

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Biotehnologija

Katarina Zorić

6255/BT

Vrste ionskih izmjenjivača za primjenu u tehnologiji vode
ZAVRŠNI RAD

Modul: Tehnologija vode

Mentor: izv. prof. dr. sc. Marin Matošić

Zagreb, 2014

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Biotehnologija
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za tehnološke i otpadne vode

Završni rad

Vrste ionskih izmjenjivača za primjenu u tehnologiji vode

Katarina Zorić 6255/BT

Sažetak: Danas se koriste ionski izmjenjivači na bazi sintetskih smola koji se sintetiziraju polimerizacijom stirena ili akrilne kiseline uz dodatak divinil-benzena, a s obzirom na strukturu kostura mogu biti gel ili makroporozni. Prema aktivnim ionskim grupama mogu biti jako i slabo kiseli ili bazni. Danas se sve više proizvode izmjenjivači ujednačene veličine zrna, tzv. monodisperzni izmjenjivači. Ionska izmjena se u tehnologiji vode koristi za: mekšanje, demineralizaciju, dekarbonizaciju, uklanjanje organskih tvari i nitrata. Za obnovu istrošenog ionskog izmjenjivača se većinom koristi protustrujna regeneracija u raznovrsnim konstrukcijama kolona od kojih su najčešće kolone s nasutim slojem (UPCORE i Amberpack) i višeslojne kolone. Najveći proizvođači ionskih izmjenjivača su: Dowex, Rohm & Haas, Lanxess Lewatit i Purolite čiji je kratak pregled dan na kraju rada. Što se tiče kolona, samo tvrtka Dowex proizvodi UPCORE, a tvrtka Rohm & Haas Amberpack kolone, dok su višeslojne kolone prisutne kod svih proizvođača osim kod tvrtke Lanxess Lewatit.

Ključne riječi: ionski izmjenjivači, obrada vode, gel struktura, makroporozni, kapacitet

Rad sadrži: 29 stranica, 5 slika, 6 tablica, 16 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku (pdf format) pohranjen u: Knjižnica
Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta

Mentor: izv. prof. dr. sc. Marin Matošić

Rad predan: lipanj 2014.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Undergraduate studies Biotechnology
Department of Food Technology Engineering
Laboratory for Technological and Waste Waters

Final Work

Types of ion exchangers for use in water technology

Katarina Zorić 6255/BT

Abstract: Ion exchangers used today are based on synthetic resins that are synthesized by polymerization of styrene or acrylic acid with the addition of divinyl-benzene. Regarding their structure they can be gel or macroporous. According to the active ionic groups they can be strong or weak, acidic or basic. Today, more and more exchangers are made in uniform particle size, and they are known as monodisperse exchangers. Ion exchange is used in water technology for: softening, demineralisation, decarbonisation as well as removal of organic matter and nitrate. For the renewal of the spent ion exchanger, counter-current regeneration is mostly used in a variety of constructions columns, of which packed bed (UPCORE and Amberpaack) and stratified bed (layered bed) are most commonly used. The largest producers of ion exchangers are: Dowex, Rohm & Haas, Lanxess Lewatit and Purolite, whose short overview is given at the end of the paper. As for the column only Dowex produces UPCORE, and Rohm & Haas produce Amberpack columns, while stratified beds are produced by all producers, with exception of Lanxess Lewatit.

Key words: ion exchangers, water treatment, gel structure, macroporous, capacity

Thesis contains: 29 pages, 5 figures, 6 tables, 16 references

Original in: Croatian

Final work in printed and electronic (pdf format) version is deposited in: Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: PhD, Marin Matošić, Associate professor

Thesis delivered: June 2014.

Sadržaj:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Povijest ionske izmjene	2
2.2. Struktura ionskih izmjenjivača	3
2.3. Princip rada	3
2.4. Podjela ionskih izmjenjivača	4
2.4.1. Podjela prema građi (strukтури)	4
2.4.2. Podjela prema vrsti naboja koji izmjenjuju	5
2.4.2.1. Slabo kiseli ionski izmjenjivač	5
2.4.2.2. Jako kiseli ionski izmjenjivač	6
2.4.2.3. Slabo bazni ionski izmjenjivač	7
2.4.2.4. Jako bazni ionski izmjenjivač	7
2.4.2.5. Miješani ionski izmjenjivač	9
2.5. Tipovi ionskih izmjenjivača	9
2.5.1.1. Izmenjivači gel strukture	9
2.5.1.2. Makroporozni izmjenjivači	9
2.5.2. Podjela ionskih izmjenjivača prema veličini zrna	10
2.6. Regeneracija	11
2.6.1. Istostrujna regeneracija	11
2.6.2. Protustrujna regeneracija	11
2.6.3. Regeneracija miješanog ionskog izmjenjivača	11
2.7. Vrste kolona za ionsku izmjenu	12
2.7.1. Kolone sa slobodnim prostorom iznad izmjenjivača	12
2.7.1.1. Kolona za istostostrujnu regeneraciju	12
2.7.1.2. Kolone za protustrujnu regeneraciju sa zadržavanjem sloja izmjenjivača	12
2.7.1.3. Višeslojna kolona	12
2.7.2. Kolone s nasutim slojem	13
2.7.2.1. Kolona s pokretnim slojem	13
2.8. Primjena	14

2.8.1. Mekšanje	14
2.8.2. Demineralizacija	14
2.8.3. Dealkalizacija (dekarbonizacija)	14
2.8.4. Uklanjanje nitrata.....	15
2.8.5. Uklanjanje organskih tvari	15
2.8.6. Ostale primjene ionske izmjene.....	15
2.9. Usporedba različitih proizvođača ionskih izmjenjivača.....	16
3. ZAKLJUČAK	28
4. LITERATURA.....	28

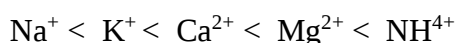
1. UVOD

Ionski izmjenjivači su krute u vodi netopljive kiseline, baze ili soli koji se sastoje od pokretnih i nepokretnih iona pri čemu dolazi do izmjene pokretnih iona sa odgovarajućim nabojem iona iz otopine u stehiometrijski ekvivalentnoj količini. Proces ionske izmjene poznat je još od davnina gdje se koristio za odsoljavanje, odnosno uklanjanje iona soli iz morske vode u svrhu dobivanja vode za piće. Danas je njena primjena raznolika, ali je princip ostao isti i zasniva se na izmjeni iona. Premda se ionski izmjenjivači koriste za izmjenu iona u različitim tekućim medijima i analitičkim instrumentima, njihova glavna upotreba je u tehnologiji vode. U radu su stoga opisane najvažnije karakteristike ionskih izmjenjivača koji se upotrebljavaju u tehnologiji vode i njihove međusobne različitosti s obzirom na građu, tip, vrstu naboja koji izmjenjuju, kolonu u kojoj se nalaze, primjenu u tehnologiji vode i naravno regeneraciju, kako bi se ponovno dobio aktivan ionski izmjenjivač. Na kraju je dan pregled najvažnijih karakteristika ionskih izmjenjivača najpoznatijih proizvođača. U zaključku se nalazi kratka usporedba ionskih izmjenjivača koji se razlikuju prema jačini disocijacije i vrsti iona koji izmjenjuju: slabo kiseli, jako kiseli, slabo bazni i jako bazni ionski izmjenjivači.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Povijest ionske izmjene

Povijest ionske izmjene seže u daleku prošlost, a najstarija od njih se nalazi u samoj Bibliji gdje je opisano kako je Mojsije pripremio iz morske vode vodu za piće. Aristotel nakon nekoliko tisuća godina izjavljuje da se prolaskom morske vode kroz pijesak uklanja dio sadržaja soli (Helfferich, 1995). Jedna od najvećih prekretnica u povijesnom razvoju ionske izmjene bio je rad dvojice engleskih znanstvenika koji su objavili 1850. godine da prirodni zeoliti (alumosilikati hidrotermalnog porijekla) pokazuju svojstvo izmjene iona, točnije izmjenu kationa. J. Thomas Way i Harry Thompson su ispitivali vezanje i ispiranje s vodom amonijaka kao gnojiva iz zemlje oranice. Zemlju natopljenu sa $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ su ispirali sa vodom te se umjesto $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ u filtratu pojavio CaSO_4 što znači da se amonijak vezao na zemlju, a iz zemlje se otpustio kalcij odnosno došlo je do izmjene kationa. Daljnjim istraživanjima je dokazano da se ova izmjena ne odnosi samo na ova dva kationa te je ustanovljen određeni redoslijed prema kojem se kationi međusobno izmjenjuju (Mijatović i Matošić, 2012).



Dva njemačka kemičara Harm i Rümpler, su pripravili prvi sintetski industrijski ionski izmjenjivač 1903. godine (Helfferich, 1995). Ganssen je 1906. godine proizveo prve industrijske sintetske izmjenjivače za mekšanje vode koji su nazvani permutiti (sintetički zeoliti) no oni su imali neka loša svojstva (mali kapacitet, veliku osjetljivost na karbonatnu kiselinu i mehaničke nečistoće, djelomično su otpuštali SiO_2). Zatim su otkriveni ionski izmjenjivači na bazi ugljena tzv. ugljeni ionski izmjenjivači koji su sadržavali huminske kiseline koje imaju $-\text{COOH}$ i $-\text{OH}$ grupe. Prirodni ugljeni izmjenjivači su imali mali kapacitet, koji se povećao procesom sulfoniranja, te su se na taj način uveli i jako disocirane sulfonske ($-\text{SO}_3\text{H}$) grupe (Mijatović i Matošić, 2012). Otkrićem dva engleska znanstvenika Adamsa i Holmesa 1935. godine da smrvljene gramofonske ploče koje su se dobivale kondenzacijom fenola s formaldehidom posjeduju svojstvo ionske izmjene, dovelo je do evolucije u proizvodnji sintetskih ionskih izmjenjivača s najboljim svojstvima do tada (Helfferich, 1995). Ubrzo se pojavio i proizvod pod imenom "Wofatit". Nakon toga su proizvedeni izmjenjivači za uklanjanje aniona iz vode (1942. godine, D' Alelio) te je 1944. godine sintetiziran ionski izmjenjivač na bazi polistirena umreženog divinil-benzenom (Mijatović i Matošić, 2012).

