaložiti ili čestice koje se mogu taložiti u krugovima i uzrokovati kvar mikročipa. Energetska industrija koristi UPW za proizvodnju pare za pogon parnih turbina,dok farmaceutska industrija upotrebljava ta UPW kao sredstvo za čišćenje, ali i kao sastojak u proizvodima, pri čemu se zahtijeva voda bez endotoksina, mikroba i virusa. Danas su ionska razmjena (IX) i elektrodeionizacija (EDI) primarne deionizacijske tehnologije povezane s proizvodnjom UPW-a, u većini slučajeva nakon reverzne osmoze (RO). Ovisno o potrebnoj kvaliteti vode, postrojenja za pripremu ultra čiste vode često sadrže i otplinjavanje, mikrofiltraciju, ultrafiltraciju, ultraljubičasto zračenje i dr.. U početku se umekšana voda pripremala tehnologijama poput umekšavanja pomoću

zeolita ili umekšavanja vapnom. Napredak je ostvaren 1935. Godine izumom sintetičkih smola koje su se zatim komercijalizirale u četrdesetim godinama. Nakon komercijalizacije RO membrana u 60-im godinama prošlog stoljeća, postala je uobičajena njihova primjena zajedno s ionskom izmjenom. EDI je komercijaliziran 1980-ih i ta je tehnologija postala uobičajeno povezana s UPW tretmanom[3]. Potrošnja vode u laboratorijskim zgradama značajna je u odnosu na tipične količine vode povezane s kućnom uporabom, kao što je prikazano na slici 3. Perilice stakla, sterilizatori, i kondenzatori doprinose značajnoj potrošnji vode. [5].



Slika 3: Potrošnja vode u zgradi sa laboratorijima[5]

1.2. Problematika zadatka

U sklopu ovog zadatka potrebno je predložiti rješenje za obradu vodovodne vode iz mreže kako bi se dobila čista voda koja bi se kasnije koristila u laboratorijske svrhe. Treba odabrati tehnološki postupak za pripremu deionizirane vode, dati shemu postrojenja, prikazati smještaj opreme te procijeniti utrošenu energiju i kemikalije. Konačna količina vode koju je potrebno proizvesti mora odgovarati potrošnji vode koja se iskoristi u laboratorijske svrhe. Postoje razne tehnologije za pripremu deionizirane vode kao što su: destilacija, filtracija, deionizacija, elektro-deionizacija, adsorpcija, ultraljubičasta oksidacija. U okviru ovog završnog rada analizirat će se tehnološki postupak ionske izmjene za dobivanje demineralizirane vode zahtijevane kvalitete.

2. Metodologija pročišćavanja vode

Za pripremu demineralizirane vode koriste se razne metode od kojih svaka ima određene prednosti i nedostatke. To ukazuju na potrebu korištenja nekoliko metoda za postizanje željene čistoće vode.

2.1. Destilacija

Možda je najpoznatija metoda pročišćavanja vode destilacija u kojoj se voda zagrijava do vrelišta. Budući da je destilacija spor proces, voda se mora čuvati do upotrebe. Tijekom skladištenja može doći do kontaminacije kad god se spremnik pokvari ili ispiranjem minerala ili spojeva iz spremnika u destilat. Centralno primijenjena destilacija često je energetski, dugotrajno i radno zahtjevna, skupa za održavanje i nije ekološka. Destilacija je, međutim, svestrana tehnologija koja može ukloniti široki spektar nečistoća i može se uspješno primijeniti lokalno za mnoge primjene [2].

2.2. Metode filtracije

Tehnologije filtracije uključuju reverznu osmozu, nanofiltraciju, ultrafiltraciju, mikrofiltraciju i filtraciju čestica. Filtracija se koristi za prethodnu obradu vode prije nego što se dalje obradi. Filtri su dizajnirani za uklanjanje čestica iznad nazivne veličine pora filtra u skladu s učinkovitošću filtra, a najčešće se koriste u raznim točkama sustava za uklanjanje bakterija ili drugih čestica. Ovisno o lokaciji, nazivna veličina pora može biti veća od 10 ili 25 mikrona u fazama pred obrade, do veličine od 0,45 μm do 0,2 μm u završnim fazama obrade. Filtri ne mogu ukloniti otopljeni materijal [2].

2.2.1. Ultrafiltracija

Ultrafiltracijom (UF) mogu se iz vode ukloniti bakterije koje mogu nepovoljno utjecati na pripremu medija u mikrobiološkim laboratorijima. UF ne može ukloniti otopljene plinove, koji se odvajaju na temelju različite apsorpcije i različitih brzina difuzije[4].



Slika 4: Primjena procesa ultrafiltracije za dobivanje kakvoće vode za ljudsku potrošnju

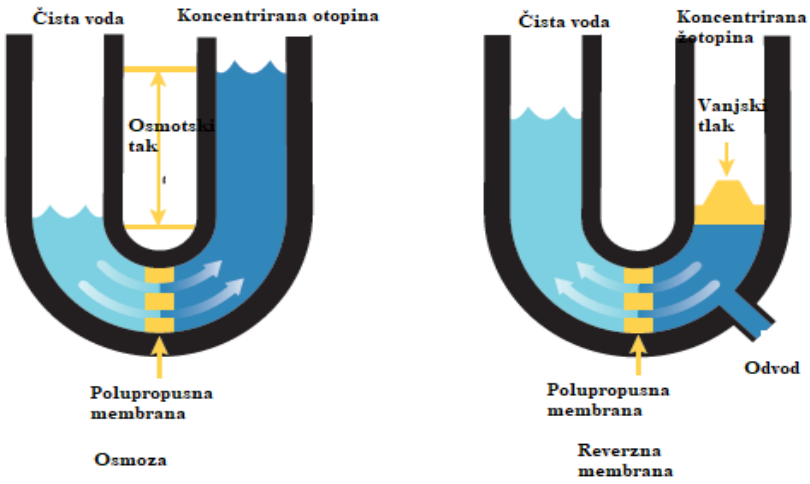
2.2.2. Rezervna osmoza

Proizvodnja vode reverznom osmozom (RO), možda najsvestraniji postupak pročišćavanja vode, ovisi o čistoći sirove vode i učinkovitosti same membrane. Reverzna osmoza je najekonomičnija metoda koja ukloni i do 99% nečistoća iz sirove vode. RO zahtijeva prethodnu obradu pojne vode kako bi se izbjeglo oštećenje membrane klorom, mineralnim naslagama, nakupljanjem koloida i probijanjem tvrdih čestica[2].



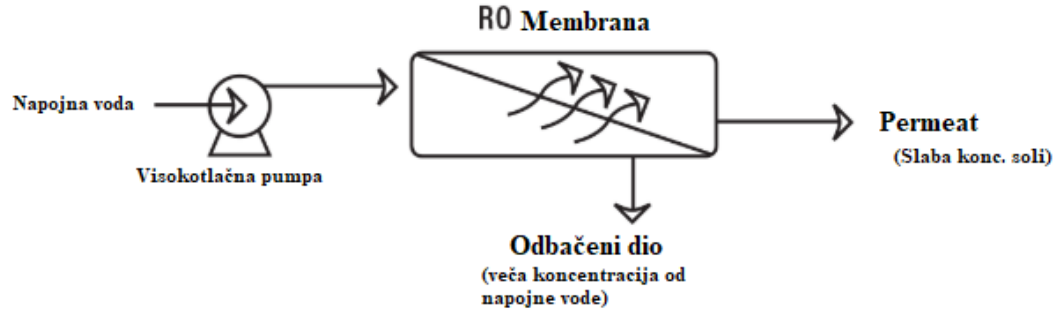
Slika 5: Reverzna osmoza

RO membrana je polupropusna s tankom mikroporoznom površinom koja zadržava gotovo sve otopljene materijale uključujući anorganske čvrste tvari, organske tvari, čestice i mikro organizme. RO voda se može koristiti za pripremu mikrobioloških kemijskih reagensa. Uz to, odlična je opcija za korištenje u općoj laboratorijskoj primjeni, kao što su vodene kupelji, ovlaživači i sl. Dok voda prolazi kroz RO membranu, nečistoće se talože na površini membrane i odvode se u odvod. Rezultat je pročišćena produktna voda visoke kvalitete(uklonjeno 99% nečistoća)[1].



Slika 6: Grafički prikaz osmoze i reverzne osmoze[1]

Reverzna osmoza je proces koji se temelji na osmozi. Dvije otopine različitih koncentracija povezane su polupropusnom membranom kroz koju prolazi otapalo s ciljem izjednačavanja koncentracije nakon čega nastaje osmotski tlak. Ako se tlak u otopini poveća iznad osmotskog tlaka, voda će prolaziti u suprotnom smjeru kroz polupropusnu membranu pa se zbog obrnutog toka vode proces naziva reverznim. Tim smo postupkom odvojili nečistoće od vode. Desalinizirana voda koja je demineralizirana ili deionizirana naziva se permeatom (ili produktom). Vodeni tok koji nosi koncentrirane kontaminante koji nisu prošli kroz RO membranu naziva se tok koncentrata (retentata).