2.2. Struktura ionskih izmjenjivača

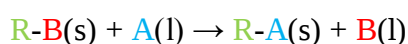
Ionski izmjenjivači su krute u vodi netopljive kiseline, baze ili soli. Sastoje se od unakrsno vezane rešetke tzv. kostura na kojoj su fiksirani pozitivni ili negativni električni naboji. Nepokretni naboji su kompenzirani s pokretnim ionima iz otopine suprotnog naboja, tako da je izmjenjivač izvana električki neutralan. Kostur tvori polupropusni sustav u koji difundiraju pokretni ioni iz otopine te nabubri u prisustvu vode. Funkcionalne aktivne grupe su kovalentnom vezom pričvršćene na polimerni lanac i izmjenjuju se s ionima odgovarajućeg naboja iz otopine koji difundiraju kroz nabubrenu rešetku (Salmon i Hale, 1959).

2.3. Princip rada

„Corpora non agunt nisi fluida sive soluta“ – jedno od najstarijih empirijskih pravila koje kaže da tvari mogu reagirati samo u tekućem ili otopljenom stanju. Ovo pravilo nije univerzalno i jedna od zapaženih iznimaka je i ionska izmjena koja se temelji na reverzibilnoj izmjeni iona između čvrste tvari i otopine (Helfferich, 1995).

Kao što je već spomenuto, ionski izmjenjivač se sastoji od nepokretnih iona koji su vezani pravom kovalentnom vezom i na njih vezanih slabim elektrolitskim silama (pokretljivi, labilni, lako se otpuštaju) pokretnih iona koji imaju suprotne naboje (protuioni). Kada izmjenjivač stupi u kontakt s otopinom iona koji imaju suprotan naboj od pokretnih iona, oni penetriraju u ionski izmjenjivač do uspostave ravnoteže (Donnanova ravnoteža). Aktivne grupe tj. ioni koji su vezani kovalentnom vezom, disociraju pa se izmjena vrši na točno fiksiranim mjestima u izmjenjivaču. Te grupe mogu biti kisele ili bazične, ovisno o naboju; ako su kisele imaju pozitivan naboj, a ako su bazične imaju negativan. Izmjena se vrši samo između iona istog naboja, reverzibilna je i tijekom izmjene se otpušta stehiometrijski ekvivalentna količina istovrsnog naboja (Mijatović i Matošić, 2012).

Općeniti prikaz izmjene otopljenih iona (A) s ionima (B) koji su vezani na netopljivu makromolekularnu strukturu ionskog izmjenjivača (R) :



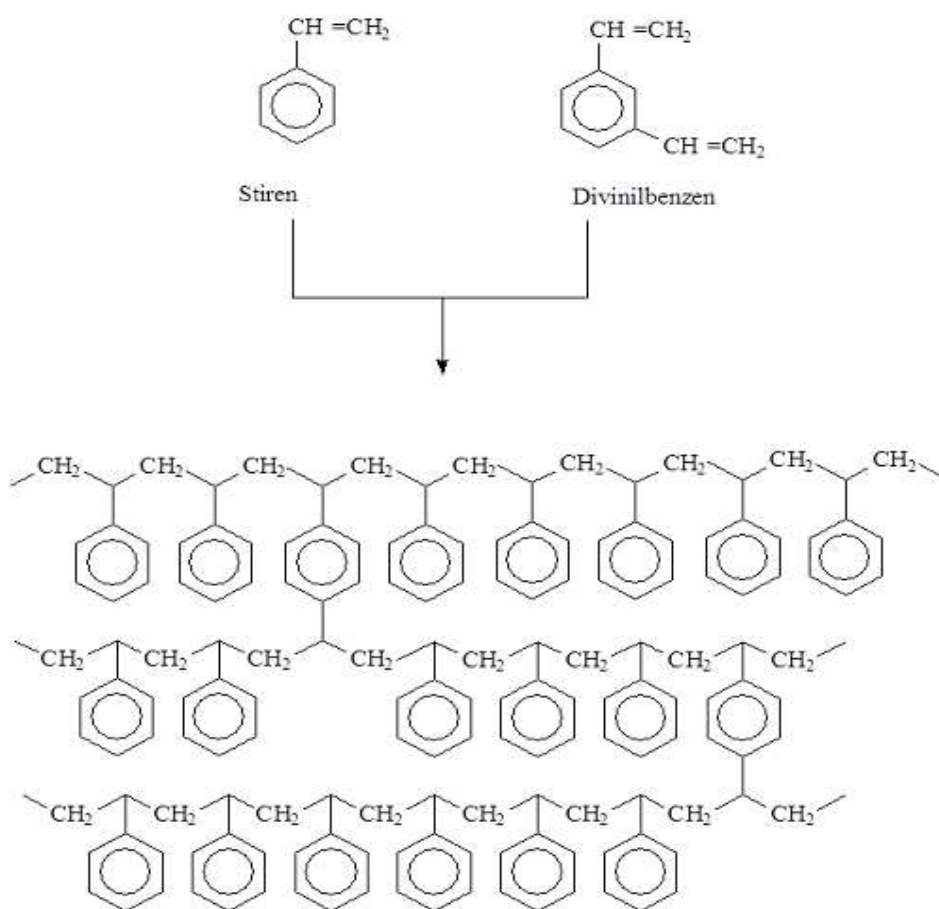
(s) – kruto stanje iona kada su vezani na izmjenjivač

(l) – otopljeno stanje iona kada se nalaze u otopini

2.4. Podjela ionskih izmjenjivača

2.4.1. Podjela prema građi (strukтури)

Izmjenjivače prema načinu dobivanja dijelimo na anorganske koji mogu biti prirodni alumosilikati i umjetni alumosilikati i na organske koji su na bazi umjetnih masa. Danas se koristimo izmjenjivačima na bazi sintetskih masa koji se sintetiziraju na dva načina. Polimerizacijom na bazi stirena (vinil-benzena) kao što je prikazano na slici 1, meta-akrilne kiseline i slično, uz dodatak divinil-benzena. Takvi tipovi izmjenjivača su kuglastog oblika (promjera 0,3-2 mm), imaju velik učinak i površinu, lako propuštaju vodu i mehanički su otporni. Kondenzacijom fenola i formaldehida dobiju se izmjenjivači koji imaju nepravilan oblik (promjer 0,3-2,5 mm), manji kapacitet izmjene, manju površinu, teže propuštaju vodu i mehanički su manje otporne, te se zbog toga više ne koriste (Kovač, 2012).



Slika 1. Polimerizacija stirena i divinil-benzena (Mijatović i Matošić, 2012)

2.4.2. Podjela prema vrsti naboja koji izmjenjuju

Ionske izmjenjivače dijelimo prema vrsti naboja koji izmjenjuju: kationski izmjenjivači čija matrica nosi negativan naboj, izmjenjuju ione pozitivnog naboja (vrši se izmjena kationa), a prema jačini disocijacije ih dijelimo na:

- slabi kationski izmjenjivači
- jaki kationski izmjenjivači

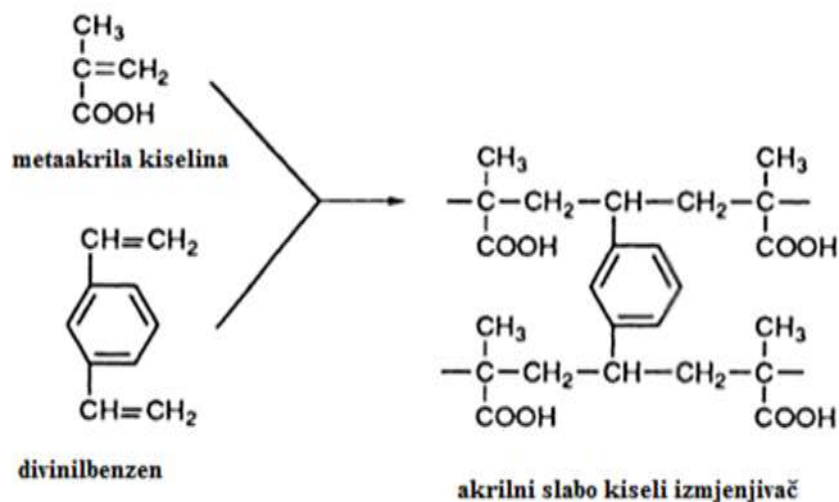
Anionski izmjenjivači čija matrica nosi pozitivan naboj, izmjenjuju ione negativnog naboja (vrši se izmjena aniona). Prema jačini disocijacije ih dijelimo na:

- slabi anionski izmjenjivači
- jaki anionski izmjenjivači

2.4.2.1. Slabo kiseli ionski izmjenjivač

Najčešće korišteni slabo kiseli kationski izmjenjivač je u H^+ formi i proizvodi se kondenzacijom akrilne ili metaakrilne skupine s divinil-benzenom (aktivna grupa COO^-). Izmenjivač s akrilnom kiselinom je nešto jači nego s metaakrilnom te se zbog toga više koristi u obradi vode (Dorfner, 1991). Reakcija nastajanja slabo kiselog izmjenjivača s metaakrilnom kiselinom je prikazana na slici 2.

Ukupni kapacitet slabo kiselih izmjenjivača je najveći od svih tipova izmjenjivača (do 4 mol/L ili eq/L) zbog udjela atoma aktivne grupe i zbog činjenice da se oni ne uvode naknadno. Vrlo otporan tip izmjenjivača koji podnosi temperature i preko 120 stupnjeva pa se može koristiti za obradu kondenzata u energetskim postrojenjima. U kiselom području (ispod 4,2) karboksilna grupa je nedisocirana (nema sposobnost ionske izmjene) stoga je najbolje ovaj tip izmjenjivača koristiti u neutralnom ili alkalnom području. Vrlo lako se regenerira otopinom kiseline s time da je utrošak regeneracijskog sredstva samo 105-110 % veći od teoretske potrebne količine (Mijatović i Matošić, 2012).

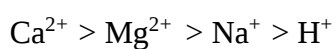


Slika 2. Nastajanje slabo kiselog izmjenjivača (Harland, 1994)

2.4.2.2. Jako kiseli ionski izmjenjivač

Reakcijom sulfoniranja pri visokim temperaturama dolazi do vezanja polistirena s visoko koncentriranom sulfonskom kiselinom nakon čega nastaje polistiren sulfonat. Nakon toga slijedi ispiranje kako bi se uklonio višak sulfonske kiseline što dovodi do bubrenja. Ovom reakcijom nastaje smola u H⁺ formi (aktivna grupa SO₃⁻), prikazana na slici 3 (Dardel, 2013).

Sulfonirana zrna polistirena su vrlo stabilna: rade pri temperaturama do 190 stupnjeva, otporna su na kiseline, lužine i većinu oksidirajućih tvari. Njihova selektivnost ovisi o valencijama i veličini iona. Kod iona s istim nabojem jače se vežu veći ioni, a kod iona različitih valencija na selektivnost utječe ukupna koncentracija soli u vodi odnosno ionska jakost. Selektivnost prikazana u padajućem nizu (vrijedi samo za razrijeđene otopine) za najčešće prisutne ione u vodi (Mijatović i Matošić, 2012):





Slika 3. Nastajanje jako kiselog izmjenjivača sulfoniranjem (Dardel, 2013)

2.4.2.3. Slabo bazni ionski izmjenjivač

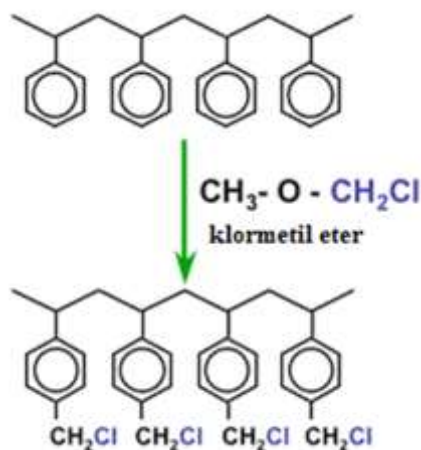
Slabo bazni izmjenjivači nastaju na isti način kao i jako bazni, ali imaju primarne i sekundarne amine kao aktivne grupe. Aktivna grupa se može dobiti i miješanjem amina pri čemu dobivamo tercijarne amine koji se često nazivaju i intermedijarnim baznim anionskim izmjenjivačima. Prema tipu amina imaju slabije ili jače izražen bazni karakter. Aktivna grupa pravog slabo baznog anionskog izmjenjivača neće disocirati pri pH vrijednosti otopine koja je manja od karakteristične pK vrijednosti izmjenjivača koja se nalazi u intervalu od 7 do 9. Vrlo su učinkoviti u uklanjanju slobodnih kiselina kao što su H_2SO_4 , HCl i HNO_3 iz vode. Lako se regeneriraju s NaOH , NH_4OH ili Na_2CO_3 i to sa samo 10 % više od stehiometrijski potrebne količine regeneracijskog sredstva (Simon, 1991).

2.4.2.4. Jako bazni ionski izmjenjivač

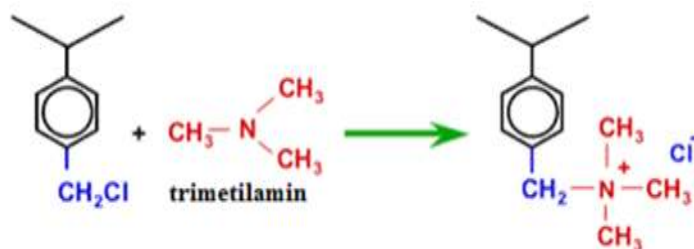
Jako bazni izmjenjivači nastaju u dva stupnja: klormetilacijom i aminacijom. U prvom stupnju (klormetilacija) dolazi do reakcije između klormetil metiletera i polimera pri čemu dobijemo produkt s kovalentno vezanim (ne ionskim vezama) kloridnim ionima. Nakon toga slijedi aktivacija procesom aminacije gdje dolazi do zamjene klorida s aminima. Ako proces aminacije provodimo s trimetilaminom kao produkt ćemo dobiti kvaternu amonij-kloridnu sol u Cl^- formi i taj tip izmjenjivača zovemo Tip 1, prikazano na slici 4. Ako koristimo dimetiletanolamin za aminaciju dobit ćemo tip izmjenjivača koji ima manju bazičnost, bolju sposobnost regeneracije, ali koji je osjetljiviji, podložniji temperaturnoj razgradnji i ima manju selektivnost za ione nego Tip 1. Taj tip izmjenjivača zovemo Tip 2 (Dardel, 2013).

Selektivnost za pojedine ione ovisi o tipu aktivne grupe i prikazana je u tablici 1. Za uklanjanje nitrata postoji poseban tip anionskog izmjenjivača koji za aktivnu grupu ima trietilamin.

1.) Klormetilacija



2.) Aminacija



Slika 4. Nastajanje jako baznog izmjenjivača Tipa 1 u dva stupnja (Dardel, 2013)

Tablica 1. Selektivnost jako baznih izmjenjivača (Mijatović i Matošić, 2012)

AKTIVNA GRUPA	SELEKTIVNOST (u padajućem nizu)
$-\text{N}(\text{CH}_3)^{3+}$ (Tip 1)	PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Br^- , Cl^- , HCO_3^- , F^- , OH^-
$-\text{N}(\text{CH}_3)_2 (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})^+$ (Tip 2)	PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Br^- , Cl^- , HCO_3^- , OH^- , F^-
$-\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3^+$ (Uklanjanje nitrata)	NO_3^- , SO_4^{2-} , Br^- , Cl^- , HCO_3^- , OH^-

2.4.2.5. Miješani ionski izmjenjivač

Miješani ionski izmjenjivač se sastoji od jakog kationskog i jakog anionskog izmjenjivača u istoj posudi te se koristi za dobivanje potpuno čiste vode. Udio jako kiselog izmjenjivača je obično 40 %, a jako bazičnog 60 %, što naravno ovisi o kvaliteti dolazne vode i o željenoj kvaliteti dobivene vode, te kapacitetu izmjenjivača. Miješani izmjenjivači se koriste za dobivanje visoko kvalitetne vode čija je vodljivost manja od 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Miješani izmjenjivač se može postaviti i iza kolone jako kiselog i jako bazičnog ionskog izmjenjivača za poboljšanje kvalitete vode (Purolite, 2013).

Za male potrebe, kao što su laboratoriji ili kućanstva, miješani ionski izmjenjivači dolaze u obliku raspoloživih uložaka koji se mogu upotrijebiti samo jednom, dok se u industrijskim postrojenjima koriste veće jedinice koje se mogu regenerirati (Alchin, 2008).

2.5. Tipovi ionskih izmjenjivača

Ionske izmjenjivače prema strukturi, odnosno poroznosti ili prohodnosti iona kroz izmjenjivač dijelimo na gel i makroporozne (u nekim literaturama se koristi izraz makroretikularni). Ionske izmjenjivače također dijelimo i prema veličini zrna na heterodisperzne i monodisperzne.

2.5.1. Podjela ionskih izmjenjivača prema strukturi

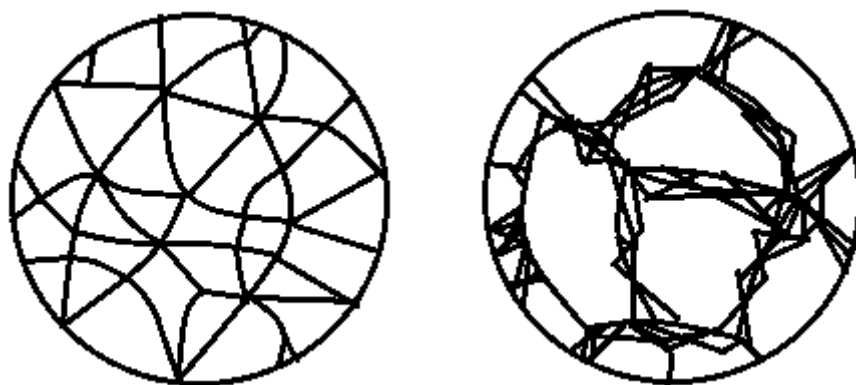
2.5.1.1. Izmjenjivači gel strukture

Polimerizacijom stirena i divinil-benzena (ili drugih sličnih reaktanata) nastaje homogena mreža koja je elastična i sadrži otapalo koje se koristilo tijekom samog procesa. Ova polimerna matrica ne sadrži pore tako da nije porozna dok ne dođe u kontakt s vodenom otopinom pri čemu bubri i omogućuje difuziju iona. Ukoliko je udio divinil-benzena manji, jači je učinak bubrenja što omogućuje lakšu i bržu difuziju velikih iona. O stupnju poroznosti također ovisi i mehanička stabilnost koja je manja ako je udio divinil-benzena manji (Dorfner, 1991).

2.5.1.2. Makroporozni izmjenjivači

Tijekom pripreme makroporoznih izmjenjivača koristi se otapalo iz proizvodnje monomera, tako da je porozna struktura formirana tijekom polimerizacije. Imaju velike

unutarnje šupljine zbog čega se postupak sulfoniranja vrlo lako provodi. Za razliku od gel izmjenjivača, imaju ujednačeniji vanjski oblik, otporniji su na osmotski šok, a unutarnje pore postoje i kad je izmjenjivač suh, ali i dalje ih karakterizira velika heterogenost zbog postojanja regija s manjom i većom gustoćom. Povećanjem unutarnje poroznosti manja je razlika u bubrenju u polarnim i nepolarnim otapalima, manji gubitak volumena tijekom sušenja, veća otpornost na proces oksidacije, a olakšana je penetracija većih molekula. Nedostatci su im manji kapacitet i veliki troškovi regeneracije (Dorfner, 1991). Usporedba ova dva tipa ionskih izmjenjivača prikazana je na slici 5.



Slika 5. Gel i makroporozni tip izmjenjivača (s lijeva na desno)

2.5.2. Podjela ionskih izmjenjivača prema veličini zrna

Ionsko-izmjenjivačke smole mogu biti u različitim oblicima; membrane, vlakna, tekstil, no najčešće su u obliku zrna sferičnog ili nekog nedefiniranog oblika. Prije su se koristila heterodisperzna zrna, pri čemu se veličina zrna međusobno razlikovala, no danas se najčešće koriste monodisperzna kod kojih je veličina zrnaca ujednačena. Oblik monodisperznih ionskih izmjenjivača se najčešće dobiva sijanjem pri čemu se osigurava njihova ujednačenost (Zagrodni, 2007).