Slika 7: Princip rada reverzne osmoze[6]

2.3. Deionizacija

Deionizacija (DI), demineralizacija je postupak za uklanjanje iona iz vode primjenom sintetičkih smola. Deionizacija (uključujući elektrodeionizaciju) jedina je tehnologija koja dosljedno osigurava kvalitetu demineralizirane vode označene kao tip I. DI postupci imaju konačni kapacitet vezanja iona tijekom životnog vijeka, ne uklanjaju čestice, ili bakterije i imaju vrlo ograničenu učinkovitost s mnogim organskim tvarima. Kvaliteta i čistoća ionskih izmjenjivačkih smola mogu biti značajna briga, osobito kod regeneracije. Mjesta za izmjenu iona mogu biti utočište za rast mikroba i oslobađanje čestica. Da bi se postigla stalna kvaliteta vode, potrebno je uključiti odgovarajuću pred obradu, nadzor i održavanje. Voda koja je deionizirana često se naziva "gladna voda", lako se onečišćuje i može izazvati koroziju mnogih materijala[2].



Slika 8: Sustav deionizacije

2.4. Elektrodeionizacija

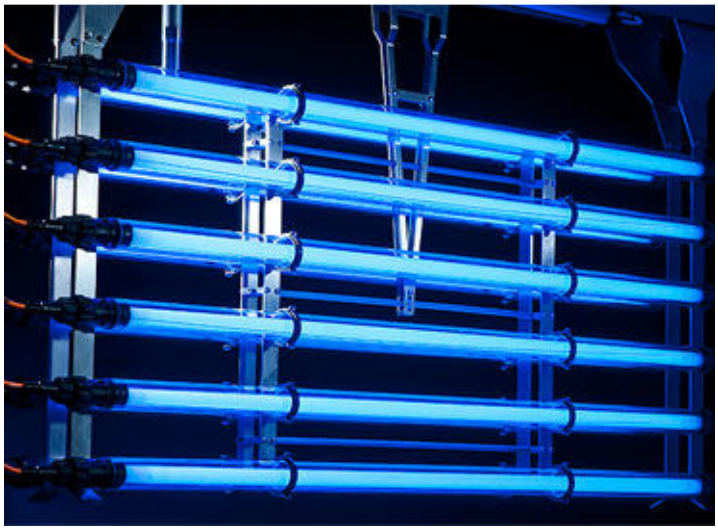
Elektrodeionizacija (EDI) kombinira tehnologiju elektro-dijalize i ionske izmjene za uklanjanje iona iz pročišćene vode. Učinkovit je jer se EDI modul kontinuirano puni električnom strujom iz jedinice. EDI ne uklanja organske tvari, čestice, ili bakterije, iako može biti manje sklon mikrobnoj kontaminaciji u usporedbi sa slojevima smole za ionsku izmjenu [2].

2.5. Adsorpcija

Adsorpcija se koristi za uklanjanje klora i kloramina iz sirove vode preko aktivnog ugljena velike površine, a ako se pravilno odabere, također se može učinkovito smanjiti sadržaj organskih tvari, mjereni kao ukupni organski ugljik (TOC). Adsorpcija se može kombinirati s drugim metodama za postizanje maksimalne otpornosti i niskog TOC-a. Sama adsorpcijska tehnika ne uklanja ione i čestice [2].

2.6. Ultraljubičasta oksidacija

Fotokemijska oksidacija ultraljubičastom svjetlošću (UV) može eliminirati organske tvari pomoću fotona valne duljine od185 nm i inaktivirati mikroorganizme fotonima valne duljine od 254 nm. Oksidacija organskih tvari često rezultira smanjenim otporom vode zbog ioniziranih onečišćenja (poput povišenog sadržaja ugljikovog dioksida), što može zahtijevati daljnje tehnološke postupke s ciljem rješavanja ovog problema [2].



Slika 9: Obrada vode ultraljubičastom oksidacijom

3. Ionska izmjena

3.1. Općenito

Ionska izmjena se u tehnologiji obrade vode prvenstveno koristi za umekšavanje vode i demineralizaciju. Primjena ionske izmjene u komunalnim sustavima je ograničena uglavnom na uklanjanje tvrdoće (umekšavanje vode u kućanstvima praonice automobila) te na uklanjanje nitrata, barija, radija, arsena, perklorata i kromata. Ionska izmjena je proces reverzibilne zamjene iona između čvrste (ionski izmjenjivač) i kapljevite faze-otopine u kojoj je izmjenjivač netopiv[7].

$$R–A + B \leftrightarrows R–B + A$$

gdje su:
R – izmjenjivač,
A i B – ioni za izmjenu.

Ionska izmjena može biti kationska i anionska:

$$R^-A^+ + B^+ \leftrightarrows R^-B^+ + A^+$$

izmjenjivač otopina izmjenjivač otopina

KATIONSKA

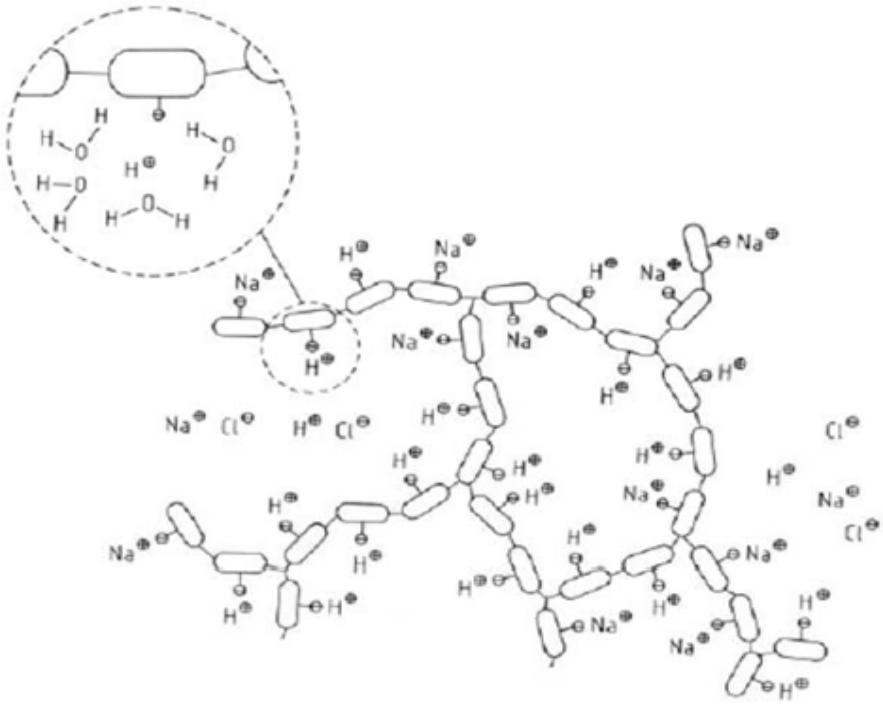
$$R^+A^- + B^- \leftrightarrows R^+B^- + A^-$$

izmjenjivač otopina izmjenjivač otopina

ANIONSKA

gdje su:
R – izmjenjivač,
A i B – ioni za izmjenu.

Ionski izmjenjivač može biti sol, kiselina ili baza u čvrstom obliku koji je netopiv u vodi, ali je hidratiziran. Reakcije izmjene odvijaju se u vodi zadržanoj od strane ionskog izmjenjivača. Ta voda zaostala je nakon procesa bubrenja ionske mase. Sadržaj vode u naizgled suhoj ionskoj smoli može biti veći od 50% ukupne mase[7].



Slika 10: Struktura kationske izmjene zamjenom H^+ iona za Na^+ ione[7]

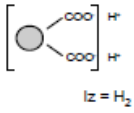
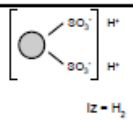
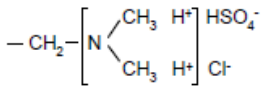
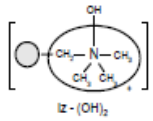
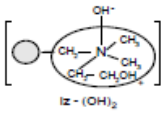
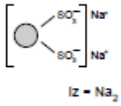
Ionski izmjenjivač (ionska masa) je materijal koji ima svojstvo reverzibilne izmjene iona u vodenim otopinama.

Svojstva ionskih izmjenjivača:

- hidrofilna struktura pravilne i reproducibilne forme
- kontroliran i učinkovit kapacitet izmjene
- reverzibilna i brza izmjena iona
- kemijska stabilnost s obzirom na elektrolitne otopine
- fizikalna stabilnost s obzirom na mehaničku čvrstoću i otpornost prema mrvljenju
- termička stabilnost
- odgovarajuća te ujednačena veličina zrna
- izražena selektivnost –anionski/kationski izmjenjivač

Izmjena vode odvija se na aktivnim skupinama, a prema vrsti iona koji se izmjenjuju, dijele se na kationske i anionske izmjenjivače[7].

Tablica 3: Osnovna podjela ionskih izmjenjivača[7]

Kemijska karakteristika	Aktivna grupa	Karakteristika izmjene	Korisni kapacitet K_k [val/L]	Sredstvo za regeneraciju
Slabo kiseli kationski K1		Izmjena kationa slabih kiselina (kationa soli karbonatne tvrdoće) KT $Ca(HCO_3)_2$; $Mg(HCO_3)_2$; $NaHCO_3$.	1÷3	HCl (H_2SO_4)
Jako kiseli kationski K2		Izmjena svih kationa iz vode (Bazna tvrdoća: BT="m" alk +AT_1): Ca^{2+}, Mg^{2+},Na^+	0,8÷2	HCl (H_2SO_4)
Slabo bazni anionski A1		Izmjena s anionima jakih mineralnih kiselina (AT_1,SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3)	0,8÷1,5	NaOH
Jako bazni anionski A2	tip1 	Izmjena svih aniona iz dekationirane vode: $AT=AT_1+AT_2$	0,5÷1	NaOH
Jako bazni anionski A2	tip2 	Izmjena svih aniona iz dekationirane vode $T=AT_1+AT_2$, slabije veže kremičnu kiselinu ($HSiO_3^-$)	0,5÷1,4	NaOH
Jako kiseli kationski		Izmjena soli ukupne tvrdoće (UT=CaT+MgT)	0,8÷2	NaCl

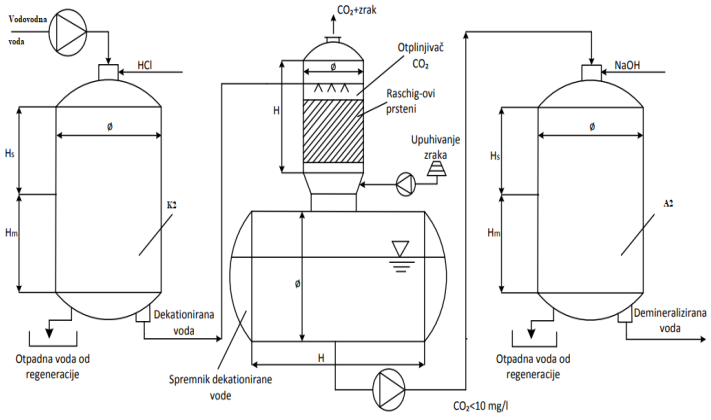
3.2. Demineralizacija ionskom izmjenom

Postupak deionizacije podrazumijeva uklanjanje otopljenih iona iz otopine prolaskom kroz sloj smole koja služi za izmjenu iona. Smole imaju visoku mehaničku čvrstoću i kemijski su stabilne, s dugim vijekom trajanja[9].

Sustav za demineralizaciju vode (jako kisela kationska izmjena+sustav otplinjavanja +jako bazna anionska izmjena)

Ovi sustavi sastoje se od posuda od kojih jedna sadrži kationsku izmjenjivačku smolu u vodikovom (H^+) obliku, druga sadrži anionsku smolu u obliku hidroksida (OH^-). Voda teče kroz kationski spremnik, nakon čega se svi kationi izmjenjuju za vodikove ione. Zatim tako dekationirana i dekarbonizirana izlazi iz kationskog filtra potpuno bez tvrdoće, ali je kisela, pH je snižen, tj. voda sadrži mineralne kiseline koje su nastale ionskom izmjenom kationa Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ s H^+ ionima, nakon toga voda teče kroz otplinjivač u koji se pomoću

ventilatora dovodi zrak i time se ispuhuje karbonatna kiselina. Otplinjavanje CO_2 iz vode vrši se u otplinjaču koji je zatvorena cilindrična posuda,ispunjena kontaktnom masom, to su Rashigovi prstenovi, a služe za povećanje kontaktne površine između vode i zraka. U otplinjač na vrhu ulazi voda i raspršuje se poput tuša preko cijelog presjeka površine otplinjača na Rashigove prstenove i cijedi prema dnu. Protustrujno prema gore, ispod perforiranog dna, na kojem leže Rashigovi prstenovi, puše se pomoću ventilatora zrak, koji odlazi u atmosferu odnoseći sa sobom CO_2 iz vode. Otplinjač radi pod atmosferskim pritiskom. U sklopu otplinjača nalazi spremnik u kojem se skuplja otplinjena voda koja se dalje pumpom transportira na daljnju obradu. Količina CO_2 koja nakon otplinjavanja ostaje u vodi iznosi do 10mg/l. Voda se sa sadržanim CO_2 zatim pumpom transportira u komoru anionskog filtra gdje se anioni Cl^-, $SO_4{}^{2-}$ i $NO_3{}^-$ izmjenjuju sa OH^- ionima. Voda koja izlazi je odsoljena i neutralna. Pumpa koja tlači vodu u spremnik demineralizirane vode elektromotorom je vezana za nadzorni upravljački sustav koji će nakon što voda u spremniku postigne gornju dozvoljenu razinu (LSH) signalizirati elektromotoru da je spremnik dovoljno napunjen i pumpa će se isključiti. U slučaju kada se spremnik isprazni do dozvoljene razine (LSL) pumpa će se istom metodom ponovno uključiti i dobavljati vodu u spremnik. Demineralizirana voda se iz spremnika cijevnim razvodom dobavlja u laboratorije. Prije opskrbljivanja laboratorija voda prolazi kroz UV filtar koji služi za dezinfekciju vode. Dezinficiranje vode ultraljubičastim svjetlom izuzetno je jednostavno, učinkovito i ekološki sigurno. UV sustavi uništavaju 99,99% štetnih mikroorganizama bez dodavanja kemikalija ili mijenjanja ukusa ili mirisa vode. Općenito, sustav za demineralizaciju koji se sastoji od jako kiselog kationskog izmjenjivača, otplinjivača CO_2 i jako baznog anionskog izmjenjivača najjednostavniji je raspored i s njim se može dobiti deionizirana voda koja se može koristiti u širokoj uporabi[10].



Slika 11: Proces demineralizacije

4. Proračun postrojenja

4.1. Parametri vodovodne vode iz mreže

Tablica 4. Mineralni sastav vode pripremljene za demineralizaciju

Temperatura (°C)	14,2
pH-vrijednost	7,65
Vodljivost (µS/cm)	409,22
Nitrat ($mgNO_3^-/L$)	23
Klorid ($mgCl^-/L$)	18
Sulfat ($mgSO_4^{2-}/L$)	43
Fluorid (µg/L)	65
Natrij (mg/L)	7,5
Kalij (mg/L)	1,4
Željezo (µg/L)	<20
Mangan (µg/L)	<2
Kalcij (mg/L)	70
Magnezij (mg/L)	15
Ukupna tvrdoća (mval/L)	4.75
Karbonatna tvrdoća (mval/L)	3,31
Mutnoća (NTU)	0,15
Utrošak $KMnO_4$ (mgO_2/L)	0,5
Amonij (mg/L)	<0,05
Bakar (µg/L)	<0,02
Cink (µg/L)	<20
Hidrogenkarbonat (mg/L)	202

Potrebno je provesti proračun za dobivanje deionizirane vode električne vodljivosti manje od 1µS/cm kojom se opskrbljuje 15 laboratorija čija je dnevna potrošnja po pojedinom laboratoriju procijenjena na 50 litara. Broj dana tijekom kojeg se laboratoriji opskrbljuju prije ponovnog punjenja spremnika deionizirane vode je 30 što znači da moramo predvidjeti spremnik koji može primiti volumen od 22,5 m^3 deionizirane vode. Odabrani protok vode kojim se spremnik puni je 4 m^3/h, a za vrijeme punjenja spremnika izabran je noćni režim u trajanju od 6h zbog manje cijene električne energije tokom noći.

4.2. Proračun spremnika

Proračun spremnika deionizirane vode:

$V_{demi} = 22{,}5\ m^3$

D=2,5m →Odabrani promjer spremnika

$V_{demi} = \frac{D^2\pi}{4} \times H$ gdje je H visina demineralizirane vode

$$H = \frac{4 \times V_{demi}}{D^2\pi} = 4{,}584m$$

Visina spremnika mora biti veća od visine H. Uzimamo da je visina spremnika:

$$H_{spremnika} = 5m$$

Debljina stjenke plašta:

$$s = \frac{D \times p}{20 \times \frac{K}{S} v + p} + c_1 + c_2$$

p = 6 bar - proračunski tlak

D = 2500mm - odabrani promjer

K = 200,5 N/mm² - proračunska čvrstoća na radnoj temperaturi

S = 1,5 - stupanj sigurnosti za valjani i kovani čelik

$v = 1$ - koeficijent oslabljenja

$c_1 = 0{,}5mm$ - dodatak za dopušteno odstupanjematerijala za debeli lim

$c_2 = 1\ mm$- dodatak za smanjenje debljine lima korozijom i trošenjem za feritne čelike

$$s = \frac{1500 \times 6}{20 \times \frac{200{,}5}{1{,}5} \times 1 + 6} + 0{,}5 + 1 = 4{,}86mm$$