Proizvodnju monodisperznih ionskih izmjenjivača započela je tvrtka Bayer, nakon čega je prozvedena druga generacija monodisperznih ionskih izmjenjivača pod imenom Lewatit MonoPlus. Ovaj tip izmjenjivača ima mnoge prednosti pred heterodisperznim kao što su: veći radni kapacitet, bolja kinetika reakcije, veći dopušteni pad tlaka, otpornost na oksidanse, veća raznolikost primjene, oštrije fronte razdvajanja, veća mehanička i osmotska

stabilnost. Ove prednosti imaju veliki značaj, pogotovo u većim postrojenjima gdje su značajno smanjeni troškovi zbog poboljšane učinkovitosti, smanjenja kolona za obradu, duže trajnosti, učinkovitije regeneracije i mnogih drugih (Lewatit, 2014).

2.6. Regeneracija

Nakon zasićenja ionskog izmjenjivača treba ga regenerirati otopinom sredstva za regeneraciju. Regeneracija može biti istostrujna i protustrujna ovisno o strujanju sredstva za regeneraciju u odnosu na smjer strujanja vode.

2.6.1. Istostrujna regeneracija

Kod istostrujne regeneracije sredstvo za regeneraciju teče u istom smjeru u kojem je tekla otopina koju obrađujemo. Nedostatak ovakvog načina regeneracije je što se jako kiseli i jako bazni izmjenjivači neće regenerirati do kraja zbog prevelikog utroška sredstva za regeneraciju, tako da će na kraju kolone biti prisutni kontaminirajući ioni. Kao posljedica toga, dolazi do bržeg proboja iona prilikom sljedećeg punjenja sve do njihovog istisnuća.

2.6.2. Protustrujna regeneracija

Kod protustrujne regeneracije sredstvo za regeneraciju teče u suprotnom smjeru od smjera procesa rada tj. izmjene iona. Postoje dvije podvrste ovog tipa regeneracije:

- a. Punjenje s donje strane, a regeneracija je s gornje koje se koristi kod kolone u fluidiziranom sloju i Amberpack procesa
- b. Punjenje s gornje strane, a regeneracija s donje - UFD i Upcore procesi

Ovaj način regeneracije ima mnoge prednosti pred istostrujnom kao što su: veća čistoća vode, manja potrošnja kemikalija i niža cijena regeneracije (Dardel, 2013).

2.6.3. Regeneracija miješanog ionskog izmjenjivača

Kod miješanih ionskih izmjenjivača stvar je nešto drugačija upravo zbog toga jer se trebaju odvojiti anionski i kationski izmjenjivač, potrebne su veće količine sredstva za regeneraciju za anionski izmjenjivač, te je potrebno paziti na omjer volumena ionskih izmjenjivača s obzirom na njihove kapacitete. Regeneracija započinje odvajanjem anionskog

izmjenjivača od kationskog propuštanjem vode odozdo prema gore, u početku pri niskom protoku kako bi se rahljenjem razdvojili slojevi izmjenjivača. Kationski izmjenjivač ima veću gustoću pa on pada na dno dok se anionski izmjenjivač nalazi pri vrhu kolone. Kationski izmjenjivač se regenerira s HCl-om nakon čega se ispiri s deioniziranom vodom, a anionski se izmjenjivač regenerira s NaOH te se također ispiri s deioniziranom vodom. Nakon toga se izmjenjivači ponovno izmiješaju miješalicom ili zrakom (Anonymus, 2013).

2.7. Vrste kolona za ionsku izmjenu

2.7.1. Kolone sa slobodnim prostorom iznad izmjenjivača

Kolone sa slobodnim prostorom iznad izmjenjivača omogućavaju protustrujno pranje izmjenjivača u koloni što im je glavna prednost kod obrade vode koja sadrži suspendirane tvari. Nedostatci su gubitak prostora, komplicirana i potencijalno lomljiva unutrašnjost (Dardel, 2013).

2.7.1.1. Kolona za istostrojnju regeneraciju

Kolona za istostrojnju regeneraciju ima tok vode i sredstva za regeneraciju odozgo prema dolje pri čemu slobodni prostor iznad izmjenjivača služi za protustrujno rahljenje izmjenjivača prije regeneracije (Dardel, 2013).

2.7.1.2. Kolone za protustrujnu regeneraciju sa zadržavanjem sloja izmjenjivača

U ovom tipu kolone, regeneracija je protustrujna i ide u smjeru odozdo prema gore. Izmjenjivač tijekom regeneracije ne smije fluidizirati, već mora ostati kompaktan. To se osigurava pomoću zraka ili vode koji se uvode pod tlakom s vrha kolone i sprečavaju izmjenjivač da fluidizira zbog protoka sredstva za regeneraciju. Ove kolone imaju poseban odvod sredstva za regeneraciju (eng. regenerant collector) na vrhu sloja izmjenjivača, preko kojeg se uklanja sredstvo za regeneraciju, a ne s vrha kolone (Dardel, 2013).

2.7.1.3. Višeslojna kolona

Višeslojna kolona se sastoji od dva sloja kationskog ili anionskog izmjenjivača, s tim da slabo disocirajući izmjenjivač ima manju gustoću čestica od jako disocirajućega, tako da se on uvijek nalazi pri vrhu, pri čemu se onemogućava njihovo miješanje. Ova tehnologija pridonosi uštedi kolone, te ima dobru učinkovitost regeneracije koja mora biti protustrujna i u

smjeru odozdo prema gore jer jako disocirajuće smole zahtijevaju veće koncentracije sredstva za regeneraciju (Dardel, 2013).

2.7.2. Kolone s nasutim slojem

Kolone s nasutim slojem nemaju slobodni prostor iznad sloja izmjenjivača osim malog dijela koji mora biti slobodan za bubrenje smole izmjenjivača, a slojevi izmjenjivača se prilikom rada i regeneracije ne smiju izmiješati. Posude su manje i jeftinije, a dubina smola je veća nego kod kolona sa slobodnim prostorom iznad izmjenjivača (Dardel, 2013).

2.7.2.1. Kolona s pokretnim slojem

Kod kolona s pokretnim slojem, voda za obradu dolazi odozdo, a sredstvo za regeneraciju odozgo. Pri obradi vode, čitav sloj izmjenjivača je potisnut u gornji dio kolone bez da se slojevi izmiješaju. Pri regeneraciji je sloj izmjenjivača u donjem dijelu kolone, a sredstvo teče odozgo prema dolje. Razlog takvom režimu rada je mnogo veći protok vode od sredstva za regeneraciju zbog kojega je moguće potisnuti sloj izmjenjivača u koloni bez miješanja slojeva samo pri protoku vode. Ova vrsta kolone je najčešća u praksi jer je pouzdana i ekonomična. Različite firme imaju svoje podvrste ove vrste kolone s manjim modifikacijama. Najpoznatiji su: Amberpack tvrtke Rohm & Haas koji je varijacija kolone u fluidiziranom sloju te omogućuje prijenos izmjenjivača u kolonu za ispiranje i Reverse UPCORE sustav tvrtke Dow koji nema kolone za ispiranje. Originalni UPCORE sustav ima protustrujnu regeneraciju, ali sa sredstvom za regeneraciju koje ulazi odozdo pri čemu treba upotrijebiti veći protok da ne bi došlo do miješanja slojeva izmjenjivača što čini ovaj sustav manje ekonomičnim zbog slabijeg iskorištavanja sredstva za regeneraciju (Dardel, 2013).

2.8. Primjena

Najvažnije primjene ionske izmjene u obradi voda su: mekšanje, demineralizacija, dealkalizacija, uklanjanje nitrata i uklanjanje organskih tvari.

2.8.1. Mekšanje

Za mekšanje vode se upotrebljavaju jako kiseli kationski izmjenjivači u Na^+ formi pri čemu se uklanjanju kalcijevi i magnezijevi ioni koji čine ukupnu tvrdoću. Također se uklanjanju željezo i mangan koji su često prisutni u vodi. Pri tome dolazi do zamjene s natrijevim ionima u ekvivalentnoj količini tako da pH i ukupna koncentracija soli ostaju nepromijenjeni pa stoga ovu izmjenu nazivamo neutralnom izmjenom. Kao sredstvo za regeneraciju koristimo natrijev klorid (Alchin, 2008).

2.8.2. Demineralizacija

Za proces demineralizacije potrebna su nam dva izmjenjivača. U prvom stupnju vodu propuštamo kroz jako kiseli izmjenjivač u H^+ formi gdje dolazi do vezanja kationa i otpuštanja ekvivalentne količine vodikovih iona nakon čega dobivamo blago zakiseljenu vodu koja onda ide na jako bazni ionski izmjenjivač u OH^- formi. U ovom stupnju dolazi do izmjene aniona s ekvivalentnom količinom OH^- koji reagiraju s H^+ ionima dobivenim nakon prvog stupnja u konačan produkt-vodu. Nakon ova dva izmjenjivača može se postaviti i treći koji može biti kationski u H^+ formi ili miješani ionski izmjenjivač. Regeneraciju jako kiselog izmjenjivača provodimo s HCl-om, a jako baznog s NaOH. Budući da slabo kiseli i slabo bazni izmjenjivači troše manje sredstva za regeneraciju, za veća postrojenja, zbog uštede kemikalija pri regeneraciji, mogu se koristiti slabo kiseli i slabo bazni izmjenjivači, koji se postavljaju serijski, tako da slabo kiseli dolazi ispred jako kiselog, a slabo bazni ispred jako baznog (Alchin, 2008).

2.8.3. Dealkalizacija (dekarbonizacija)

U ovom procesu se koriste slabo kiseli ionski izmjenjivači s karboksilnom aktivnom grupom u H^+ formi. Ne mogu vezati katione iz soli jakih mineralnih kiselina nego samo iz slabih od kojih su najzastupljeniji hidrogenkarbonati. Tako slabo kiseli izmjenjivač ima sposobnost uklanjanja kationa iz vode vezane na alkalitet vode. Nakon izmjene kationa sa H^+ ionima nastaje karbonatna kiselina koja se otplini kao CO_2 otplinjačem. Regeneracija je vrlo laka i provodi se najčešće sa kloridnom kiselinom (Dardel, 2013).