s=5mm

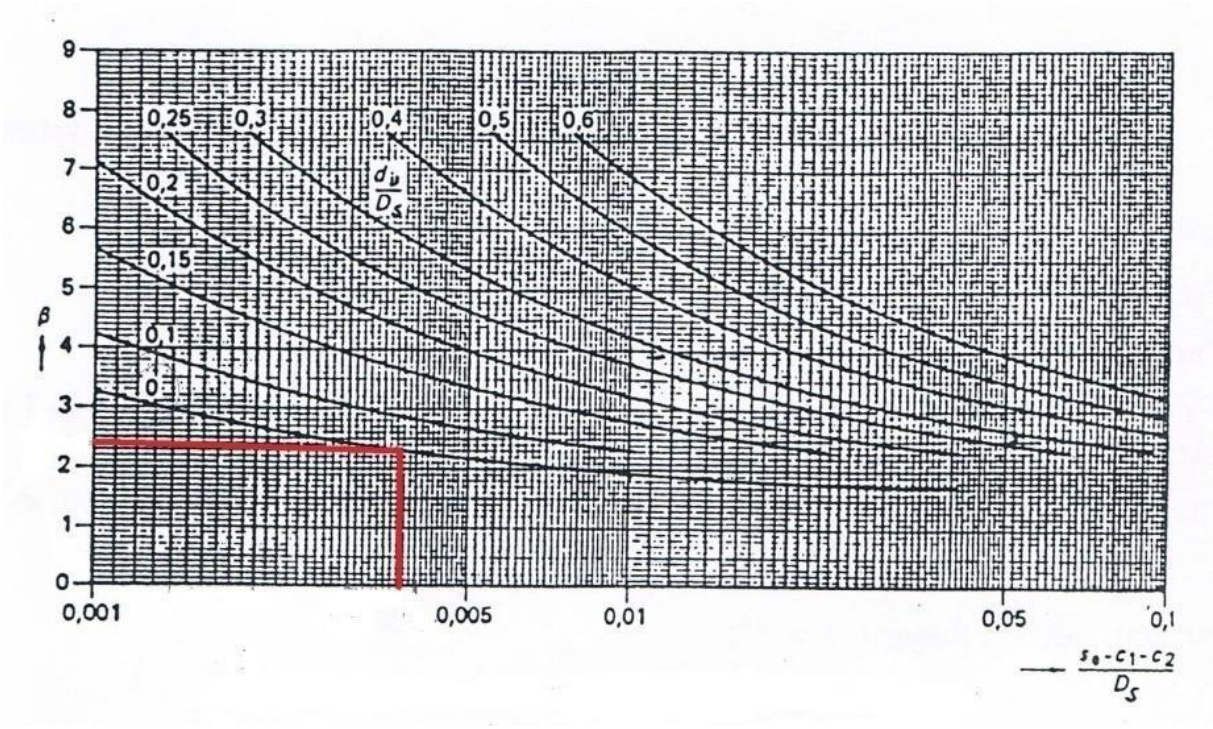
Debljina stjenke podnice:

$$s_p = \frac{D \times p \times \beta}{40 \times \frac{K}{S} v} + c_1 + c_2$$

$$\beta = f(\frac{du}{D}, \frac{s - c_1 - c_2}{D})$$

β - faktor za duboke podnice

$d_u = 0$ - podnica nema izreza



Slika 12: Koeficijent oslabljenja β za visoku podnicu bez izreza

Nakon provedene iteracije dobiva se da je

β =2,6

$$s_p = \frac{2500 \times 6 \times 2{,}6}{40 \times \frac{200{,}5}{1{,}5} \times 1} + 0{,}5 + 1 = 8{,}8mm$$

$s_p = 9mm$

Dimenzije spremnika demineralizirane vode: ϕ2500mm× $5000m \times 5/9mm$

4.3. Osnovni proračun

Jako kisela kationska izmjena – (K_2)

Proračun potrošnje kemikalija

Kemikalija koja se upotrebljava kod jako kisele kationske izmjene je HCl, a služi za regeneraciju mase kada dođe do zasićenja. Uzeto je da je količina regeneracije 1,05

Q = 4 m³/h

$\tau = 6h$

''m'' alkalitet = KT= 3,1 mval/L

$AT_1 = suma\ sadržaja\ \ CL^-, SO_4^{2-}, NO_3^-$

$AT_1 = 1{,}78\ mval/L$

$BT = KT + AT_1 = 3{,}1 + 1{,}78 = 4{,}88\ \frac{mval}{L}$

$HCl\ 100\% = BT \times Q \times \tau \times 1{,}05$

$HCl\ 100\% = 4{,}88 \times 4 \times 6 \times 1{,}05 = 126{,}5\ val/reg$

$E_t = \frac{M}{v}\ mg/mval$ - ekvivalentna težina kemijskog spoja

M=36,46 mg/mmol - molarna masa spoja

v=1 - valencija atoma

$E_t = 36{,}46\ g/val$

$HCl\ 100\% = 36{,}46 \times 126{,}5 \times 10^{-3} = 4{,}61\ kg/reg$

$HCl\ 30\% = HCl\ 100\%/0{,}3 = 15{,}4\ kg/reg$

$HCl\ 30\%_{lit} = \frac{HCl\ 30\%}{\rho}\ l/reg$(za $\vartheta = 20°\ ;\ \rho HCl_{30\%} = 1{,}149 g/cm^3$)

$HCl\ 30\%_{lit} = 13{,}4\ l/reg$

$HCl\ 6\%_{lit} = \frac{HCl\ 6\%}{\rho}\ l/reg(za\ \vartheta = 20°\ ;\ \rho HCl_{6\%} = 1{,}028\ g/cm^3$

$HCl\ 6\% = HCl\ 100\%/0{,}06 = 153{,}67\ kg/reg$

$HCl\ 6\%_{lit} = 149{,}48\ l/reg$

Nakon što se jako kisela ionska masa u izmjenjivaču zasiti troši se 149,48 l šest postotne klorovodične kiseline za regeneraciju ionske mase.

Proračun posude za regeneraciju

$V_p = 1{,}2 \times HCl\ 30\%_{lit}\ \ L$

$V_p = 1{,}2 \times 13{,}4 = 16{,}08\ L$

$V_p = 20\ L$ Usvojeno!

$H_p = 0{,}5\ m \rightarrow$ Odabrano - visina posude

$A_p = \frac{V_p}{H_p} = \frac{0{,}02}{0{,}5} = 0{,}04\ m^2$ - površina posude

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A_p}{\pi}} = 225\ mm$$

Debljina stjenke plašta

$$s = \frac{d \times p}{20 \times \frac{K}{S} v + p} + c_1 + c_2$$

$$s = \frac{225 \times 6}{20 \times \frac{200{,}5}{1{,}5} \times 1 + 6} + 0{,}5 + 1 = 2{,}004mm$$

$s = 2mm$

Dimenzije posude za HCl 30% : $\phi 225\text{mm} \times 500\text{mm} \times 2\text{mm}$

Dimenzioniranje K2 filtra

$K_k = 1{,}2\ val/L$ - korisni volumni kapacitet ionskog izmjenjivača

$$V_{mK_2} = \frac{Q \times BT \times \tau}{K_k}$$

$$V_{mK_2} = \frac{4 \times 4{,}88 \times 6}{1{,}2} = 97{,}6\ L$$

$V_{mK_2} = 100\ L$

Pretpostavljena visina ionske mase (MonoPlus s108):

$$H_{mK_2} = 700mm$$

$$A_{mK_2} = \frac{V_{mK_2}}{H_{mK_2}} = 0{,}143m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = 0{,}426m$$

$$d = 450mm$$

$$V_{K_2} = 2 \times V_{mK_2} = 200\ L$$

$$H_{K_2} = \frac{V_{K_2}}{A} = 1400mm$$

Kontrola brzine:

$v = \frac{Q}{A} = 28m/h < 50\ m/h$ Zadovoljava!

Debljina stjenke plašta

$$s = \frac{d \times p}{20 \times \frac{K}{S} \times v + p} + c_1 + c_2$$

$$s = \frac{350 \times 6}{20 \times \frac{200{,}5}{1{,}5} \times 1 + 6} + 0{,}5 + 1 = 2{,}53mm$$

$$s = 3mm$$

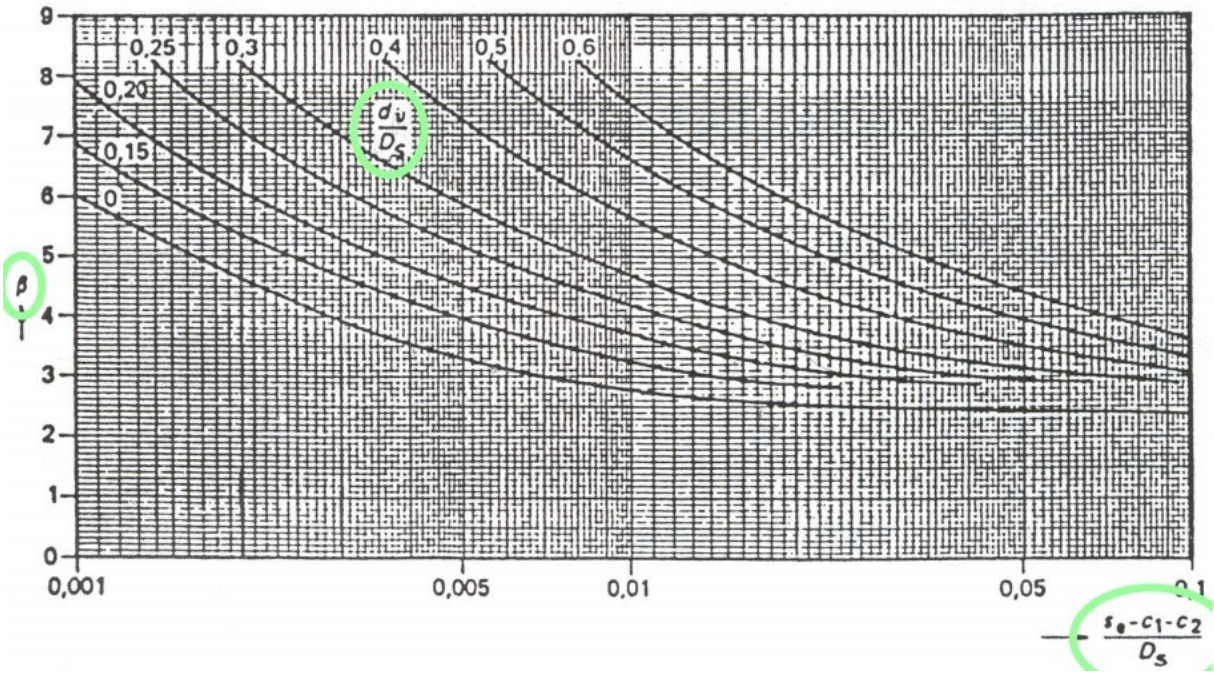
Debljina stjenke podnice

$$s_p = \frac{d \times p \times \beta}{40 \times \frac{K}{S} \times v} + c_1 + c_2$$

$$\beta = f(\frac{du}{D}, \frac{s - c_1 - c_2}{D})$$

β - faktor za duboke podnice

$d_u = 0$ - podnica nema izreza



Slika 13: Proračunski koeficijent β za plitke podnice

$d_u = 0\ mm$

Nakon provedene iteracije dobiva se:

β= 3,6

$s_p = 3\ mm$

Dimenzije jako kiselog kationskog filtra :

$\phi 450mm \times 1400mm \times \frac{3mm}{3mm}$

Otplinjivač CO_2

Proračun veličina uređaja

$Q = 4\ m^3/h$ - protok vode

$c_p = 30\ m/h$ - brzina strujanja vode kroz otplinjivač (30÷ 50)

$H_{pr} = 1000mm\ \ Odbrano!$- visina punjenja Raschigovim prstenima

$H_s = 500\ mm\ \ Odabrano!$ - visina slobodnog prostora

$$A = \frac{Q}{c_p} = 0{,}133\ m$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = 0{,}412m$$

d = 400 mm

Debljina stjenke plašta

$$s = \frac{d \times p}{20 \times \frac{K}{S} \times v + p} + c_1 + c_2$$

$$s = \frac{200 \times 6}{20 \times \frac{200{,}5}{1{,}5} \times 1 + 6} + 0{,}5 + 1 = 2{,}4mm$$

$$s = 2{,}5mm$$

Dimenzije otplinjivača iznose:

ϕ400mm× $1500mm \times 2{,}5mm$

Potrebna količina zraka:

$v_z = 50 \frac{m^3 zraka}{m^3 vode}$ - brzina strujanja zraka

$V_z = v_z \times Q = 50 \times 4 = 200\ m^3\ zraka/h$- potrebna količina zraka

$\Delta p = 2500\ Pa$

Spremnik dekationirane vode

Vrijeme retencije: 15-30 min

$\tau = 0{,}4\ h\ \ Odabrano!$

$V = \tau \times Q = 1{,}6\ m^3$- volumen spremnika dekationirane vode

$c_p = 10\ m/h$ Odabrano!

$$A = \frac{Q}{c_p} = 0{,}4\ m^2$$

$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$ =700 mm

$H = \frac{V}{\frac{d^2\pi}{4}}$ =4,2m

Debljina stjenke plašta

$$s = \frac{d \times p}{20 \times \frac{K}{S} \times v + p} + c_1 + c_2$$

$$s = \frac{350 \times 6}{20 \times \frac{200,5}{1,5} \times 1 + 6} + 0,5 + 1 = 3,067mm$$

$s = 3mm$

Debljina stjenke podnice

$$s_p = \frac{d \times p \times \beta}{40 \times \frac{K}{S} \times v} + c_1 + c_2$$

$$\beta = f(\frac{du}{D}, \frac{s - c_1 - c_2}{D})$$

β - faktor za plitke podnice

$d_u = 0$ - podnica nema izreza

Nakon provedene iteracije slijedi da je

β= 3,5

$s_p = 4mm$

Konačne dimenzije spremnika :

$$\Phi 750mm \times 4200mm \times \frac{3mm}{4mm}$$

Jako bazna anionska izmjena – $(\boldsymbol{A_2})$

Proračun potrošnje kemikalija

Kemikalija koja se upotrebljava kod jako kisele anionske izmjene je NaOH. Praktična regeneracija obavlja se 1,5 puta većom količinom od teorijske.

$AT = AT_1 + AT_2 \ \ mval/L$ - ukupna anionska tvrdoća

$AT_1 = \text{“} - m\text{"}alkalitet\ \ mval/L$ - anionska tvrdoća jedan

$AT_1 = 1{,}78\ mval/L$

$AT_2 = sadržaj CO_2 + SiO_2\ \ mval/L$- anionska tvrdoća dva

Sadržaj ugljičnog dioksida nakon prolaska kroz otplinjivač iznosi približno 10 mg/L pa je tvrdoća ugljične kiseline

$CO_2 = \frac{mg/l CO_2}{44{,}01\ mg/mval}\ \ mval/L$ - tvrdoća ugljične kiseline

$CO_2 = \frac{10}{44{,}01} = 0{,}227\ mval/L$

$SiO_2 = \frac{mg/l SiO_2}{60{,}08\ mg/mval}\ \ mval/L$- tvrdoća SiO_2

$SiO_2 = \frac{0}{60{,}08} = 0\ mval/L$

$AT_2 = 0{,}227 + 0 = 0{,}227\ mval/L$

$AT = 1{,}78 + 0{,}4434 = 2{,}577\ mval/L$

$\tau = 6h$ - vrijeme rada filtera između

dvije regeneracije

Q = 4 m³/h - volumni protok vode

$NaOH\ 100\% = AT \times Q \times \tau \times 1{,}5\ val/reg$

$NaOH\ 100\% = 2{,}577 \times 4 \times 6 \times 1{,}5 = 92{,}772\ val/reg$

$E_t = \frac{M}{v}\ mg/mval$ - ekvivalentna težina kemijskog spoja

M=40 mg/mmol - molarna masa spoja

v=1 - valencija atoma

$E_t = 40\ g/val$

$NaOH\ 100\% = 92{,}772 \times 40 \times 10^{-3} = 3{,}711\ kg/reg$

$NaOH\ 40\% = NaOH\ 100\%/0{,}4$ kg/reg

$NaOH\ 40\% = \frac{3{,}71}{0{,}4} = 9{,}2772\ kg/reg$

$NaOH\ 40\%_{lit} = \frac{NaOH\ 40\%}{\rho}\ L/reg (\text{za}\ \vartheta = 20°; \rho(NaOH\ 40\%) = 1{,}43\ g/cm^3)$

$NaOH\ 40\%_{lit} = 6{,}5\ L/reg$

$NaOH\ 2\% = NaOH\ 100\%/0{,}02$kg/reg =185,55 kg/reg

$$NaOH\ 2\%_{lit} = \frac{NaOH\ 2\%}{\rho}\ (za\ \vartheta = 20°\ \rho(NaOH\ 2\%) = 1{,}020 g/cm^3)$$

$NaOH\ 2\%_{lit} = 181{,}91\ l/reg$

Nakon zasićenja jako bazne anionske ionske mase utroši se 181,91 *l/reg* NaOH 2% za regeneraciju ionske mase.

Proračun posude za regeneraciju

$V_p = 1{,}2 \times$ NaOH $40\%_{lit} = 7{,}8\ L$

$V_p = 10\ L$ Usvojeno!

Dimenzije posude

$H_p = 0{,}50m\ \ Odabrano!$ - odabrana visina posude

$A_p = \frac{V_p}{H_p} = \frac{0{,}01}{0{,}5} = 0{,}02\ m^2$ - površina posude

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A_p}{\pi}} = 160\ mm$$

Debljina stjenke plašta

$$s = \frac{d \times p}{20 \times \frac{K}{S} v + p} + c_1 + c_2$$

$$s = \frac{160 \times 6}{20 \times \frac{200{,}5}{1{,}5} \times 1 + 6} + 0{,}5 + 1 = 1{,}86mm$$

$s = 2mm$

Dimenzija posude : ϕ160mm× $500mm \times 2mm$

Dimenzioniranje A2 filtra

$K_k = 0{,}5\ val/L$- korisni volumni kapacitet ionskog izmjenjivača

$$V_{mA_2} = \frac{Q \times AT \times \tau}{K_k}$$

$$V_{mA_2} = \frac{4 \times 2{,}577 \times 6}{0{,}5} = 123{,}7\ L$$

$$V_{mA_2} = 125\ L$$

Pretpostavljena visina ionske mase (MonoPlus M500):

$$H_{mA_2} = 800mm$$

$$A_{mA_2} = \frac{V_{mA_2}}{H_{mA_2}} = 0{,}156m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = 0{,}446m$$

$$d = 450mm$$

$$V_{A_2} = 2 \times V_{mA_2} = 250\ L$$

$$H_{A_2} = \frac{V_{A_2}}{A} = 1600mm$$

Kontrola brzine:

$v = \frac{Q}{A} = 26m/h < 50\ m/h$ Zadovoljava!

Debljina stjenke plašta

$$s = \frac{d \times p}{20 \times \frac{K}{S} \times v + p} + c_1 + c_2$$

$$s = \frac{450 \times 6}{20 \times \frac{200{,}5}{1{,}5} \times 1 + 6} + 0{,}5 + 1 = 2{,}5mm$$

$$s = 2{,}5mm$$

Debljina stjenke podnice

$$s_p = \frac{d \times p \times \beta}{40 \times \frac{K}{S} \times v} + c_1 + c_2$$

$$\beta = f(\frac{du}{D}, \frac{s - c_1 - c_2}{D})$$

β - faktor za plitke podnice

$d_u = 0$ - podnica nema izreza

Nakon provedene iteracije slijedi da je

β =3,6

$s_p = 3mm$

Dimenzije jako baznog anionskog filtera :

$\phi 450mm \times 1600mm \times \frac{2,5mm}{3mm}$

4.4. Potrošnja energije za demineralizaciju

Potrošnju energije čine dvije identične pumpe za demineralizaciju, dvije identične pumpe za regeneraciju i jedna za ventilator.