2.8.4. Uklanjanje nitrata

Povećana koncentracija nitrata (NO_3^-) u vodi za piće predstavlja veliku opasnost jer se nitrat vrlo lako može reducirati u nitrit (NO_2^-) koji u gastrointestinalnom traktu može uzrokovati methemoglobinemiju kod novorođenčadi. Također nitrati i nitriti mogu tvoriti karcinogene N-nitrozo spojeve. Zato je vrlo bitno njihovo uklanjanje iz vode što se može postići metodama ionske izmjene. U postupku uklanjanja koristimo jako bazni ionski izmjenjivač u kloridnoj ili hidrogenkarbonantnoj formi. Tijekom procesa dolazi do izmjene nitratnih iona s kloridnim ili hidrogenkarbonantnim ionima, a sam postupak se provodi do zasićenja odnosno do proboja nitrata u filtratu. Nakon toga provodimo regeneraciju s NaCl ili NaHCO_3 (Clifford i Liu, 1993).

2.8.5. Uklanjanje organskih tvari

Organski sastojci uzrokuju neželjeni miris, boju i okus vode za piće te je zbog toga poželjno njihovo uklanjanje. Najčešće se koriste makroporozni jako bazni izmjenjivači u kloridnoj formi tipa 1. Anionski izmjenjivači će također u procesu izmjene ukloniti sulfate, nitrata i hidrogenkarbonate. Što se tiče strukture, koriste se makroporozni ili gel ionski izmjenjivači bazirani na stirenu ili akrilu. Kod stirena je vrlo bitna karakteristika zadržavanja vlage što znači veći udio vlage i manju čvrstoću strukture što je pogodno za velike molekule organskih tvari jer imaju više mjesta ili vode za kretanje. Ionski izmjenjivači bazirani na stirenu su također dobri kandidati jer imaju veliku otpornost prema onečišćenju. Vrlo su učinkoviti u uklanjanju (vezanju) organskih tvari, a još lakše ih otpuštaju tijekom regeneracije. Makroporozni izmjenjivač veže karboksilne grupe huminskih tvari ionskom vezom ili adsorpcijom pa je laka regeneracija, dok kod gel izmjenjivača neće lako doći do otpuštanja. Kao sredstvo za regeneraciju koristi se natrijev klorid (DeSilva, 1997).

2.8.6. Ostale primjene ionske izmjene

Ionska izmjena se također koristi u industriji šećera, prehrambenoj industriji (mljekarstvo, voćni sokovi, napitci, nadoknada polifenola, aminokiseline, limunska kiselina, demineralizacija sorbitola, demineralizacija želatine), kemijskoj industriji (izdvajanje ili uklanjanje metala, pročišćavanje vodikovog peroksida, selektivno uklanjanje različitih elemenata, fenol), katalizi (alkilacija, kondenzacija, esterifikacija, dehidratacija, hidrogenacija), farmaceutskoj industriji (ekstrakcija i purifikacija antibiotika, smole koje se

koriste kao lijekovi, za poboljšavanje okusa, proizvodnja kromatografije), rudarstvu, imobilizaciji enzima, hidrokulturi i mnogim drugim (Dardel, 2013).

2.9. Usporedba različitih proizvođača ionskih izmjenjivača

Najveći proizvođači ionsko-izmjenjivačkih smola su: Dowex, Rohm & Haas, Lanxess Lewatit i Purolite. U tablicama od 2 do 6 je dana njihova usporedba gdje su navedene njihove najvažnije karakteristike kao što su: maksimalna radna temperatura, radno pH područje rada, tip, građa, kapacitet i najčešća primjena u tehnologiji vode. Navedene karakteristike su opisane u teorijskom dijelu, a kratka usporedba je dana u zaključku. Ispod svake tablice se nalazi legenda gdje su objašnjene skraćenice pisane u tablicama.

Tablica 2. Slabo kiseli ionski izmjenjivači (Lennteh, 2014)

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Građa	Kapacitet (eq/L)	Primjena
1.DOWEX						
Dowex MAC-3	120	5-14	MP	Akril-DVB	H ⁺ (3,8)	DA, DM, M
Dowex MAC-3 PS	120	5-14	MP	Akril-DVB	H ⁺ (3,8)	DA, M, NS, protustrujna
Dowex UPCORE MAC-3	120	5-14	MP	Akril-DVB	H ⁺ (3,8)	DA, M, NS-UPCORE
2.ROHM & HAAS						
Amberlite IRC76	100			Akril-DVB	H ⁺ (3,9)	DA, DM, industrijska primjena protustrujna
Amberlite IRC86	100		gel	Akril-DVB	H ⁺ (4,1)	DA, DM, industrijska primjena, istostrujna
Amberlite IRC86 SB	100		gel	Akril-DVB	H ⁺ (4,1)	DA, industrijska primjena, VS
Amberlite IRC86 RF	100		gel	Akril-DVB	H ⁺ (4,1)	DA, DM, industrijska primjena, protustrujna, PS, NS
IMAC HP33				Akril-DVB	H ⁺ (3,85)	DA, uklanjanje teških metala, za vode za piće, kućanstva
IMAC HP336				Akril-DVB	H ⁺ (3,9)	DA, prehrambena industrija, za vode za piće
3.LEWATIT						
Lewatit CNP 80	75	5-14	MP	Akril-DVB	4,3	DA, DM, M, uklanjanje teških metala (Na ⁺)
Lewatit CNP 80 WS	75	5-14	MP	Akril-DVB	4,3	DA, DM, M, uklanjanje teških metala (Na ⁺)
Lewatit CNP C	70	5-14	MP	Akril-DVB	4,0	DA, M, za kućanstva, za vode za piće
Lewatit CNP LF	75	5-14	MP	Akril-DVB	4,3	DA, M, za kućanstva

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 2 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Građa	Kapacitet (eq/L)	Primjena
Lewatit CNP P	70	5-14	MP	Akril-DVB	4,6	DA, M, za kućanstva
Lewatit TP 207	80	1,5-9	MP	Stiren-DVB	H ⁺ (2,2)	DA
Lewatit TP 208	80	2-12	MP	Stiren-DVB	H ⁺ (2,9)	DA
Lewatit TP 260	80	1-12	MP	Stiren-DVB	H ⁺ (2,3)	DA, uklanjanje teških metala
Lewatit MonoPlus TP 207	80	1,5-9	MP	Stiren-DVB	H ⁺ (2,0)	Uklanjanje teških metala
Lewatit MonoPlus TP 208	80	2-12	MP	Stiren-DVB	H ⁺ (2,5)	DA
Lewatit MonoPlus TP 214	100	1-10	MP	Stiren-DVB		Uklanjanje žive, platine, zlata i srebra
Lewatit MonoPlus TP 260	80	1-12	MP	Stiren-DVB	H ⁺ (2,4)	DA, uklanjanje teških metala
Lewatit S 8229 DRY	70	5-14	MP	Akril-DVB	4,2	DA, M, za kućanstva
Lewatit S 8229 Plus Ag			MP	Akril-DVB	H ⁺ (4,3)	DA, M, za kućanstva
Lewatit S 8229 Plus x			MP	Akril-DVB	H ⁺ (4,3)	DA, M, za kućanstva
Lewatit S 8528	75	5-14	MP	Akril-DVB	4,3	M, za vode za piće, prehrambena industrija, protustrujna
4. PUROLITE						
Purolite C104	H ⁺ (120)	0-14	gel	Akril-DVB	H ⁺ (3,8)	DA, M, obrada otpadnih voda, protustrujna, VS
Purolite C104DL	H ⁺ (120)	0-14	gel	Akril-DVB	H ⁺ (3,8)	DA, M, protustrujna, VS
Purolite C104E	H ⁺ (120)	H ⁺ (5-14)	gel	Akril-DVB	H ⁺ (3,8)	DA, M, za vode za piće, prehrambena industrija, protustrujna, VS
Purolite C106	H ⁺ (120)	H ⁺ (0-14)	MP	Metakril-DVB	H ⁺ (2,0)	Uklanjanje metala, farmaceutska industrija, industrija šećera
Purolite C107E	H ⁺ (120)	0-14	MP	Metakril-DVB	H ⁺ (3,5)	DA, M, za vode za piće, obrada otpadnih voda
Purolite C115	H ⁺ (100)	H ⁺ (6-14)	MP	Metakril-DVB	H ⁺ (3,5)	DA, farmaceutska industrija, za vode za piće
Purolite C115E	H ⁺ (100)	H ⁺ (6-14)	MP	Metakril-DVB	H ⁺ (3,5)	Farmaceutska industrija, za vode za piće

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 3. Jako kiseli ionski izmjenjivači (Lennteh, 2014)

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Grada	Kapacitet (eq/L)	Primjena
1.DOWEX						
Dowex HCR-S	120	0-14		Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0) H ⁺ (1,8)	DM, M
Dowex HCR-S/S	120	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,9)	DM, za kućanstva, protustrujna
Dowex HGR-W2	130	0-14	gel	Stiren -DVB	H ⁺ (2,0)	DM(miješani), obrada kondenzata
Dowex Monosphere C 350	130	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,2)	DM
Dowex Monosphere C 400	130	0-14	gel	Stiren -DVB	2,2	DM, M
Dowex Monosphere MP525C	150	0-14	MP	Stiren -DVB	H ⁺ (1,6)	DM(miješani), obrada kondenzata
Dowex Monosphere 650 C	130	0-14	gel	Stiren -DVB	2,0	DM(miješani), obrada kondenzata
Dowex Monosphere 650HXC NG	130	0-14	gel	Stiren -DVB	H ⁺ (2,2)	Obrada kondenzata
Dowex Monosphere 650 C UPW	120		gel	Stiren -DVB	2,0	DM
Dowex Monosphere 750 C	130	0-14	gel	Stiren -DVB	H ⁺ (2,0)	DM(miješani), obrada kondenzata
Dowex Marathon C	120	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0) H ⁺ (1,8)	DM, M
Dowex Marathon C-10	130	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,2) H ⁺ (1,9)	DM, M, obrada kondenzata
Dowex Marathon MSC	150	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,7) H ⁺ (1,6)	DM, M, industrijska primjena
Dowex UPCORE Mono C-600	120	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0) H ⁺ (1,8)	DM, M, protustrujna, NS-UPCORE
2.ROHM & HAAS						
Amberlite IR120H	135		gel	Stiren -DVB	H ⁺ (1,8)	DM, industrijska primjena, istostrujna
Amberlite IR120Na	135		gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM, M, industrijska primjena, istostrujna
Amberlite IR122Na	120	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,1)	DM, industrijska primjena, istostrujna
Amberjet 1000H	135		gel	Stiren -DVB	H ⁺ (1,8) Na ⁺ (2,0)	DM(miješani), industrijska primjena, istostrujna
Amberjet 1000Na	135		gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM, M, industrijska primjena, istostrujna
Amberjet 1200H	135		gel	Stiren -DVB	H ⁺ (1,8) Na ⁺ (2,0)	DM(miješani), industrijska primjena
Amberjet 1200Na	135		gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM(miješani), M, industrijska primjena
Amberjet 1300H			gel	Stiren -DVB		DM(miješani), istostrujna, VS, NS
Amberjet 1300Na			gel	Stiren -DVB		DM(miješani), M, istostrujna, NS, VS
Amberjet 1500H	135		gel	Stiren -DVB		DM(miješani), obrada kondenzata, u energetske postrojenjima, VS, NS-Amberpack

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 3 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Građa	Kapacitet (eq/L)	Primjena
Amberjet 1600H	135		gel	Stiren -DVB	H ⁺ (2,4)	Obrada kondenzata u nuklearnim postrojenjima, miješani
Amberlite SR1L Na	120		gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM, M, prehrambena industrija, za vode za piće, istostrujna
Amberlite 200C Na	135		MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,7)	DM(miješani), M, obrada kondenzata, industrijska primjena
Amberlite 252 Na	135		MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,8)	DM, istostrujna
Ambersep 252 H			MP	Stiren -DVB	H ⁺ (1,65)	Miješani, industrijska primjena, Amberpack-NS
Amberlite 252RF H			MP	Stiren -DVB	H ⁺ (1,7)	DM, industrijska primjena, protustrujna, NS, PS
Amberlite UP 252			MP	Stiren -DVB	H ⁺ (1,7)	Za vode za piće u elektroničkim industrijama, miješani
Amberjet UP1400	135		gel	Stiren -DVB	H ⁺ (2,0)	Za vode za piće u elektroničkim industrijama, miješani
IMAC HP1110 Na	120		gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,2)	M, za vode za piće, prehrambena industrija
3.LANXESS LEWATIT						
Lewatit SP 120	120	0-14	MP	Stiren -DVB	1,4	M, obrada kondenzata, ekstrakcija teških metala
Lewatit C 249	140	0-14	gel	Stiren -DVB	2,0	DM, M, industrijska primjena
Lewatit MonoPlus S 108 H	120	0-14	gel	Stiren -DVB	2,0	DM
Lewatit MonoPlus S 108 KR	120	0-14	gel	Stiren -DVB	2,0	Uklanjanje radioaktivnih izotopa, nuklearna postrojenja
Lewatit MonoPlus SP 112	120	0-14	MP	Stiren -DVB	1,7	DM, obrada kondenzata
Lewatit MonoPlus SP 112 H	120	0-14	MP	Stiren -DVB	1,6	DM, obrada kondenzata
Lewatit MonoPlus SP 112 KR	120	0-14	MP	Stiren -DVB	1,6	Uklanjanje radioaktivnih izotopa, nuklearna postrojenja
Lewatit MonoPlus S 200 KR	120	0-14	gel	Stiren -DVB	2,1	Uklanjanje radioaktivnih izotopa, nuklearna postrojenja
Lewatit S 1568	120	0-14	gel	Stiren -DVB	2,1	M
Lewatit S 1667	120	0-14	gel	Stiren -DVB	2,1	M
Lewatit S 1668	120	0-14	gel	Stiren -DVB	2,2	M
Lewatit S 2528	120	0-14	MP	Stiren -DVB	1,75	M, prehrambena industrija
Lewatit S 2568	120	0-14	MP	Stiren -DVB	1,7	M, prehrambena industrija
Lewatit UltraPure 1213 MD	120	0-14	gel	Stiren -DVB	2,0	Elektronička industrija
Lewatit UltraPure 1221 MD	120	0-14	MP	Stiren -DVB	1,75	DM
Lewatit S 100 KR-H Cl-frei	120	0-14	gel	Stiren -DVB	1,8	Uklanjanje radioaktivnih izotopa, nuklearna postrojenja
Purolite C100E	150	6-10	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,9)	M, za vode za piće, prehrambena industrija, protustrujna

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 3 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Građa	Kapacitet (eq/L)	Primjena
4.PUROLITE						
Purolite C100EH	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,9)	DM, za vode za piće
Purolite C100H	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM(miješani), industrijska primjena, istostrujna, VS
Purolite C100 LT	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM, M
Purolite C100 MB	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	Miješani
Purolite C100MBH	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	Gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM(miješani)
Purolite C100S	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	Gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,1)	Šećerne otopine
Purolite C100TL	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM(miješani)
Purolite C100EDK	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,9)	Tamnija verzija Purolite C100E
Purolite C100EFM	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	H ⁺ (1,9)	M, protustrujna
Purolite C100ELT	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,9)	M
Purolite C100EMB	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,9)	DM, za vode za piće
Purolite C100X10MBH	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,2)	DM(miješani)
Purolite C120E	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,5)	M, za kućanstva i mala postrojenja
Purolite C145	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,5)	DM, uklanjanje koloida
Purolite C 145 H	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,5)	DM, uklanjanje koloida
Purolite C 145 S	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,5)	Šećerne otopine
Purolite C150	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,8)	DM(miješani), M, obrada kondenzata
Purolite C150 H	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,8)	DM
Purolite C150MBH	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,8)	DM(miješani), obrada kondenzata
Purolite C150 S	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,8)	DM, M, šećerne otopine
Purolite C150TL	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,8)	DM, obrada kondenzata, protustrujna, NS
Purolite C150TLH	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (1,8)	DM, obrada kondenzata, protustrujna, NS
Purolite C160	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,3)	DM, M, uklanjanje teških metala, obrada radioaktivnog otpada
Purolite C160 H	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,3)	DM, M, uklanjanje teških metala, obrada radioaktivnog otpada, za organske tvari
Purolite C160 S	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	MP	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,3)	DM, šećerne otopine

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 3 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Građa	Kapacitet (eq/L)	Primjena
Purolite PFC100	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	M, industrija i za kućanstva
Purolite PFC100H	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM
Purolite PFC100X10	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,2)	DM, obrada kondenzata
Purolite PPC100	H ⁺ (120) Na ⁺ (140)	0-14	gel	Stiren -DVB	Na ⁺ (2,0)	DM, protustrujna

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 4. Slabo bazni ionski izmjenjivači (Lennteh, 2014)

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Građa	Kapacitet (eq/L)	Primjena
1.DOWEX						
Dowex Marathon WBA	100	0-7	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,3)	DM, VS
Dowex Marathon WBA-2	100	0-7	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,7)	DM
Dowex MWA-1	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-7	MP	Stiren -DVB	1,2	DM
Dowex UPCORE MonoWB-500	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-7	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,3)	UPCORE-NS, VS
2.ROHM & HAAS						
Amberlite IRA67	60		gel	Akril- DVB	OH ⁻ (1,6)	DM, istostrujna
Amberlite IRA67RF	60		gel	Akril- DVB	OH ⁻ (1,6)	DM, NS, PS
Amberlite IRA96	60		MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,25)	DM, industrijska primjena, istostrujna
Amberlite IRA96RF	60		MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,25)	DM, industrijska primjena, NS, PS
Amberlite IRA96SB	100		MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,25)	DM, VS, istostrujna
IMAC HP661			MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,4)	DM, prehrambena industrija, za vode za piće
3.LANXESS LEWATIT						
Lewatit S 4328	70	0-8	MP	Stiren -DVB	1,4	Uklanjanje organskih tvari, prehrambena industrija, PS
Lewatit S 5228	40	0-8	gel	Akril- DVB	1,5	DM, uklanjanje organskih tvari, prehrambena industrija
Lewatit A 8072	40	0-8	gel	Akril- DVB	1,5	DM, uklanjanje organskih tvari
Lewatit A 8075 KR	70	0-9	gel	Akril- DVB	3,5	Nuklearna postrojenja, uklanjanje radioaktivnog otpada
Lewatit MonoPlus MP 64	70	0-7	MP	Stiren -DVB	1,3	DM, galvanizacija

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 4 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Grada	Kapacitet (eq/L)	Primjena
Lewatit MonoPlus MP 68	70	0-7	MP	Stiren -DVB	1,3	DM, galvanizacija
Lewatit MP 62	70	0-8	MP	Stiren -DVB	1,7	DM, uklanjanje organskih tvari
Lewatit MP 62 WS	70	0-8	MP	Stiren -DVB	1,7	kod kontaminacija podzemnih voda, izdvajanje plemenitih metala
Lewatit A 365	60	0-9	gel	Akril-DVB	3,4	DM, uklanjanje sulfata, za kućanstva
4. PUROLITE						
Purolite A100	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-9	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,3)	DM
Purolite A100/2412	Cl ⁻ (100)		MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (3,8)	Izdvajanje zlata
Purolite A100S	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-9	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,3)	DM, šećerne otopine, uklanjanje organskih tvari
Purolite A103S	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-9	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,6)	DM šećerne otopine, uklanjanje organskih tvari
Purolite A105	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-9	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,1)	DM
Purolite A123S	OH ⁻ (70) Cl ⁻ (100)	0-8	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,7)	DM, šećerne otopine
Purolite A133S	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-9	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,8)	DM, šećerne otopine
Purolite A845	OH ⁻ (40) Cl ⁻ (100)	0-9	gel	Akril-DVB	OH ⁻ (1,6)	DM, uklanjanje organskih tvari, farmaceutska, kemijska i prehrambena industrija
Purolite A845DL	OH ⁻ (40) Cl ⁻ (100)	0-9	gel	Akril-DVB	OH ⁻ (1,6)	DM, uklanjanje organskih tvari, VS
Purolite A847	OH ⁻ (40) Cl ⁻ (100)	0-9	gel	Akril-DVB	OH ⁻ (1,6)	DM
Purolite A847C	OH ⁻ (40) Cl ⁻ (100)	0-9	gel	Akril-DVB	OH ⁻ (1,6)	DM
Purolite A847DL	OH ⁻ (40) Cl ⁻ (100)	0-9	gel	Akril-DVB	OH ⁻ (1,6)	DM
Purolite A847S	OH ⁻ (40) Cl ⁻ (100)	0-9	gel	Akril-DVB	OH ⁻ (1,6)	DM, šećerne otopine
Purolite PFA100	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-9	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,3)	DM
Purolite PFA103	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-9	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,6)	DM
Purolite PFA123	OH ⁻ (70) Cl ⁻ (100)	0-8	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,7)	DM
Purolite PFA133S	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)		MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,8)	DM, šećerne otopine
Purolite PFA847	OH ⁻ (40) Cl ⁻ (100)	0-9	gel	Akril-DVB	OH ⁻ (1,6)	Uklanjanje organskih tvari, farmaceutska, kemijska i prehrambena industrija

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 5. Jako bazni ionski izmjenjivači (Lennteh, 2014)

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Građa	Kapacitet (eq/L)	Primjena
1.DOWEX						
Dowex Marathon A	Cl ⁻ (100) OH ⁻ (60)	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3) OH ⁻ (1,0)	DM, za vode za piće, za industriju
Dowex MarathonA LB (Tip 1)	Cl ⁻ (100) OH ⁻ (60)	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	VS
Dowex Marathon A2 (Tip 2)	Cl ⁻ (70) OH ⁻ (35)	0-14	gel	Stiren -DVB	1,2	DM
Dowex Marathon MSA (Tip 1)	Cl ⁻ (100) OH ⁻ (60)	0-14	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,1)	DM
Dowex Marathon MSA-1 C (Tip 1)	100	0-14	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,0)	DM(miješani)
Dowex Marathon MSA-2 (Tip 2)	Cl ⁻ (70) OH ⁻ (35)	0-14	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,0)	DM, DA, uklanjanje organskih tvari, protustrujna
Dowex Marathon 11 (Tip 1)	Cl ⁻ (100) OH ⁻ (60)	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM, uklanjanje organskih tvari
Dowex NSR-1	Cl ⁻ (100)	0-14	MP	Stiren -DVB	0,9	Uklanjanje nitrata
Dowex UPCORE MonoA-500 (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	Protustrujna, UPCORE-NS
DowexUPCORE MonoA2-500 (Tip2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (70)	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	Uklanjanje organskih tvari, UPCORE-NS
Dowex UPCORE Mono A-625 (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	Protustrujna, UPCORE-NS, VS,
Dowex UPCORE MA-600 (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-14	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,1)	Protustrujna, UPCORE-NS
DOWEX Monosphere 550A	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-14	gel	Stiren -DVB	1,1	DM(miješani), obrada kondenzata
Dowex Monosphere 550A UPW (Tip I)	60		gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,0)	DM
Dowex PSR-2	60	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (0,65)	Uklanjanje nitrata
2.ROHM & HAAS						
Amberlite IRA402 Cl (Tip 1)	60		gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	DM, industrijska primjena, istostrujna, protustrujna
Amberlite IRA402 OH (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (76)	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (0,95)	DM, industrijska primjena
Amberlite IRA405 Cl (Tip 1)	60		gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM, uklanjanje organskih tvari, uklanjanje silicija, protustrujna
Amberlite IRA410 Cl (Tip 2)	35		gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	DM, industrijska primjena
Amberlite IRA485Cl	35	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,25)	DM, prehrambena industrija, za vode za piće
Amberlite IRA900 Cl (Tip 1)	60		MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,0)	DM(miješani), uklanjanje organskih tvari, industrijska primjena
Amberlite IRA910 Cl (Tip 2)	35		MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,0)	DM, istostrujna, prehrambena industrija, za vode za piće
Amberlite IRA958 Cl	80		MP	Akril- DVB	Cl ⁻ (0,8)	DM, uklanjanje organskih tvari, industrijska primjena, protustrujna
Amberlite UP900 (Tip 1)			MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (0,7)	Za vode za piće, u električkim industrijama, miješani

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 5 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Grada	Kapacitet (eq/L)	Primjena
Amberlite UP4000	60		gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,1)	DM(miješani), za elektroničku industriju
Amberjet 4200 Cl (Tip 1)	60		gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM(miješani), industrijska primjena, VS, Amberpack-NS
Amberjet 4400 Cl (Tip 1)	60		gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	DM(miješani), obrada kondenzata, industrijska primjena, protustrujna, VS, NS
Amberjet 4400 OH (Tip 1)	60		gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,1)	Obrada kondenzata, miješani
Amberjet 4500 Cl (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-14	gel	Stiren -DVB	1,1	DM(miješani), obrada kondenzata, energetska postrojenja, protustrujna
Amberjet 4500 OH (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-14	gel	Stiren -DVB	1,1	DM(miješani), obrada kondenzata, energetska postrojenja
Amberjet 4600 Cl (Tip 2)	35		gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,25)	DM, industrijska primjena, NS
Amberjet 9000 OH	15-60		MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (0,8)	DM(miješani), obrada kondenzata u nuklearnim postrojenjima,
Ambersep 900 OH (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (76)	0-14	MP	Stiren -DVB	OH ⁻ (0,8)	DM(miješani), obrada kondenzata, za elektroničku industriju, Amberpack-NS
Ambersep 900 SO ₄ (Tip 1)	60		MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,0)	DM(miješani), obrada kondenzata, Amberpack-NS
IMAC HP555	Cl ⁻ (80)		MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (0,9)	Uklanjanje nitrata
Amberlite PWA5	75				1,0	Uklanjanje nitrata
Amberlite PWA15	60				1,4	Uklanjanje nitrata
3.LANXESS LEWATIT						
Lewatit A 8071 (Tip 1)	30	0-14	gel	Akriil-DVB	1,25	DM, uklanjanje organskih tvari
Lewatit ASB 1 (Tip 1)	Cl ⁻ (71)	0-14	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	Uklanjanje silicija
Lewatit ASB-1 OH (Tip 1)	OH ⁻ (60)	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,15)	Uklanjanje silicija
Lewatit ASB 2 (Tip 2)	Cl ⁻ (76) OH ⁻ (35)	0-14	gel	Stiren -DVB	1,4	Lošije uklanjanje silicija od Lewatit ASB 1
Lewatit DW 630 (Tip 1)		6-8	MP	Stiren -DVB	1,1	Uklanjanje kompleksa i organskih tvari
Lewatit MonoPlus SR7	80		MP	Stiren -DVB	0,6	Uklanjanje nitrata
Lewatit MonoPlus M 500 OH (Tip 1)	70	0-12	gel	Stiren -DVB	1,1	DM
Lewatit MonoPlus M 500 (Tip 1)	70	0-12	gel	Stiren -DVB	1,3	DM
Lewatit MonoPlus M 500 KR (Tip 1)	70	0-12	gel	Stiren -DVB	1,1	Uklanjanje radioaktivnih izotopa, nuklearna postrojenja
Lewatit MonoPlus M 500 MB (Tip 1)	70	0-12	gel	Stiren -DVB	1,3	Miješani
Lewatit MonoPlus M 600 (Tip 2)	30	0-11	gel	Stiren -DVB	1,3	DM(miješani)
Lewatit MonoPlus M 800 (Tip 1)	70	0-12	gel	Stiren -DVB	1,4	DM(miješani), obrada kondenzata

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 5 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Grada	Kapacitet (eq/L)	Primjena
Lewatit MonoPlus M 800 KR (Tip 1)	70	0-12	gel	Stiren -DVB	1,2	Uklanjanje radioaktivnih izotopa
Lewatit MonoPlus M 800 OH (Tip 1)	70	0-12	gel	Stiren -DVB	1,2	DM(miješani), obrada kondenzata
Lewatit MonoPlus MP 500 (Tip 1)	70	0-12	MP	Stiren -DVB	1,1	DM, obrada kondenzata
Lewatit MonoPlus MP 500 KR (Tip 1)	70	0-12	MP	Stiren -DVB	1,1	Uklanjanje radioaktivnih izotopa, nuklearna postrojenja
Lewatit MonoPlus MP 800 (Tip 1)	70	0-12	MP	Stiren -DVB	1,0	DM, obrada kondenzata
Lewatit MonoPlus MP 800 OH (Tip 1)	70	0-12	MP	Stiren -DVB	0,8	DM, obrada kondenzata
Lewatit S 6268 (Tip 1)	Cl ⁻ (90) OH ⁻ (70)	0-12	gel	Stiren -DVB	1,2	DM, prehrambena industrija
Lewatit S 6328 A (Tip 1)	85	0-12	MP	Stiren -DVB	1,0	Prehrambena industrija
Lewatit S 6368 (Tip 1)	OH ⁻ (70) Cl ⁻ (85)	0-12	MP	Stiren -DVB	1,1	Prehrambena industrija
Lewatit S 6368 A (Tip 1)	OH ⁻ (70) Cl ⁻ (85)	0-12	MP	Stiren -DVB	1,0	Prehrambena industrija
Lewatit S 6368 SULFATE (Tip 1)	OH ⁻ (70) Cl ⁻ (85)	0-12	MP	Stiren -DVB	1,1	Prehrambena industrija
Lewatit S 7468 (Tip 2)	40	0-12	MP	Stiren -DVB	1,0	DM(miješani), prehrambena industrija
Lewatit UltraPure 1241 MD (Tip 1)	70	0-12	gel	Stiren -DVB	1,3	DM
Lewatit UltraPure 1243 MD (Tip 1)	40	0-14	gel	Stiren -DVB	1,1	DM, elektronička industrija
Lewatit UltraPure 1261 MD (Tip 1)	40	0-14	MP	Stiren -DVB	1,1	DM
4.PUROLITE						
Purolite A200 (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (85)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM
Purolite A200MB (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (85)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM(miješani), uklanjanje silicija
Purolite A300 (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (85)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	DM, uklanjanje silicija
Purolite A400 (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM(miješani), uklanjanje silicija, VS
Purolite A400 MB C (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM(miješani), uklanjanje silicija
Purolite A400 DL (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM(miješani), uklanjanje silicija, VS
Purolite A400E (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM(miješani), uklanjanje silicija, prehrambena industrija, VS
Purolite A400OH (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM, uklanjanje silicija, miješani, VS
Purolite A400TL (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM(miješani), uklanjanje silicija, obrada kondenzata
Purolite A420S (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	Cl ⁻ (6-9)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (0,8)	Uklanjanje organskih tvari (šećerni sirupi)
Purolite A500 (Tip 1)	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	Uklanjanje silicija

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 5 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Grada	Kapacitet (eq/L)	Primjena
Purolite A500MB (Tip 1)	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	DM(miješani)
Purolite A500MBOH (Tip 1)	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	DM(miješani)
Purolite A500C (Tip 1)	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	DM(miješani)
Purolite A500DL	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)		MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	DM, uklanjanje silicija, VS
Purolite A500MBOHIND	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	DM(miješani)
Purolite A500P (Tip 1)	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)	Cl ⁻ (5-10)	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (0,8)	Uklanjanje organskih tvari, industrija, u domaćinstvu
Purolite A501P (Tip 1)	OH ⁻ (60)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (0,6)	Uklanjanje koloida, elektronička, medicinska i farmaceutska industrija
Purolite A503 (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,0)	DM
Purolite A510 (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	DM, za fluidizirani sloj
Purolite A510S (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	Uklanjanje organskih tvari
Purolite A510FL (Tip 1)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (100)		MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	Protustrujna
Purolite A510MB (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	DM(miješani)
Purolite A510MBOH (Tip2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	DM(miješani)
Purolite A510MBOHIND (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	DM(miješani)
PuroliteA513 (Tip2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,0)	DM
Purolite A520E (Tip 1)	Cl ⁻ (100)	Cl ⁻ (4,5-8,5)	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (0,9)	Uklanjanje nitrata, za vode za piće
Purolite A555 (Tip3)	OH ⁻ (55) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,1)	Uklanjanje silicija, organskih tvari, protustrujna
Purolite A 600 (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	DM(miješani), uklanjanje silicija, VS
Purolite A600C (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	DM(miješani), uklanjanje silicija, VS
Purolite A600DL (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	DM, uklanjanje silicija, VS
Purolite A600MBOH (Tip1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	DM(miješani), uklanjanje silicija
Purolite A860 (Tip 1)	OH ⁻ (40) Cl ⁻ (80)	1-14	MP	Akril- DVB	Cl ⁻ (0,8)	Uklanjanje organskih tvari
Purolite PF300 (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (85)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	DM
Purolite PFA200 (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (85)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,3)	DM
Purolite PFA 600 (Tip 1)	OH ⁻ (60) Cl ⁻ (100)	OH ⁻ (1-10)	gel	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,4)	DM
Purolite PFA500S (Tip 1)	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)		MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	Šećerne otopine

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 5 - nastavak

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Grada	Kapacitet (eq/L)	Primjena
Purolite PPA500 (Tip 1)	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	DM, protustrujna
Purolite PPA500MB (Tip 1)	OH ⁻ (65) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,15)	DM(miješani), uklanjanje silicija
Purolite PPA510 (Tip 2)	OH ⁻ (35) Cl ⁻ (100)	0-11	MP	Stiren -DVB	Cl ⁻ (1,2)	DM, protustrujna

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

Tablica 6. Miješani ionski izmjenjivači (Lennteh, 2014)

Izmjenjivač	maks T (°C)	pH	Tip	Grada	Kapacitet (eq/L)	Primjena
1.Dowex						
Dowex Marathon MR-3 (JK:JB=1:1)	60	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,0) H ⁺ (1,9)	DM
Dowex MB 50 (JK:JB=1,2:1)	60	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,2) H ⁺ (1,8)	DM
Dowex Monosphere MR-3 UPW	60		gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,0) H ⁺ (1,9)	DM
Dowex Monosphere MR-450 UPW	60		gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,0) H ⁺ (1,9)	DM
Dowex Monosphere MR-575 LC NG (JK:JB=1:1)	60	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,1) H ⁺ (2,3)	DM
2.Rohm & Haas						
Amberjet UP 6040 (JK+JB)	60		gel		H ⁺ (2,0) OH ⁻ (1,1)	DM, u elektroničkim industrijama
Amberjet UP 6150	15-25				H ⁺ (1,8) OH ⁻ (1,0)	DM
3.Lanxess Lewatit						
Lewatit MonoPlus SM 1000 KR (JK:JB-Tip 1=1:1)	60	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,2) H ⁺ (2,1)	Nuklearna postrojenja
Lewatit MonoPlus SMP 1000 KR (JK:JB-Tip 1= 1:1)	60	0-14	MP	Stiren -DVB	H ⁺ (1,6) OH ⁻ (0,8)	Obrada otpadnih voda, nuklearna postrojenja
Lewatit SM 1000-KR- ⁷ Li (JK:JB-Tip 1=1:1)	60	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,2) H ⁺ (2,1)	Nuklearna postrojenja
Lewatit NM 60 (JK:JB-Tip 1=1:1)	60	0-14	gel	Stiren -DVB	0,4	DM, u industriji, uklanjanje radioaktivnog otpada
Lewatit NM 91 (55% JK +45% JB-Tip 1)	60	0-14	gel	Stiren -DVB	0,3	DM
Lewatit S 9167 (JK:JB-Tip1=1:1,6)	60	0-14	gel	Stiren -DVB	H ⁺ (2,0)	DM, prehrambena industrija, voda za piće
Lewatit UltraPure1292 (JK:JB-Tip 1=1:1)	40	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,1) H ⁺ (2,1)	DM
Lewatit UltraPure 1294 MD (JK+JB-Tip 1=1:1)	40	0-14	gel	Stiren -DVB	OH ⁻ (1,1) H ⁺ (2,1)	DM

DA-dealkalizacija, DM-demineralizacija, M-mekšanje

MP-makroporozni, NS-nasuti sloj (packed bed), PS-pokretni sloj, VS-višeslojni sloj

3. ZAKLJUČAK

Prema navedenim podacima ukupni kapacitet slabo kiselog izmjenjivača je najveći pa može biti i do 4,6 mol/L, slabo kiseli izmjenjivači su otporni su na visoke temperature, dok im je nedostatak to što ne pokazuju svojstva ionske izmjene pri kiselom pH. Građa im je većinom akril-DVB, osim kod Lewatita koja proizvodi slabo kisele izmjenjivače od stiren-DVB. Što se tiče tipa, mogu biti i gel i makroporozni, ovisno o proizvođaču. Većinom se primjenjuju za dealkalizaciju.

Jako kiseli izmjenjivači imaju najveću otpornost na visoke temperature, kiseline i lužine, radi pri temperaturama i do 150°C i u pH području 0-14 jedinica. Građeni su od stiren-DVB, makroporozne i gel strukture, te se uglavnom koriste za demineralizaciju (H^+ forma), mekšanje (Na^+ forma) te za obradu kondenzata.

Slabo bazni izmjenjivač ne pokazuje svojstva ionske izmjene u lužnatom pH, dok su maksimalna radna temperatura i kapacitet malo veći od jako baznog ionskog izmjenjivača. Mogu biti gel ili makroporoznog tipa, građeni od stiren-DVB ili akril-DVB, ovisno o proizvođaču. Koriste se većinom za demineralizaciju, a u nekim slučajevima za mekšanje i uklanjanje organskih tvari.

Jako bazni izmjenjivač ima najlošije karakteristike što se tiče kapaciteta i maksimalne radne temperature koja je kod nekih tipova izmjenjivača samo 35 °C. Građa im je većinom od stiren-DVB, u rijetkim slučajevima od akril-DVB, a također mogu biti gel ili makroporoznog tipa. Njihova primjena je raznolika, a najviše se koriste za demineralizaciju, uklanjanje organskih tvari, uklanjanje nitrata, obradu kondenzata te za uklanjanje silicija.

4. LITERATURA

1. Alchin, D. (2008)
<<http://nzic.org.nz/ChemProcesses/water/13D.pdf>>.
Pristupljeno 01.06.2014.
2. Anonymus (2013)
<<http://www.bio-rad.com/webroot/web/pdf/psd/literature/LIT205.pdf>>.
Pristupljeno 24.05.2014.
3. Clifford, D., Liu, X. (1993)
< <http://infohouse.p2ric.org/ref/39/38537.pdf>>.
Pristupljeno 12.05.2014.
4. Dardel, F. (2013)
< <http://dardel.info/IX/>>.
Pristupljeno 01.06.2014.
5. DeSilva, F.J. (1997), *Removing Organics With Ion Exchange Resin*, Water Conditioning & Purification Magazine
<<http://www.resintech.com/pdf/removingorganicswithixresin.pdf>>.
Pristupljeno 18.05.2014.
6. Dorfner, K. (1991), *Ion Exchangers*, 1. izdanje, Walter De Gruyter Inc, Berlin, New York
7. Harland, C.E. (1994), *Ion Exchange: Theory and Practice*, 2. izdanje, The Royal Society of Chemistry, London
8. Helfferich, F. (1995), *Ion Exchange*, 1. izdanje, Dover Publications, New York
9. Kovač, Z. (2012), *Ionski izmjenjivači i njihova primjena u mljekarstvu*, Tehnološki fakultet, Zagreb
10. Lenntech (2014.)
< <http://www.lenntech.com/products/resins/ixresins.htm>>.
Pristupljeno 03.06.2014.
11. Lewatit (2014)
< <http://www.lewatit.co.kr/Lewatit.pdf>>.
Pristupljeno 08.06.2014.
12. Mijatović, I., Matošić, M. (2012) *Tehnologija vode – interna skripta*, dopunjeno izdanje, Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Zagreb
13. Purolite (2013)
<http://www.purolite.com/reliid/606975/isvars/default/mixed_bed_-_industrial_.htm>.
Pristupljeno 01.06.2014.
14. Salmon, J.E, Hale, D.K. (1959), *Ion Exchange A Laboratory Manual*, 1. izdanje, Butterworths Scientific Publications, London
15. Simon, G.P. (1991), *Ion Exchange Training Manual*, 1. Izdanje, Springer Science+ Business Media, New York
16. Zagrodni, A. A. (2007.), *Ion Exchange Materials: Properties And Applications*, 1. izdanje, Elsevier Science, Amsterdam