- Snaga pumpe za demineralizaciju

$Q = 4m^3/h$
$\Delta p = 3\ bar$
$\eta = 0,7$

$$P = \frac{\Delta p \times Q}{\eta}$$

$$P = \frac{300000 \times \frac{4}{3600}}{0,7}$$

$$P = 476,2W = 500\ W$$

Specifična potrošnja energije za jednu pumpu: $\frac{P}{Q} = \frac{0,5}{4} = 0,125\ kWh/m^3$

- Snaga pumpe za regeneraciju

Q =3,5 m³/h
Δp =200kPa

$\eta = 0,7$

$$P = \frac{\Delta p \times Q}{\eta}$$

$$P = \frac{200000 \times \frac{3,5}{3600}}{0,7}$$

P = 280W

Specifična potrošnja energije za jednu pumpu:$\frac{P}{Q} = \frac{0,280}{4} = 0,07\ kWh/m^3$

- Snaga ventilatora

  Q =5000 m³/h

  $\Delta p = 2500\ Pa$

  $\eta = 0,7$

  $$P = \frac{\Delta p \times Q}{\eta}$$

  $$P = \frac{2500 \times \frac{5000}{3600}}{0,7}$$

  P = 5000 W

Specifična potrošnja energije za jednu pumpu:

$$\frac{P}{Q} = 0,001\ kWh/m^3$$

Ukupna specifična potrošnja energije:

$$w_{el} = 2 \times 0,125 + 2 \times 0,07 + 0,001 = 0,391\ kWh/m^3$$

Broj komada pumpi i broj ventilatora uzet je dvostruko puta veći u slučaju kvara ili remonta na njima.

Tablica 5: Popis opreme za demineralizaciju

Oprema	Broj komada	Dimenzije (mm)	Volumen (L)	Snaga (kW)
Spremnik demineralizirane vode	1	$Ø2500 \times 5000 \times 5/9$	25000	
K2 posuda	1	$Ø450 \times 1400 \times 3/3$	225	
K2 masa	-	-	100	
Posuda za HCl (30%)	1	$Ø225 \times 500 \times 2$	20	
Pumpa za HCl (30%)	2	-	-	0,280
Otplinjivač	1	$Ø400 \times 1500 \times 2{,}5$	125	
Spremnik dekationirane vode	1	$Ø750 \times 4200 \times 3/4$	1600	
A2 posuda	1	$Ø450 \times 1600 \times 3/3$	250	
A2 masa	-	-	125	
Posuda za NaOH (40%)	1	$Ø160 \times 500 \times 2$	10	
Pumpa za NaOH (40%)	2	-	-	0,280
Pumpa za demineralizaciju	4	-	-	0,4
Ventilator	2	-	-	5

5. Zaključak

U teorijskom dijelu ovog rada ukratko su opisani razni tehnološki postupci pripreme deionizirane odnosno demineralizirane vode koja je u praksi poznata još kao ultra čista voda koja se pretežno koristi u laboratorijske svrhe. Kao izbor tehnološkog postupka odabrana je ionska izmjena te je u nastavku predložen proračun rješavanja pripreme demineralizirane vode kojom je potrebno opskrbiti 15 laboratorija pri čemu treba uzeti u obzir da je proizvedena demineralizirana voda srednje kvalitete električne vodljivosti manje od 1 µS/cm. Također je prikazana specifična potrošnja električne energije izražene po m³ obrađene vode. U prilogu je dana tehnološka shema postrojenja s posudama, armaturom i opremom za automatski rad kao i prikaz cijevnog razvoda i smještaja opreme.

LITERATURA

[1] Smart H_2O for youandyourscience, https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LED/Product-Guides/Full-Water-Book-EN.pdf

[2] Laboratory water – Office of Research Facilities – NIH,

https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LED/Product-Guides/Full-Water-Book-EN.pdf

[3] Ultrapure water, https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrapure_water

[4] Ultrafiltration, https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrafiltration

[5] SustainableLaboratoryGoodPracticeGuide,

https://www.strath.ac.uk/media/ps/estatesmanagement/sustainability/labs/S-Labs-Good_Practice_Guide_120917.pdf

[6] Whatis Reverse Osmosis? – PuretecIndustrial Water,

https://puretecwater.com/reverse-osmosis/what-is-reverse-osmosis

[7] Ionski izmjenjivači u tehnologiji vode,

https://eucenje.fsb.hr/pluginfile.php/57682/mod_resource/content/1/Ionski%20izmjenjiva%C4%8Di_2017_2018.pdf

[8]Omekšavanje vode i demineralizacija ionskom izmjenom,

http://www.prima-teh.hr/services/ionics.htm

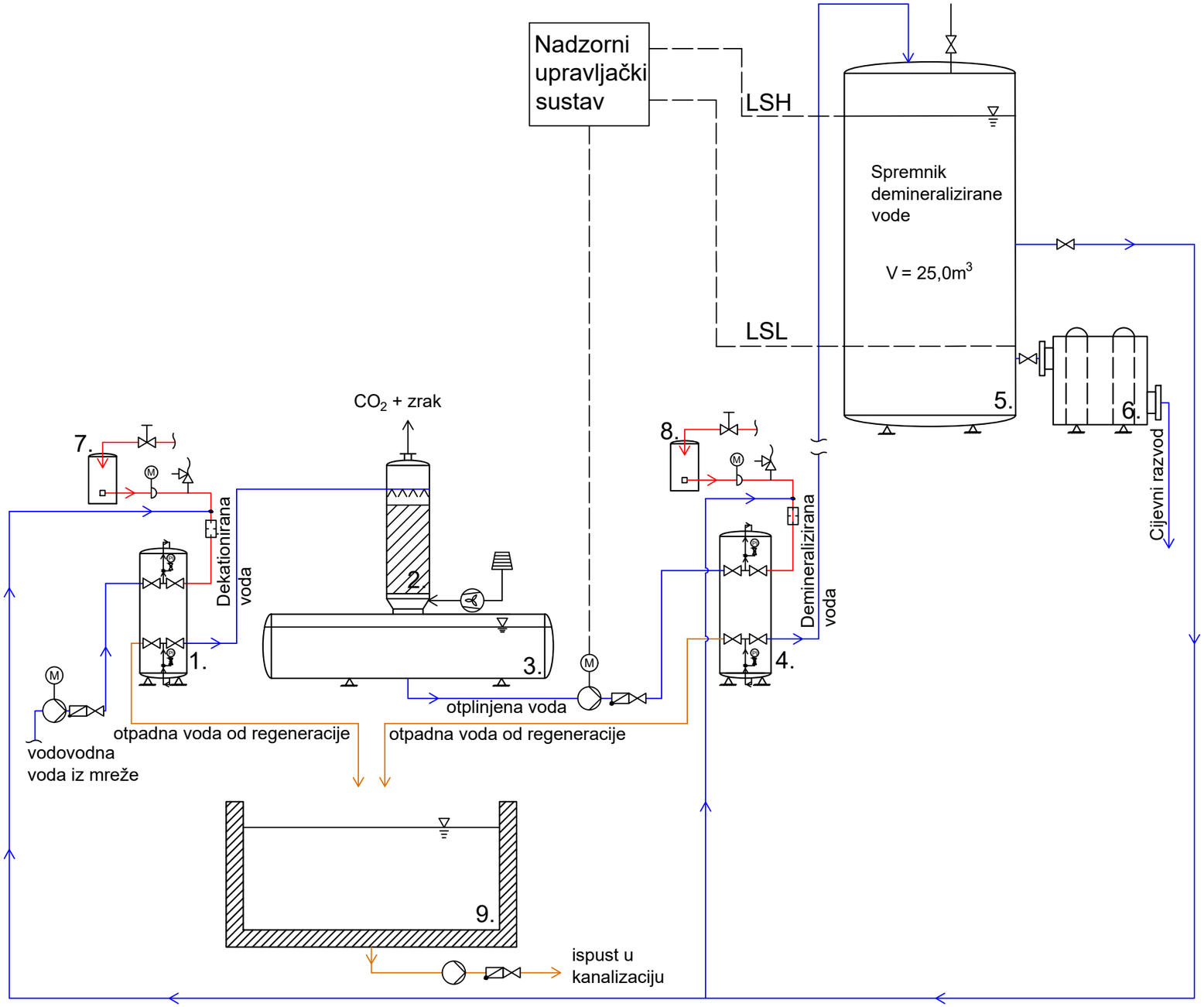
[9] **http://hr.sceniclanjing.com/news/the-little-knowledge-of-ion-exchange-resin-24692279.html**

[10] **https://www.freedrinkingwater.com/whole-house/water-filter-knowledge-base/how-does-ultraviolet-water-purification-work.htm**

PRILOZI

I. CD-R-disk

II. Tehnička dokumentacija



sigurnosni ventil

zaporni ventil

ručni pogon armature

statički mješač

nepovratni prolazni ventil

PI manometar

ventilator

M membranska pumpa sa elektromotorm

M centrifugalna pumpa sa elektromotorm

nepovratna zaklopka

LEGENDA:

1. Jako kiseli kationski izmjenjivač
2. Otplinjivač
3. Spremnik dekationirane vode
4. Jako bazni anionski izmjenjivač
5. Spremnik demineralizirane vode
6. UV filtar
7. Posuda sa klorovodičnom kiselinom
8. Posuda sa natrijevom lužinom
9. Spremnik otpadne vode

LSH Sklopka visoke razine
LSL Sklopka niske razine

Tok vode za demineralizaciju

Tok za regenerizaciju

Tok otpadne vode

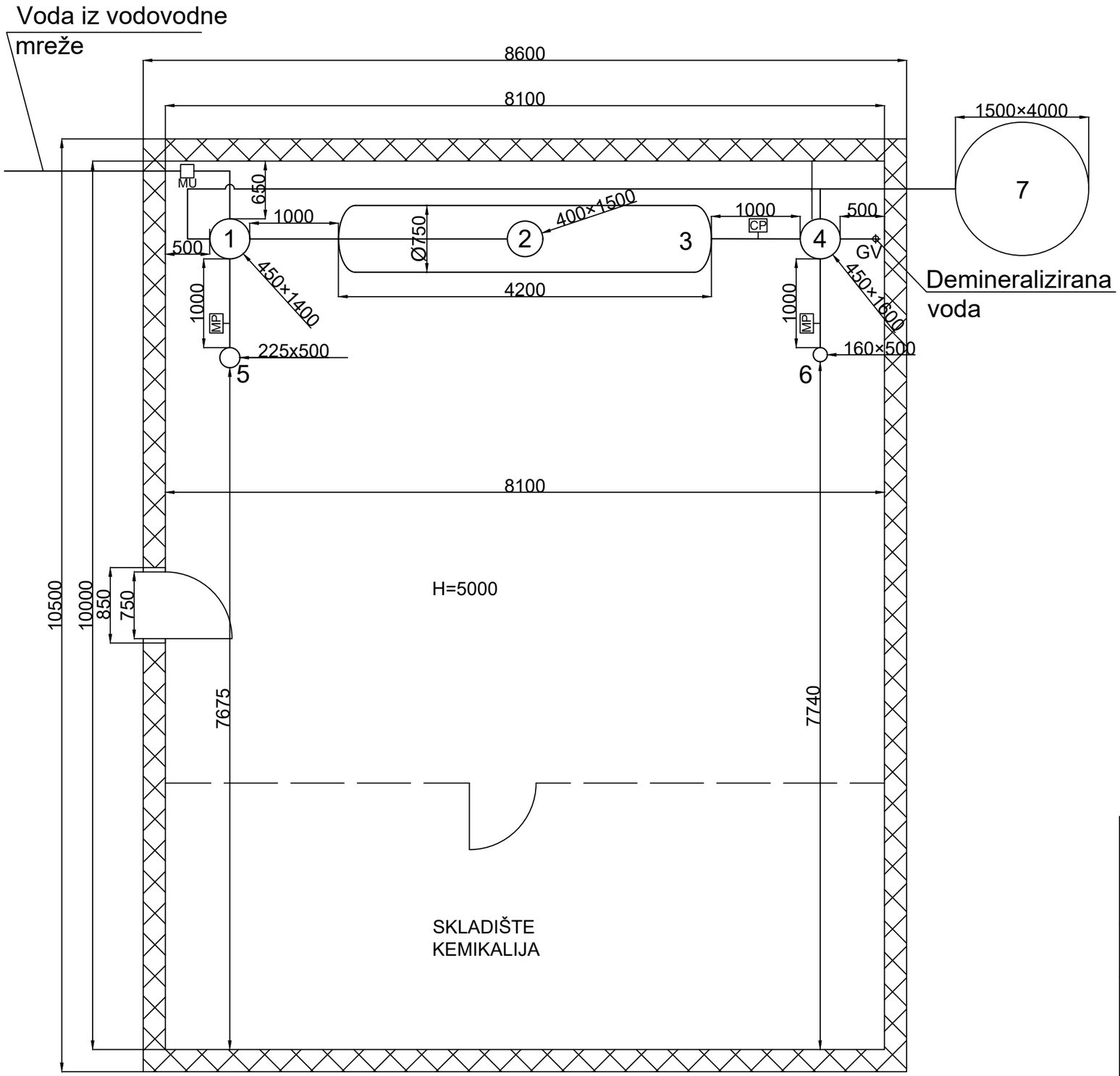
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Razradio	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Crtao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Pregledao	19.2.2020.	Dr.sc. Hrvoje Juretić, dipl.ing.	

FSB Zagreb

Objekt: TEHNOLOŠKA SHEMA

Objekt broj:

R. N. broj: ZRDV-1



LEGENDA:

1. Jako kiseli kationski izmjenjivač
2. Otplinjivač
3. Spremnik dekationirane vode
4. Jako bazni anionski izmjenjivač
5. Posuda sa klorovodičnom kiselinom
6. Posuda sa natrijevom lužinom
7. Spremnik otpadne vode

CP - Centrifugalna pumpa
MP - Membranska pumpa

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Razradio	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Crtao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Pregledao	19.2.2020.	Dr.sc. Hrvoje Juretić, dipl.ing.	

FSB Zagreb

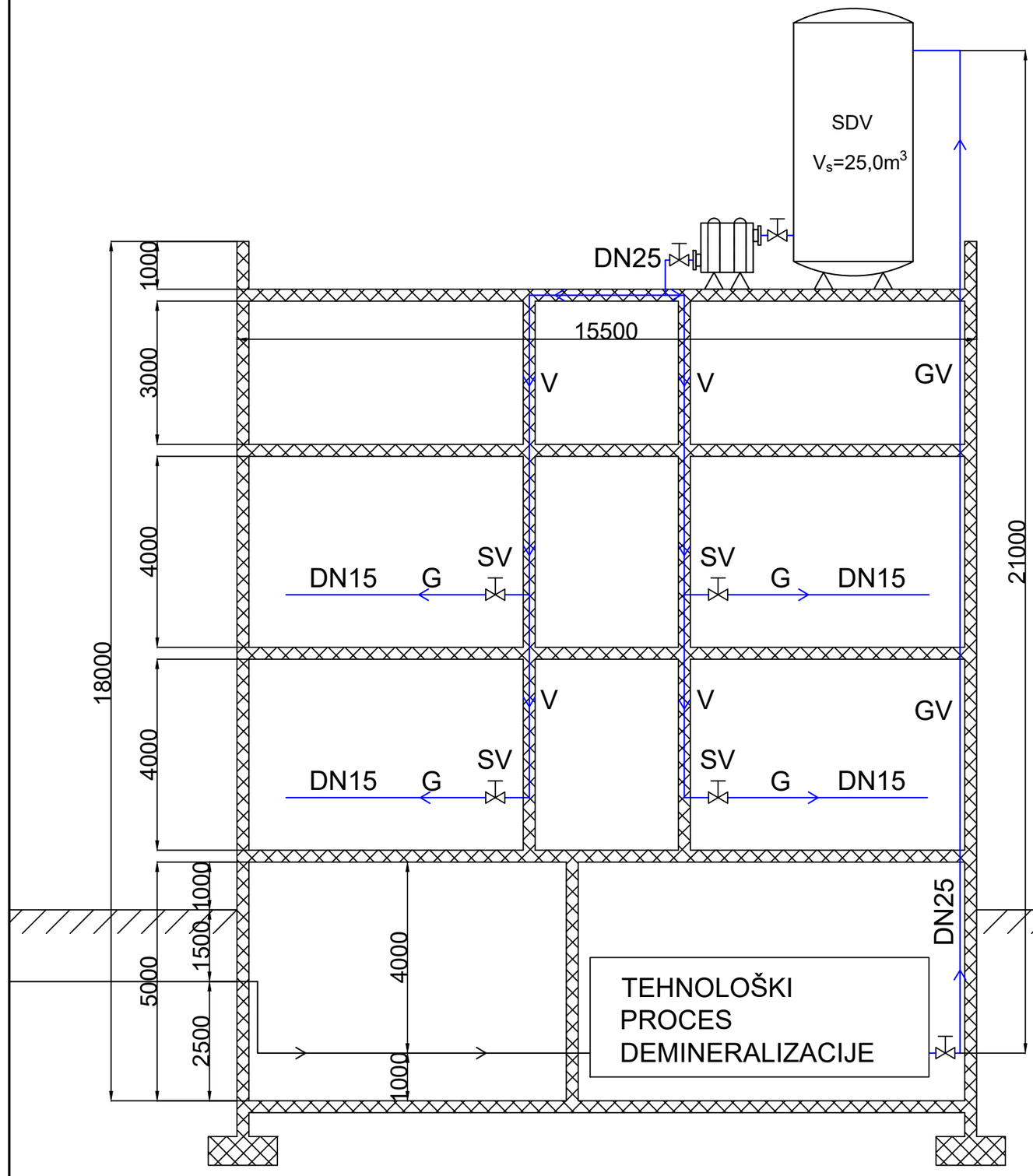
Objekt:		Objekt broj:
		R. N. broj:
Napomena:		Smjer: PROCESNO ENERGETSKI
Materijal:	Masa:	ZAVRŠNI RAD
Mjerilo originala 1:50	Naziv: SMJEŠTAJ POSTROJENJA	Pozicija:
	Crtež broj: ZRDV-2	

Kopija

Format: A3

Listova:

List:



LEGENDA:

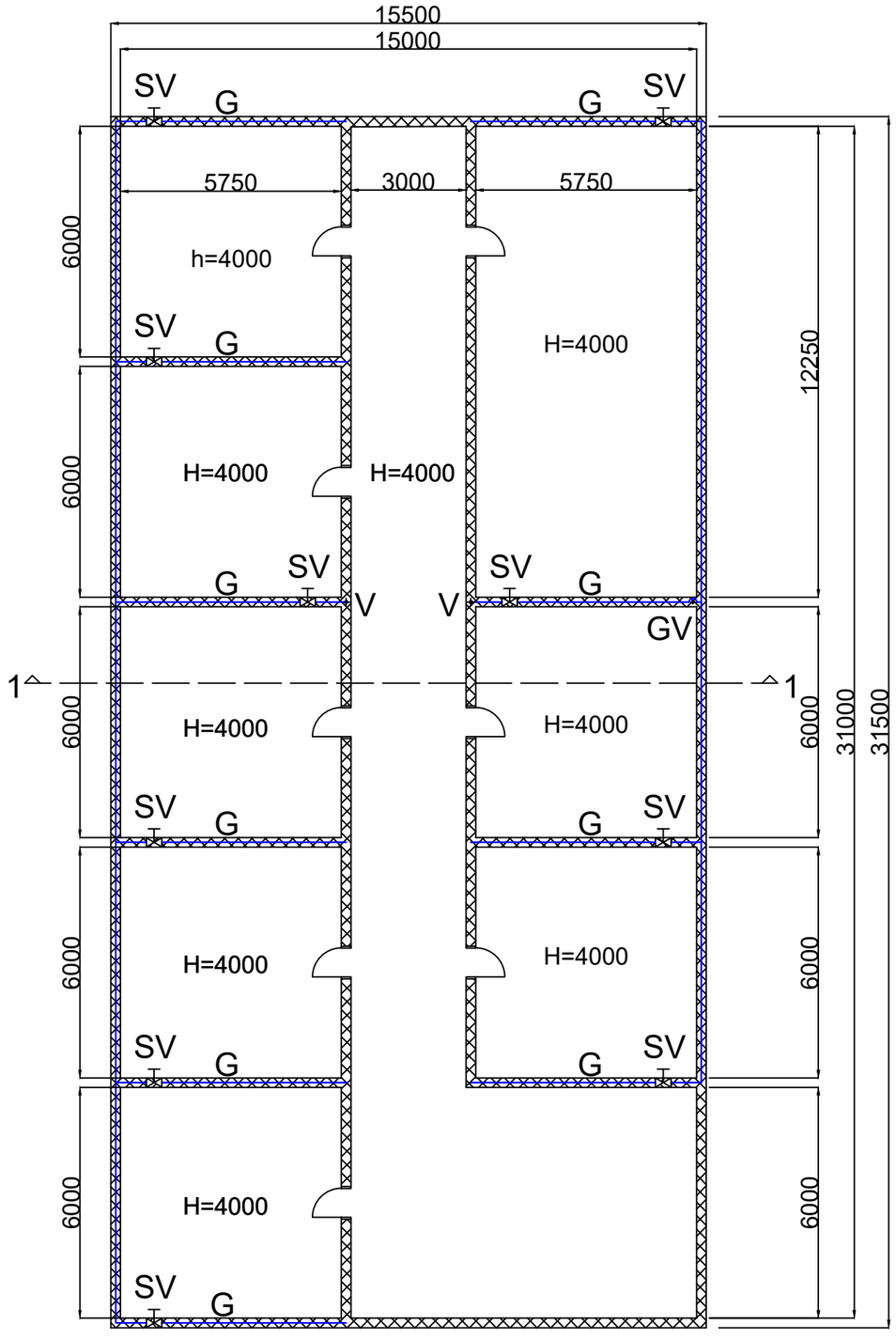
GV	Glavna vertikala
V	Vertikala
G	Grana
SV	Sigurnosni ventil
V_s	Volumen spremnika
SDV	Spremnik demineralizirane vode

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Razradio	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Crtao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Pregledao	19.2.2020.	Dr.sc. Hrvoje Juretić, dipl.ing.	

FSB Zagreb

Objekt:		Objekt broj:
		R. N. broj:
Napomena:		Smjer: PROCESNO ENERGETSKI
Materijal:	Masa:	ZAVRŠNI RAD
Mjerilo originala 1:100	Naziv: CIJEVNI RAZVOD PO VISINI ZGRADE	Pozicija:
	Crtež broj: ZRDV-3	Format: A3
		Listova:
		List:

Kopija



LEGENDA:

GV	Glavna vertikala
V	Vertikala
G	Grana
SV	Sigurnosni ventil

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Razradio	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Crtao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Pregledao	19.2.2020.	Dr.sc. Hrvoje Juretić, dipl.ing.	

FSB Zagreb

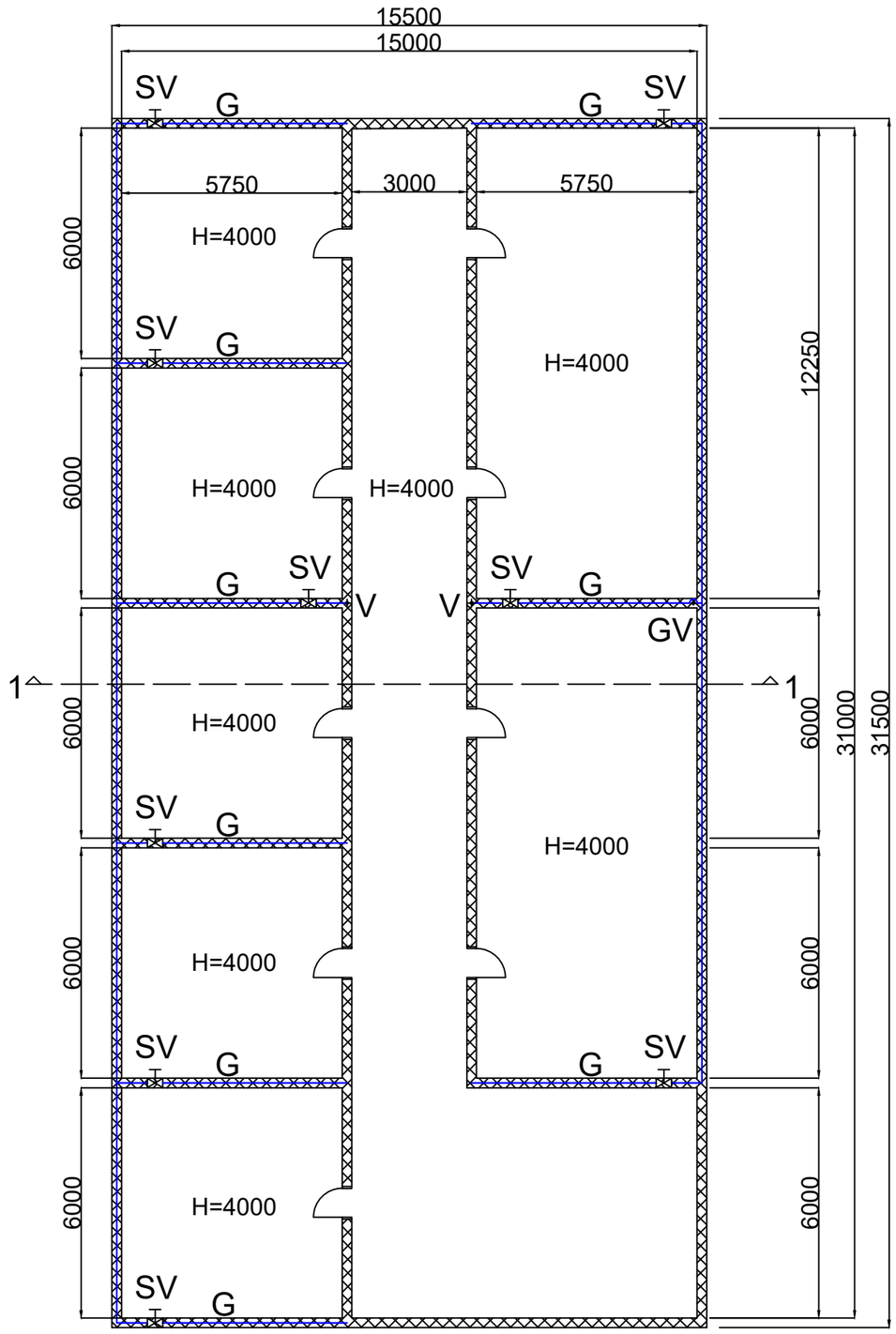
Objekt:		Objekt broj:
		R. N. broj:
Napomena:		Smjer: PROCESNO ENERGETSKI
Materijal:	Masa:	ZAVRŠNI RAD
Mjerilo originala 1:150	Naziv: CIJEVNI RAZVOD PRIZEMLJA	Pozicija:
	Crtež broj: ZRDV-4	

Kopija

Format: A3

Listova:

List:



LEGENDA:

GV	Glavna vertikala
V	Vertikala
G	Grana
SV	Sigurnosni ventil

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Razradio	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Crtao	19.2.2020.	Domagoj Valenčak	
Pregledao	19.2.2020.	Dr.sc. Hrvoje Juretić, dipl.ing.	

FSB Zagreb

Objekt:		Objekt broj:
		R. N. broj:
Napomena:		Smjer: PROCESNO ENERGETSKI
Materijal:	Masa:	ZAVRŠNI RAD
Mjerilo originala 1:150	Naziv: CIJEVNI RAZVOD PRVOG KATA	Pozicija:
	Crtež broj: ZRDV-5	

Kopija

Format: A3

Listova:

List: