

Ionski izmjenjivači i njihova primjena u demineralizaciji vode

Baranović, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:121482>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-22**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

IONSKI IZMJENJIVAČI I NJIHOVA PRIMJENA U
DEMINEALIZACIJI VODE

ZAVRŠNI RAD

LUCIJA BARANOVIĆ

Matični broj: 400

Split, rujan 2020.g.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
PREDDIPLOMSKI STUDIJ KEMIJE

IONSKI IZMJENJIVAČI I NJIHOVA PRIMJENA U
DEMINERALIZACIJI VODE

ZAVRŠNI RAD

LUCIJA BARANOVIĆ

Matični broj: 400

Split, rujan i 2020.g.

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
UNDERGRADUATE STUDY IN CHEMISTRY

**ION EXCHANGERS AND THEIR APPLICATION IN WATER
DEMINERALIZATION**

BACHELOR THESIS

LUCIJA BARANOVIĆ

Parent number: 400

Split, september 2020.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu
Kemijско-tehnološki fakultet u Splitu
Preddiplomski studij kemije

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Kemija

Tema rada je prihvaćena na 20. Sjednici Fakultetskog vijeća Kemijско tehnološkog fakulteta

Mentor: prof. dr. sc. Josipa Giljanović

IONSKI IZMJENJIVAČI I NJIHOVA PRIMJENA U DEMINERALIZACIJI VODE

Lucija Baranović, 400

Sažetak: Ionska izmjena je reverzibilan proces koji se odvija između krute faze i otopine elektrolita. Kod navedenog procesa koriste se ionski izmjenjivači koji predstavljaju krute u vodi netopljive, različite kopolimere umrežene u trodimenzionalnu strukturu. Obzirom na vrstu iona kojeg izmjenjuju razlikujemo: jako kiseli kationski izmjenjivač, slabo kiseli kationski izmjenjivač, slabo bazni anionski i jako bazni anionski izmjenjivač. Svoju primjenu nalaze u demineralizaciji vode. Voda je jedna od najvažnijih tvari u prirodi, koristi se za održavanje života svih organizama na Zemlji te svoju primjenu pronalazi i u industriji. Za korištenje u industriji voda mora ispunjavati određene zahtjeve, jedan od zahtjeva je zadovoljen procesom demineralizacije ionskim izmjenjivačima. Demineralizirana voda dobiva se provođenjem sirove vode kroz kombinaciju ionskih izmjenjivača pomoću koji se iz vode uklanjaju sve otopljene soli. Kao takva svoju primjenu nalazi u različitim industrijama kao što su na primjer: prehrambena industrija, tehnološki pogoni, farmaceutska industrija i dr.

Ključne riječi: ionska izmjena, ionski izmjenjivač, voda, demineralizacija

Rad sadrži: 24 stranica, 9 slika, 3 tablica, 0 priloga, 17 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1. izv.prof.dr.sc. Ante Prkić – Predsjednik
2. prof.dr.sc. Marija Bralić – član
3. prof.dr.sc. Josipa Giljanović – član-mentor

Datum obrane: 15.09.2020.g.

Rad je u tiskanom i elektroničnom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijско-tehnološkog fakulteta Split, Teslina 10 (Ruđera Boškovića 33).

BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

University of Split
Faculty of Chemistry and Technology Split
Undergraduate study in chemistry

Scientific area: Natural Sciences

Scientific field: Chemistry

Thesis subject was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Technology, session no.20

Mentor: prof.dr.sc. Josipa Giljanović

ION EXCHANGERS AND THEIR APPLICATION IN WATER DEMINERALIZATION

Lucija Baranović, 400

Abstract: Ion exchange is a reversible process that takes place between the solid phase and the electrolyte solution. In this process, ion exchangers are used, which are solid water-insoluble, different copolymers crosslinked in a three-dimensional structure. Depending on the type of ion they exchange, we distinguish: strongly acidic cation exchanger, weakly acidic cation exchanger, weakly basic anion and strongly basic anion exchanger. They find their application in water demineralization. Water is one of the most important substances in nature, it is used to sustain the life of all organisms on Earth, and they find their application in industry. For use in industry, water must meet certain requirements, one of the requirements is met by the process of demineralization by ion exchangers. Demineralized water is obtained by passing raw water through a combination of ion exchangers by which all dissolved salts are removed from the water. As such, this examples can be found in various industries, such as: food industry, technological plants, pharmaceutical industry, etc.

Keywords: ion exchange, ion exchanger, water, demineralization

Thesis contains: 24 pages, 9 figures, 3 tables, 0 supplements, 17 references

Original in: Croatian

Defence committee:

- | | |
|----------------------------------|--------------|
| 1. izv.prof.dr.sc. Ante Prkić | chair person |
| 2. prof.dr.sc.Marija Baralić | member |
| 3. prof.dr.sc. Josipa Giljanović | supervisor |

Defence date: 15.09.2020

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Teslina 10 (Rudera Boškovića 33).

Završni rad je izrađen u Zavodu za analitičku kemiju, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom prof.dr.sc.Josipe Giljanović, u razdoblju od kolovoza do rujna 2020 godine.

Srdačno zahvaljujem svojoj mentorici prof.dr.sc Josipi Giljanović na pomoći, savjetima i razumijevanju pri izradi ovog rada. Isto tako zahvaljujem u prvom redu svojoj obitelji i prijateljima na razumijevanju i potpori te mojim kolegicama i kolegama na suradnji tijekom studiranja.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Teorijski prikazati karakteristike, strukturu, tipove i vrste ionskih izmjenjivača.

Objasniti princip rada izmjenjivača i njihovu ulogu u demineralizaciji vode.

SAŽETAK

Ionska izmjena je reverzibilan proces koji se odvija između krute faze i otopine elektrolita. Kod navedenog procesa koriste se ionski izmjenjivači koji predstavljaju krute, u vodi ne topljive, različite kopolimere, umrežene u trodimenzionalnu strukturu. Obzirom na vrstu iona kojeg izmjenjuju razlikujemo: jako kiseli kationski izmjenjivač, slabo kiseli kationski izmjenjivač, slabo bazni anionski i jako bazni anionski izmjenjivač. Svoju primjenu nalaze u demineralizaciji vode. Voda je jedna od najvažnijih tvari u prirodi, koristi se za održavanje života svih organizama na Zemlji, te svoju primjenu pronalazi i u industriji. Za korištenje u industriji voda mora ispunjavati određene zahtjeve, jedan od zahtjeva je zadovoljen procesom demineralizacije ionskim izmjenjivačima. Demineralizirana voda dobiva se provođenjem sirove vode kroz kombinaciju ionskih izmjenjivača pomoću koji se iz vode uklanjaju sve otopljene soli. Kao takva svoju primjenu nalazi u različitim industrijama kao što su na primjer: prehrambena industrija, tehnološki pogoni, farmaceutska industrija i dr.

Ključne riječi: ionska izmjena, ionski izmjenjivač, voda, demineralizacija

SUMMARY

Ion exchange is a reversible process that takes place between the solid phase and the electrolyte solution. In this process, ion exchangers are used, which are solid water-insoluble, different copolymers, crosslinked in a three-dimensional structure. Depending on the type of ion they exchange, we distinguish: strongly acidic cation exchanger, weakly acidic cation exchanger, weakly basic anion and strongly basic anion exchanger. They find their application in water demineralization. Water is one of the most important substances in nature, it is used to sustain the life of all organisms on Earth, and they find their application in industry. For use in industry, water must meet certain requirements, one of the requirements is met by the process of demineralization by ion exchangers. Demineralized water is obtained by passing raw water through a combination of ion exchangers by which all dissolved salts are removed from the water. As such, this examples can be found in various industries, such as: food industry, technological plants, pharmaceutical industry, etc.

Keywords: ion exchange, ion exchanger, water, demineralization

SADRŽAJ

UVOD

| | |
|---|----|
| 1. OPĆI DIO | 1 |
| 1.1. VODA | 1 |
| 1.2. FIZIKALNO-KEMIJSKE KARAKTERISTIKE VODE | 2 |
| 1.3. POVIJESNI RAZVOJ IONSKIH IZMJENJIVAČA | 4 |
| 2. STRUKTURA IONSKIH IZMJENJIVAČA | 6 |
| 3. PODJELA IONSKIH IZMJENJIVAČA | 8 |
| 3.1. PODJELA PREMA PRIRODI | 8 |
| 3.2. PODJELA PREMA STRUKTURI | 10 |
| 3.3. PODJELA S OBZIROM NA ION KOJEG IZMJENJUJU | 11 |
| 3.3.1 KATIONSKE IONSKE IZMJENJIVAČI | 11 |
| 3.3.2 ANIONSKE IONSKE IZMJENJIVAČI | 11 |
| 3.3.3 MIJEŠANI IZMJENJIVAČI | 15 |
| 4. TIPOVI IONSKIH IZMJENJIVAČA | 16 |
| 4.1. IZMJENJIVAČI GEL STRUKTURE | 16 |
| 4.2. MAKROPOROZNI IZMJENJIVAČI / MAKRORETIKULARNI | 17 |
| 5. PODJELA PREMA VELIČINI ZRNA | 17 |
| 6. REGENERACIJA | 18 |
| 6.1 KONTROLA REGENERACIJE | 19 |
| 6.2 ISPIRANJE IONSKE MASE | 19 |
| 7. PRINCIP RADA IONSKOG IZMJENJIVAČA | 20 |
| 8. DEMINERALIZACIJA VODE POMOĆU IONSKIH IZMJENJIVAČA | 21 |
| 8.1 POSTUPAK DEMINERALIZACIJE | 22 |
| 8.2 BATERIJA ZA DEMINERALIZACIJU | 24 |
| 8.3 KONTROLA DEMINERALIZIRANE VODE | 25 |
| 9. PRIMJENA DEMINERALIZIRANE VODE | 25 |
| 10. ZAKLJUČAK | |
| 11. LITERATURA | |

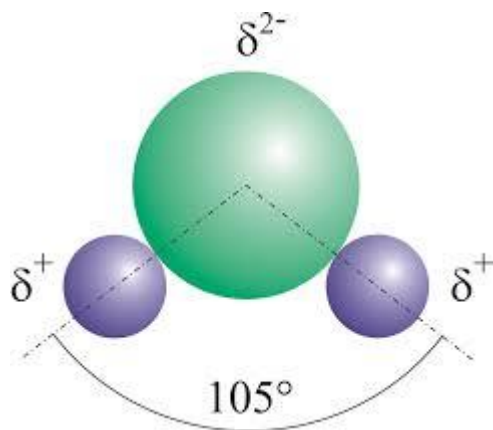
UVOD

Ionska izmjena je reverzibilan proces izmjene iona između krute faze i otopine elektrolita. Postupak ionske izmjene uključuje upotrebu ionskih izmjenjivača koji imaju sposobnost izmjene iona u kontaktu sa otopinom elektrolita. Ionski izmjenjivači su kruti, u vodi netopljivi makromolekularni polielektroliti. Koriste se u laboratorijskom radu i u industrijskoj proizvodnji. Oko 75% ionskih izmjenjivača upotrebljava se u tehnologiji vode. Najširu primjenu imaju organski sintetski izmjenjivači, dok se anorganski izmjenjivači koriste kao molekulska sita ili u procesima koji iziskuju rad pri povišenim temperaturama i radioaktivnim zračenjem. Ionska izmjena nalazi svoju glavnu primjenu u pripremi vode određenih svojstava za različite industrijske procese. Izmjenjivačke smole predstavljaju različite kopolimere umrežene u trodimenzionalnu strukturu na kojoj se nalaze kovalentno vezane aktivne skupine. Ovisno o aktivnoj skupini razlikujemo slabo kiseli kationski, jako kiseli kationski, jako bazni anionski i slabo bazni anionski izmjenjivač, čiji je detaljni pregled dan u nastavku rada. U radu je opisana važnost ionskih izmjenjivača i princip rada u demineralizaciji vode, vrste i podjela ionskih izmjenjivača, te njihova regeneracija. Proces ionske izmjene zastupljen je u granama industrije zbog jednostavnosti instalacije i malih ekonomskih opterećenje te zauzvrat dobivamo vodu određene kvalitete koja ima daljnju primjenu.

1. OPĆI DIO

1.1. VODA

Voda je izvor života, bezbojna je tekućina bez okusa i mirisa. Kao kemijski spoj, molekula vode sastoji se od dva atoma vodika i jednog atoma kisika spojenih kovalentnom vezom; kut između atoma vodika iznosi $104,5^\circ$. U prirodi se nalazi u sva tri agregatna stanja - čvrsto, tekuće i plinovito. Voda je polarna dipolna molekula, polarnost proizlazi iz razlike u elektronegativnosti atoma vodika i kisika. Stvaranje vodikovih veza koje uzrokuju asocijaciju molekula u krutom i tekućem stanju pripisujemo dipolnosti molekule. Tetraedarsku strukturu molekula vode tvori pri temperaturama nižim od 0°C . Najveća gustoća vode je pri 4°C , što je posljedica tetraedarske strukture u kojoj se nalaze šupljine. Molekule vode imaju kohezijska svojstva, odnosno molekule stvaraju vodikove veze. Kohezivnost uzrokuje veliku površinsku napetost, kapilarnost, specifičnu toplinu, visoku točku vrelišta i toplinu isparavanja. Sinteza vode može se vršiti direktnom sintezom iz kisika i vodika, iako se nerijetko nađe kao jedan od produkata raznih kemijskih reakcija.



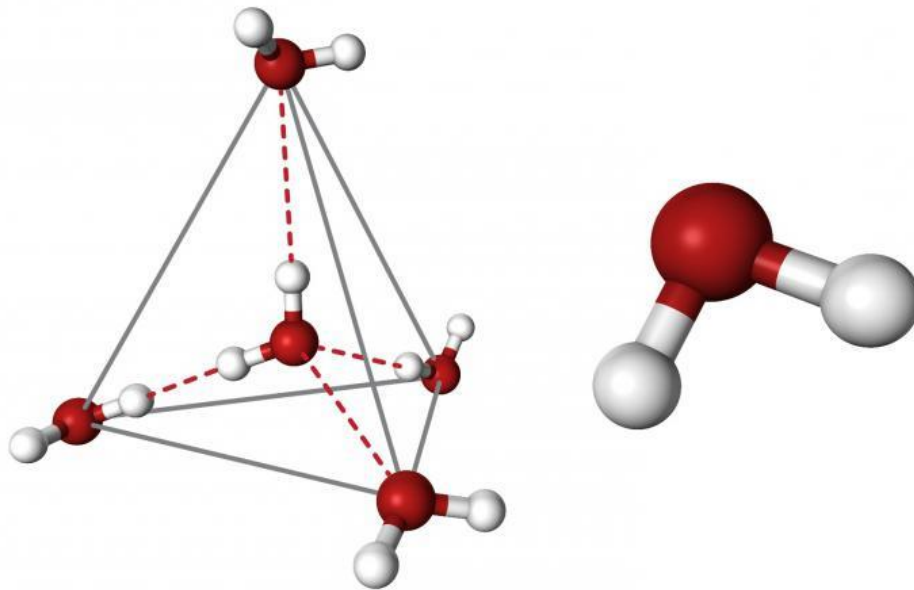
Slika 1., Prikaz molekule vode

1.2. FIZIKALNO-KEMIJSKE KARAKTERISTIKE VODE

Molekula vode je trokutaste strukture s kutom od $104,5^\circ$ između dvije OH veze. Zbog razlike u koeficijentima elektronegativnosti između kisika i vodika, molekula je izrazito dipolnog karaktera. Pozitivan kraj molekule privlači negativan kraj, što pomoću vodikove veze dovodi do asocijacije molekula u tekućem i čvrstom stanju. Molekule vode povezane vodikovom vezom predstavljaju da je kisik okružen s četiri atoma vodika, nezamislivo je da vodik dijeli četiri elektrona. Tako je jedan elektronski par kovalentna veza vodika s kisikom, a druga je vodikova veza. U ledu je svaki atom kisika okružen sa četiri atoma vodika što daje tetraedarsku strukturu. Važna karakteristika te strukture je slaganje u obliku saća, stvarajući heksagonalne kanale. Iz tog razloga led ima manju gustoću prema vodi. Povećanjem temperature povećava se i kinetika gibanja molekula, te dolazi do kidanja vodikovih veza i udaljavanja molekula vode jedne od druge i smanjenja gustoće vode. Navedeni efekt javlja se tek pri temperaturama većim od $3,98^\circ\text{C}$. Pri nižim temperaturama dolazi do narušavanja tetraedarskih struktura i zbog toga voda najveću gustoću ima pri $3,98^\circ\text{C}$. Ledište vode je na 0°C (273 K), a vrelište na 100°C (373 K).

Voda ima veliku moć otapanja, stoga se u prirodi nikad ne nalazi u potpuno čistom obliku. Prolaskom kroz Zemljinu koru voda pomoću CO_2 otapa inače netopljive karbonate (dolomit, magnezit, itd.) i pretvara ih u topive hidrogenkarbonate. Uz hidrogenkarbonate voda se obogaćuje i drugim solima kao što su NaCl, CaSO_4 itd. Značajno onečišćenje vode je s ionima Ca^{2+} , Mg^{2+} . Voda koja sadrži navedene ione naziva se *tvrda voda*. Tvrdoća vode mjeri se u tzv. *stupnjevima tvrdoće*: 1 njemački stupanj tvrdoće predstavlja količinu gornjih iona ekvivalentnoj masenoj koncentraciji CaO od 10 mg/L, a 1 francuski stupanj tvrdoće predstavlja količinu gore navedenih iona ekvivalentnoj masenoj koncentraciji CaCO_3 od 10 mg/L. Tvrdoća vode uvjetovana je prisutnošću kalcijevih i magnezijevih iona. Razlikujemo dva tipa tvrdoće vode: stalnu ili nekarbonatnu tvrdoću i prolaznu ili karbonatnu tvrdoću. Karbonatnu tvrdoću vode čine u vodi otopljeni Ca- i Mg- hidrogenkarbonati. Ovaj tip tvrdoće vode uklanja se kuhanjem; zagrijavanjem Ca- i Mg- hidrogenkarbonati prelaze u teško topive karbonate i ugljičnu kiselinu. Nekarbonatnu tvrdoću sačinjavaju ostale Ca- i Mg- soli, tj. sulfati, kloridi, nitrati i silikati.

Voda je bez okusa i mirisa, u tankim slojevima nema boju ali je u debljim slojevima plavkasta. Kiselost ili pH pitke vode po pravilu treba se kretati od 6,5 do 8 pH jedinica. Prirodne vode zbog otopljenih tvari rijetko imaju navedeni pH. U kiselim sredinama pH vrijednost vode je manja zbog povišene koncentracije H^+ iona, dok je u bazičnim sredinama veća zbog povišene koncentracije OH^- iona. Vrijednost pH ovisi o fizikalno-kemijskim i biološkim čimbenicima. Od kemijskih čimbenika najvažniji su slobodni CO_2 i soli ugljične kiseline. Otapanjem CO_2 nastaje ugljična kiselina koja se razlaže na H^+ i HCO_3^- ione. Vodikovi ioni pridonose kiselosti vode, dok soli ugljične kiseline, karbonati i bikarbonati pridonose svojim razlaganjem bazičnosti vode.



Slika 2., Tetraedarski prostorni smještaj molekule vode

1.3. POVIJESNI RAZVOJ IONSKIH IZMJENJIVAČA

Povijest ionske izmjene seže u daleku prošlost, a najstarija od njih se nalazi u Bibliji gdje je opisano kako je Mojsije pripremio vodu za piće iz morske vode Aristotelu propuštajući istu kroz sloj pijeska. Jedna od najvećih prekretnica u povijesti otkrića ionske izmjene bio je rad dvojice engleskih znanstvenika J. Thomas Way i Harry Thompsona. Rad navedenih znanstvenika objavljen je 1850. godine te prikazuje svojstva ionske izmjene kod prirodnih zeolita (alumosilikati hidrotermalnog porijekla). Do nenadanog otkrića došlo je prilikom ispiranja vodom zemlje oranice koja je sadržavala amonijev sulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, tada jedino umjetno dušično gnojivo, znanstvenici su utvrdili kako se u filtratu umjesto amonijeva sulfata pojavljuje kalcijev sulfat (CaSO_4) što ukazuje na ionsku izmjenu, točnije izmjenu kationa jer zemlja zadržava amonijak dok u zamjenu otpušta kalcij. Daljnjim istraživanjem dokazano je da se izmjena ne odnosi samo na gore navedena dva kationa, već se odnosi na sve katione određenim redoslijedom izmjene: $\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{NH}_4^+$

Prvi tip izmjenjivača bio je anorganski spoj na bazi natrij-silikata. Njihov polion ima negativan naboj zbog toga što se na nekim mjestima umjesto silicija nalazi aluminij. Negativni naboj neutraliziran je pokretnim natrij ionima.

Nastavkom istraživanja ionske izmjene dva njemačka kemičara Harm i Rumpler, pripremili su prvi sintetski industrijski ionski izmjenjivač 1903. godine (Helfferich 1995.g.). Ganssen je 1906. godine proizveo prve sintetske industrijske izmjenjivače za mekšanje vode koji su nazvani permutiti (sintetički zeoliti). Ipak imali su poneka loša svojstva (veliku osjetljivost na karboksilnu kiselinu i mehaničke nečistoće, mali kapacitet, djelomično su otpuštali SiO_2). Zatim je otkriveno kako ionski izmjenjivači mogu koristiti organske tvari te 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 uvele i jako disocirane sulfonske ($-\text{SO}_3\text{H}$) grupe. (Mijatović i Matošić, 2012)

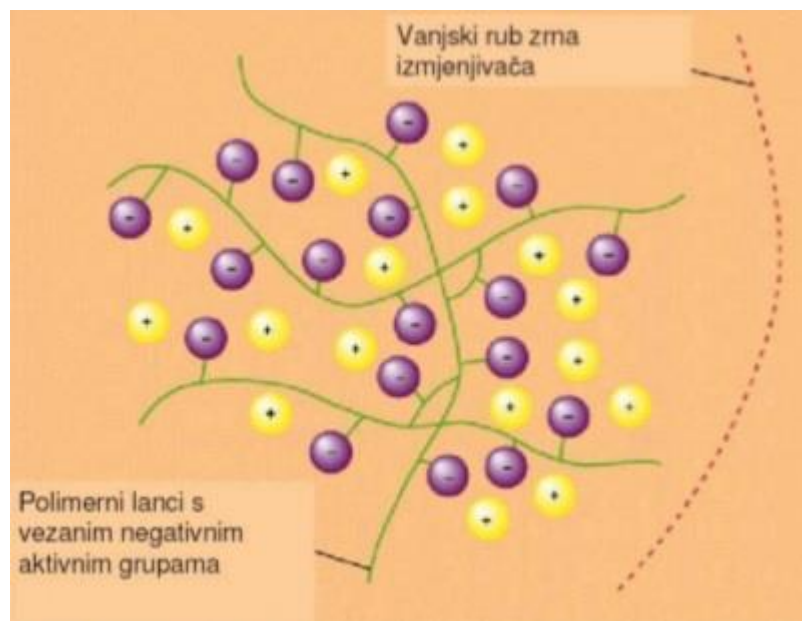
Revolucionarnim otkrićem dva engleska znanstvenika, Adamsa i Holmesa 1935. godine, da smrvljene gramofonske ploče, koje su se dobivale kondenzacijom fenola s formaldehidom, posjeduju svojstvo ionske izmjene, dovelo je do razvoja u proizvodnji sintetskih ionskih izmjenjivača s najboljim svojstvima do 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)

Najrašireniju primjenu u današnje vrijeme imaju organski sintetski izmjenjivači koji kao bazu imaju umjetnu smolu, zbog svojstava smole, na kojima se zasniva njihova primjena u laboratorijima i industriji.

2. STRUKTURA IONSKIH IZMJENJIVAČA

Ionski izmjenjivači su polimerni spojevi odnosno krute, u vodi netopive kiseline, baze ili soli, koji imaju svojstvo da vežu ione iz otopine i pri tome oslobađaju ekvivalentnu količinu istovrsno nabijenih iona. Izmjenjivačke smole predstavljaju različite kopolimere umrežene u trodimenzionalnu strukturu na koju su kovalentnim vezama pričvršćene aktivne skupine. Ovisno o vrsti aktivnih skupina, ionski izmjenjivač može biti s pozitivnim ili negativnim električnim nabojem. Ukoliko se radi o kiselim aktivnim skupinama rešetka je negativno nabijena, odnosno ako je riječ o bazičnim skupinama rešetka je nabijena pozitivnim nabojem. Na aktivne skupine vezani su tzv. pokretni ioni suprotnog naboja od naboja rešetke tako da je ionski izmjenjivač prema van električki neutralan. Pokretni ioni su za rešetku vezani slabim elektrostatskim silama što im omogućava lako otpuštanje sa same rešetke na čemu se i zasniva princip ionske izmjene. (I. Mijatović, M. Matošić, 2012.g.)



Slika 3., Shematski prikaz strukture ionskog izmjenjivača

Kada ionski izmjenjivač dođe u kontakt sa otopinom elektrolita, koja sadrži ione suprotnog naboja od naboja pokretnih iona vezanih na rešetci izmjenjivača, ioni počinju prodirati u zrno izmjenjivača sve dok se ne dostigne stanje ravnoteže. Ova vrsta ravnoteže naziva se Donannova ravnoteža. Ionski izmjenjivači većinom su u obliku kuglica čiji promjer seže od 0,3 do 0,8 mm s unutarnjom površinom od 400-600m²/g. Većina ionskih izmjenjivača proizvodi se na osnovi stirena, divinilbenzena, akrilne i metaakrilne kiseline, te svoju primjenu nalaze u tehnološkim procesima za pripremu dobara koja se koriste u svakodnevnici.

3. PODJELA IONSKIH IZMJENJIVAČA

Ionske izmjenjivače možemo podijeliti po njihovoj prirodi, strukturi, i prema vrsti iona kojeg izmjenjuju. (G. Gulič, Priprema vode, Izdavačko štamparsko preduzeće Minerva, Subotica, 1969.)

3.1. PODJELA PREMA PRIRODI

Ionske izmjenjivače prema njihovoj prirodi dijelimo na :

- I. grupu – silikatne ionske izmjenjivače,
- II. grupu – ugljene ionske izmjenjivače, □
- III. grupu – smolne ionske izmjenjivače.

Prvi silikatni ionski izmjenjivači dobiveni su taljenjem aluminijevih silikata, kaolina i slično. Konstrukcija izmjenjivača bila su sitna zrna i nazvani su zeoliti te su predstavljali prvi oblik ionskih izmjenjivača. Daljnjom proizvodnjom napravljeni su izmjenjivači od natrijevih silikata i silikata željeza. Ova skupina izmjenjivača poznata je pod nazivom *neopermutiti*, *invertiti* i *permutiti A i D*.

Drugu grupu ionskih izmjenjivača čine ugljeni izmjenjivači čije je podrijetlo organsko. Dobivaju se djelovanjem kiselina na ugljen, gdje se najčešće radi o kamenom ugljenu. Ovoj skupini pripadaju izmjenjivači pod nazivom *ozeliti* i *permutiti S*.

Smolni ionski izmjenjivači tvore grupu pod brojem tri te su također organskog podrijetla na osnovi umjetne smole. Krasi ih velika otpornost prema visokim temperaturama i kiselinama te su djelomično postojani na alkalije. Ovoj skupini pripadaju *wolfatiti* i *lewatiti*.

TABLICA 1. Svojstva različitih tipova permutita

| Svojstva | TIP IZMJENJIVAČA | | | | |
|----------------------------|------------------|---------|---------|----------|-------|
| | PN | KSN | CNO | CNS | MIH |
| kisela aktivna grupa | jako | slabo | slabo | miješano | - |
| bazična aktivna grupa | - | - | - | - | slabo |
| veličina zrna, mm | 0,3-2 | 0,3-1,5 | 0,3-2 | 0,3-2 | 0,3-2 |
| maksimalna temperatura, °C | 650-700 | 700-800 | 750-850 | 750-850 | 700 |
| dozvoljena pH vrijednost | 8,6-7,8 | 0-7,8 | 0-8 | 0-8 | 1-14 |
| brzina ionske izmjene, m/h | 40-50 | 40-50 | 30 | 30 | 30 |

TABLICA 2. Svojstva različitih tipova lewata

| Svojstva | TIP IZMJENJIVAČA | | | | |
|----------------------------|------------------|---------|---------|----------|-------|
| | PN | KSN | CNO | CNS | MIH |
| kisela aktivna grupa | jako | slabo | slabo | miješano | - |
| bazična aktivna grupa | - | - | - | - | slabo |
| veličina zrna, mm | 0,3-2 | 0,3-1,5 | 0,3-2 | 0,3-2 | 0,3-2 |
| maksimalna temperatura, °C | 650-700 | 700-800 | 750-850 | 750-850 | 700 |
| dozvoljena pH vrijednost | 8,6-7,8 | 0-7,8 | 0-8 | 0-8 | 1-14 |
| brzina ionske izmjene, m/h | 40-50 | 40-50 | 30 | 30 | 30 |

3.2. PODJELA PREMA STRUKTURI

Ovisno o načinu dobivanja ionskog izmjenjivača imamo anorganske izmjenjivače koji mogu biti prirodni alumosilikati i umjetni alumosilikati te organske izmjenjivače koji kao bazu imaju umjetne mase. U današnje vrijeme koriste se izmjenjivači na bazi sintetskih masa koji se sintetiziraju na dva načina.

Jedan od načina je polimerizacija na bazi stirena (vinil-benzena). Reakcijom kopolimerizacije stirena i divinilbenzena nastaje umreženi kopolimer koji pretežno koristi kao osnova za dobivanje kationskih ili anionskih izmjenjivača. Dobiva se polimerno zrnje veličine 0,5-1,25mm, makroporozne strukture koje kasnije služi za polimerno dobivanje tzv. makroporoznih ionskih izmjenjivača. Izmjenjivači dobiveni opisanim postupkom kuglastog su oblika, imaju veliku površinu, s tim i učinak, lako propuštaju vodu te su mehanički otporni. (Jelica Zelić, 2013)

Drugi način dobivanja ionskih izmjenjivača je kondenzacijom formaldehida i fenola. Izmjenjivači dobiveni ovim postupkom su nepravilnog oblika te imaju manji kapacitet izmjene, manju površinu, teže propuštaju vodu i nisu toliko mehanički otporni. Zbog navedenih karakteristika više se ne koriste. (Kovač, 2012.)

3.3. PODJELA S OBZIROM NA ION KOJEG IZMJENJUJU

S obzirom na funkcijsku skupinu koja se nalazi vezana na rešetci ionskog izmjenjivača imamo anionske i kationske ionske izmjenjivače.

3.3.1 KATIONSKE IONSKE IZMJENJIVAČI

Kationske ionske izmjenjivači imaju matricu negativnog naboja, te izmjenjuju kation sa svojih aktivnih skupina s kationom iz otopine. Aktivne skupine na koje je vezan protuion najčešće su: $-\text{COO}^-$, $-\text{O}^{2-}$, $-\text{SO}_3^-$, itd..

Ovisno o vezanom protuionu dijele se na:

- Kationske neutralne izmjenjivače (ako je protuion Na^+ -ion, primjerice $-\text{SO}_3\text{Na}$)
- Kationske kisele izmjenjivače (ako je protuion H^+ -ion, primjerice $-\text{SO}_3\text{H}$)

Prema jačini disocijacije aktivnih skupina kationske kisele izmjenjivači dijele se na:

1. Slabo kisele kationske izmjenjivači
2. Jako kisele kationske izmjenjivači

3.3.2. ANIONSKE IONSKE IZMJENJIVAČI

Anionske ionske izmjenjivači imaju matricu sa pozitivnim nabojem, izmjenjuju anione u kontaktu sa otopinom elektrolita, obično sadrži sljedeće aktivne skupine: $-\text{NH}_3$, $-\text{NH}_2$, $-\text{NR}_3$, itd.

Prema jačini disocijacije aktivnih skupina dijelimo ih na:

1. Slabo bazne anionske izmjenjivači
2. Jako bazne anionske izmjenjivači

3.3.1.1. Slabo kiseli kationski izmjenjivači

Najčešće korišten slabo kiseli kationski izmjenjivač ima formu H^+ i proizvodi se kondenzacijom akrilne ili metaakrilne skupine s divinilbenzenom (aktivna grupa $-COO-$). U obradi vode više se koriste izmjenjivači sa akrilnom nego metaakrilnom skupinom jer su nešto jači. (Dorfner 1991.)

Ukupni kapacitet slabo kiselog ionskog izmjenjivača je najveći od svih izmjenjivača (do 4 mol/L ili eq/L) zbog udjela atoma aktivnih skupina te činjenice da se isti ne dovode naknadno. Ovaj tip izmjenjivača dobro podnosi visoke temperature i do 120°C. Ovisan je o pH medija iz razloga što u kiselom području (ispod 4,2) karboksilna kiselina nije disocirana što rezultira nesposobnošću provedbe ionske izmjene. Iz tog razloga ovaj tip ionskog izmjenjivača koristi se u neutralnom ili alkalnom području. Regeneracija se vrši otopinom kiseline s tim da je utrošak regeneracijskog sredstva samo 105-110% veći od teorijski potrebne količine. (Mijatović i Matošić, 2012)

3.3.1.2. Jako kiseli kationski izmjenjivači

Ovaj tip ionskog izmjenjivača dobiva se kondenzacijom *m*-fenolsulfonske kiseline i formaldehida. Ionski izmjenjivač je polifunkcionalan jer se u njemu nalaze dvije funkcijske skupine a to su sulfonska skupina i fenolna hidroksidna skupina.

Sulfoniranje je postupak kojim se jedna ili više skupina koje sadrže atom sumpora uvodi u molekulu organskog spoja. Reakcijom sulfoniranja pri visokim temperaturama dolazi do vezanja polistirena s visoko koncentriranom sulfonskom kiselinom nakon čega nastaje polistiren sulfonat. Nakon tog slijedi postupak ispiranja zbog uklanjanja viška sulfonske kiseline što dovodi do bubrenja. Ovim postupkom nastaje smola u H^+ formi. (Dardel 2013)

Sulfonirana zrna su vrlo stabilna, otporna su na djelovanje kiselina, lužina i većinu oksidirajućih sredstva, rad pri povišenim temperaturama do 190°C.

Selektivnost ovisi o veličini iona i valencijama. Kod iona sa istim brojem prednost kod vezanja imaju ioni sa većim atomski radijusom, dok kod iona sa različitom valencijom utjecaj ima ukupna koncentracija soli u vodi, odnosno ionska jakost. Selektivnost je prikazana u opadajućem nizu, te vrijedi samo za razrijeđene otopine: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{+} > \text{H}^{+}$

(Mijatović i Matošić ,2012)

3.3.2.1. Slabo bazni izmjenjivači

Slabo bazni izmjenjivači nastaju reakcijom klormetiliranog produkta sa odabranom aktivnom skupinom. Slabo bazni izmjenjivači za aktivne skupine posjeduju primarne i sekundarne amine. Aktivne grupe dobivaju se i miješanjem amina te se dobivaju tercijalni amini koji se često nazivaju intermedijerima baznih anionskih izmjenjivača. S obzirom na tip amina jače ili slabije se izražava bazni karakter. U intervalu od 7 do 9 pH vrijednosti aktivna skupina pravog slabog baznog izmjenjivača neće disociirati, stoga se koriste u pH kiselom području. Ovi izmjenjivači najučinkovitiji su u uklanjanju slobodnih kiselina iz vode kao što su H_2SO_4 , HNO_3 i HCl . Postupak regeneracije je bez poteškoća koristeći NaOH , NH_4OH ili Na_2CO_3 . Kondenzacijski bazni izmjenjivači, koji se dobivaju polikondenzacijom aromatskih amina s formaldehidom, polifunkcionalni su i slabo bazični.

3.3.2.2. Jako bazni izmjenjivači

Postupak dobivanja jako baznih izmjenjivača je složen te se odvija u dva koraka. Prvi korak je reakcija između klormetiletera i polimera (faza klormetiliranja). Na nastali međuprodukt s tercijalnim aminom ugrađuje se jako bazična amonij-grupa, ta reakcija predstavlja drugi korak sinteze. Ukoliko se aminacija provodi sa trimetilaminom kao produkt nastat će kvaterna amonij-kloridna sol u Cl^- formi. Izmjenjivač dobiven ovim postupkom naziva se TIP 1 i funkcijska grupa je $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{Cl}^-$.

Ukoliko se kao rekatant koristi dimetiletanolamin produkt je izmjenjivač sa manjom bazičnošću ali boljom sposobnošću regeneracije, funkcijska grupa je $-\text{N}(\text{CH}_3)_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$. Takav izmjenjivač je osjetljiviji, ima smanjenu selektivnost, te je podložan temperaturnoj razgradnji. Opisan izmjenjivač se naziva TIP2. (Dardel 2013).

Kapacitet tih izmjenjivača iznosi 3,2-4 mval/g. Odvijanje ionske izmjene moguće je u pH području od 0-14. Anionski izmjenjivači kemijski su manje otporni od kationskih izmjenjivača, pogotovo ako se nalaze u OH-obliku. U prodaji dolaze u kloridnom obliku.

TABLICA 3. Vrste ionskih izmjenjivača

| | Slabo kiseli kationski, H^+ | Jako kiseli kationski, Na^+ - Neutralni | Jako kiseli kationski, H^+ | Jako bazni anionski, OH^- | Slabo bazni anionski, OH^- |
|-------------------|--|--|--|---|--|
| Aktivna grupa | $-\text{COO}^-$ | $-\text{SO}_3^-$ | $-\text{SO}_3^-$ | $-\text{NR}_3^+$ | $-\text{NH}_3^+$ |
| Struktura kostura | Metaakrilna kiselina+DVB | Stiren+DVB | Stiren+DVB | Stiren+DVB | Stiren+DVB |
| Selektivnost | $\text{H}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ | $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{H}^+$ | $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{H}^+$ | $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ | $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ |

DVB-divinilbenzen

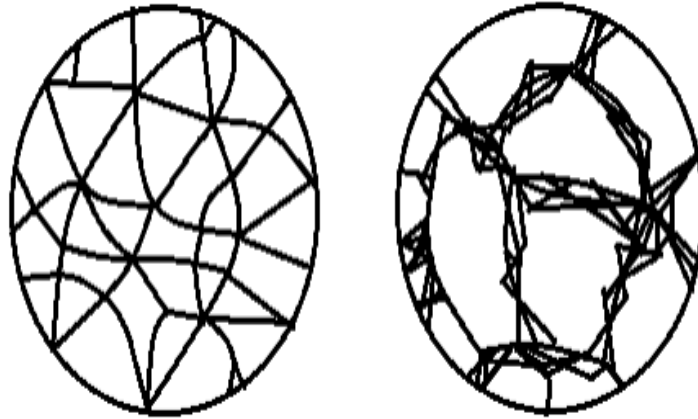
3.3.3. MIJEŠANI IZMJENJIVAČI

Kombinacija jakog anionskog i jakog kationskog izmjenjivača rezultira miješanim izmjenjivačem koji se koristi za dobivanje potpuno čiste vode. Ti izmjenjivači sadrže kisele i bazične funkcijske skupine stoga istodobno mogu vezati katione i anione soli. Ovisno o kvaliteti vode koju želimo postići i sastavu polazne vode miješani izmjenjivač sastoji se od 60% jako bazičnog i 40% jako kiselog izmjenjivača. Korištenjem ovakvog izmjenjivača dobivamo vodu čija je vodljivost manja od $1\mu\text{S}/\text{cm}$. U koloni izmjenjivača miješani izmjenjivač postavlja se iza jakog kiselog i jakog bazičnog izmjenjivača. (Purolite, 2013)

Posjeduju specifičnu strukturu koja se naziva i *snake cage* (eng. zmijski kavez). Tako je npr. u kosturu anionskih izmjenjivača (kavez) s kvaternarnim amonijskim skupinama ugrađen linearni polimer (zmija) s funkcionalnim skupinama suprotnog naboja. Linearni polimer dobiven je polimerizacijom akrilne ili metaakrilne kiseline. Regeneracija ovih izmjenjivača može se provesti vodom, a primjena je kod uklanjanja soli iz vodenih otopina organskih tvari. (F. C. Nachod, J. Schubert, Ion exchange technology)

4. TIPOVI IONSKIH IZMJENJIVAČA

Ionske izmjenjivače prema strukturi, odnosno poroznosti ili prohodnosti dijelimo na makroretikularne i gel izmjenjivače te ih dijelimo prema veličini zrna na monodisperzne i heterodisperzne.



Slika 4., Gel i makroporozni izmjenjivač

4.1. IZMJENJIVAČI GEL STRUKTURE

Postupkom polimerizacije između divinilbenzena i stirena dobivamo homogene produkte. Tako dobivene produkte karakterizira elastičnost, uz to sadrže određeni udio otapala korištenog tijekom postupka.

U dodiru s vodenom otopinom dolazi do bubrenja i povećanja poroznosti koja nije bila prisutna prije dodira sa otopinom. Bubrenje omogućuje migraciju iona. Ovisno o zastupljenosti divinilbenzena bubrenje je manje ili više iskazano. Mehanička stabilnost uvelike ovisi o poroznosti, tako je ona manja što je udio divinilbenzena manji. (Dorfner, 1991)

4.2. MAKROPOROZNI IZMJENJIVAČI / MAKRORETIKULARNI

Kod makroporoznih izmjenjivača tijekom postupka dobivanja iz stirena i divinilbenzena, koristi se isto otapalo kao kod dobivanja monomera te je od početka postupka prisutna poroznost. Promjer pora može biti i do 100nm, a ukupna površina do 100m²/g. Karakterizira ih velika poroznost, ujednačen vanjski oblik za razliku od izmjenjivača gel strukture, heterogenost zbog lokalnih razlika u gustoći i otpornost na osmotski tlak.

Razlika bubrenja u nepolarnom i polarnom otapalu smanjuje se povećanjem poroznosti. Ovakvi izmjenjivači imaju manju razliku u volumenu nakon sušenja i otporniji su na postupke oksidacije. Međutim imaju i nedostatke kao što su: smanjen kapacitet i veliki troškovi regeneracije. (Dorfner, 1991.)

5. PODJELA PREMA VELIČINI ZRNA

Za ionsko-izmjenjivačke smole u prošlosti su se koristila heterodisperzna zrna, tako se veličina zrna u izmjenjivaču podosta razlikovala. Stoga se u današnje vrijeme koriste monodisperzna zrna dobivena postupkom prosijavanja koji osigurava ujednačenost veličine zrna u izmjenjivaču.

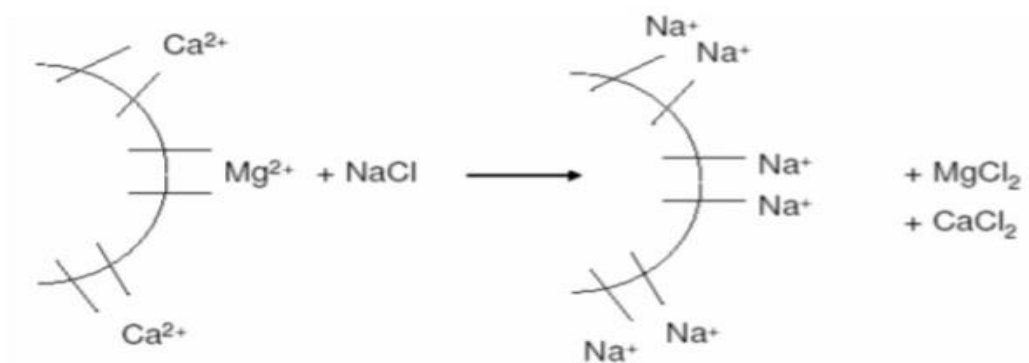
Tvrtka Bayes započela je proizvodnju monodisperznih zrna, nakon čeg je proizvedena nova generacija izmjenjivača pod nazivom Lewatit MonoPlus. Prednosti ovog izmjenjivača su: dopušteni veći pad tlaka, otpornost na oksidanse, veća mehanička i osmotska stabilnost, bolja kinetika reakcija, bolji radni kapacitet, itd. Na ovaj način omogućeno je smanjenje troškova u velikim postrojenjima.

6. REGENERACIJA

Kada dođe do zasićenja ionskog izmjenjivača potrebno je provesti postupak regeneracije. Ovaj postupak može biti istostrujni ili protustrujni što ovisi o smjeru strujanja sredstva za regeneraciju u odnosu na smjer strujanja vode pri radu izmjenjivača. Istosmjerna regeneracija provodi se u istom smjeru kao i postupak zasićenja mase ionskog izmjenjivača. Protustrujna regeneracija, naziva se još i rahljenje, provodi se tako da se masa izmjenjivača rastrese i opere prije uvođenja sredstva za regeneraciju. Postupkom rahljenja smanjuje se nabijenost i tlak izmjenjivača te se omogućuje nesmetan prolaz vode kroz filtere. Rahljenje se provodi protustrujno od rada filtera, odnosno odozdo prema gore pod niskim tlakom, da ne bi došlo do odnošenja mase izmjenjivača vodom.

Uvođenje sredstva za regeneraciju u istom smjeru provedbe procesa ionske izmjene, obavlja se najčešće miješanjem koncentriranog sredstva za regeneraciju i vode.

Kod protustrujne regeneracije voda se provodi u suprotno smjeru od procesa izvedbe ionske izmjene, na taj način najbolje se regenerira donji dio izmjenjivača. Manja količina sredstva za regeneraciju troši se protustrujnim postupkom stoga je jeftinija i više se primjenjuje. (<http://dardel.info/IX/processes/processes.html#softening>)



Slika 5., Regeneracija neutralnog izmjenjivača (sredstvo za regeneraciju: 7-10%-tna otopina NaCl)

6.1 KONTROLA REGENERACIJE

Postupak regeneracije završen je kada koncentracija otopine za regeneraciju prije ulaza u filter i na izlazu iz filtra bude jednaka. S obzirom da je za potpuno regeneraciju potreban veći utrošak kemikalija, u praksi se nerijetko provodi nepotpuna regeneracija, odnosno regeneracije se provode u manjem vremenskom razmaku nego što je propisano. Tako dok se jedan od ionskih izmjenjivača regenerira drugi se stavlja u pogon. Nakon regeneracije potrebno je odstraniti višak sredstva za regeneraciju što se postiže ispiranjem.

6.2 ISPIRANJE IONSKE MASE

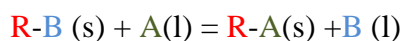
Ispiranje ionske mase provodi se običnom, destiliranom ili omekšanom vodom odozgo prema dolje, uz brzinu protoka kao kod regeneracije.

7. PRINCIP RADA IONSKOG IZMJENJIVAČA

Jedna od najstarijih empirijskih pravila kaže kako tvari ne mogu reagirati ukoliko nisu u tekućem ili otopljenom stanju - „Corpora non agunt nisi fluid a sive soluta”. Jednu od iznimki ovog pravila predstavlja ionska izmjena koja se odvija između ionskog izmjenjivača koji se nalazi u krutom stanju i otopine. Izmjena iona između otopine i izmjenjivača je reverzibilna.

Ionski izmjenjivač se sastoji od imobiliziranih iona koji su vezani kovalentnom vezom, te su na njih slabim elektrostatskim silama vezani pokretni ioni čiji je naboj suprotan od iona na koji su vezani. U trenutku kada ionski izmjenjivač dođe u kontakt s otopinom elektrolita koja sadrži ione suprotnog naboja od naboja pokretnih iona, oni prodiru u ionski izmjenjivač sve dok se ne postigne stanje ravnoteže. Izmjena se vrši na točno određenim mjestima na izmjenjivaču, ioni vezani kovalentnim vezama disociraju i dolazi do izmjene. Ovisno o naboju kojeg nosi aktivna skupina, mogu biti bazične - tada nose negativan naboj ili kisele i tad nose pozitivni naboj. Strogo pravilo odvijanja izmjene iona u procesu je da se uvijek izmjenjuju ioni istog naboja u ekvivalentnim količinama. Tako da je stehiometrijski jednak broj iona koji su se otpustili u otopinu i stehiometrijski broj iona nanovo vezanih na ionski izmjenjivač.

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



8. DEMINERALIZACIJA VODE POMOĆU IONSKIH IZMJENJIVAČA

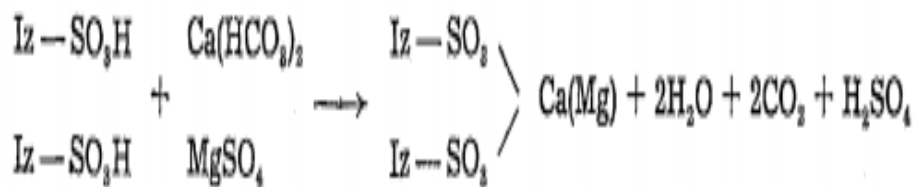
Taložnim postupcima mekšanja vode se, uz najpovoljnije uvjete rada, može dobiti voda do 0,3°nj, što za današnje potrebe kotlovskih postrojenja nije dovoljno. Za pripravu napojne i kotlove vode u parno-energetskim postrojenjima velikog kapaciteta, koji rade pri visokim temperaturama i tlakovima, nije dovoljno samo odstraniti tvrdoću vode, već je potrebno dobiti vodu potpuno oslobođenu od soli, odnosno demineraliziranu vodu. Zahtjev takvog tipa moguće je ispuniti samo korištenjem ionskih izmjenjivača.

Demineralizacija vode je proces uklanjanja svih ili gotovo svih soli otopljenih u tretiranoj vodi. Demineralizacija se može provoditi na dva načina: postupkom reverzne osmoze ili ionskim izmjenjivačima. Ovisno u kvaliteti ulazne vode i njenoj daljnjoj primjeni pristupa se određenom procesu demineralizacije. Rezultat provodnosti tretirane vode ionskim izmjenjivačima može doći i do ispod 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ionskim izmjenjivačima osim demineralizacije vode provodi se mekšanje vode i dekarbonizacija (uklanjanje soli karbonatne tvrdoće).

8.1 POSTUPAK DEMINERALIZACIJE

Postupak demineralizacije provodi se pomoću jako kiselog ionskog izmjenjivača u aktivnom H^+ obliku čija je zadaća iz dolazne vode ukloniti katione koji su strukturno pogodni za vezanje na izmjenjivač.

Nakon vezanja kationa iz vode jako kiseli izmjenjivač otpušta ekvivalentnu količinu vodikovih iona u otopinu (H^+ ioni potječu iz aktivnih skupina), nakon opisanog dijela postupka dobiva se dekationirana voda koja pokazuje kisela svojstva te pH vrijednost ispod 4. Voda dobivena na ovaj način ne upotrebljava se, već se šalje na dalju obradu. Kod kisele izmjene cijelo postrojenje mora biti zaštićeno plastificiranjem ili gumiranjem.



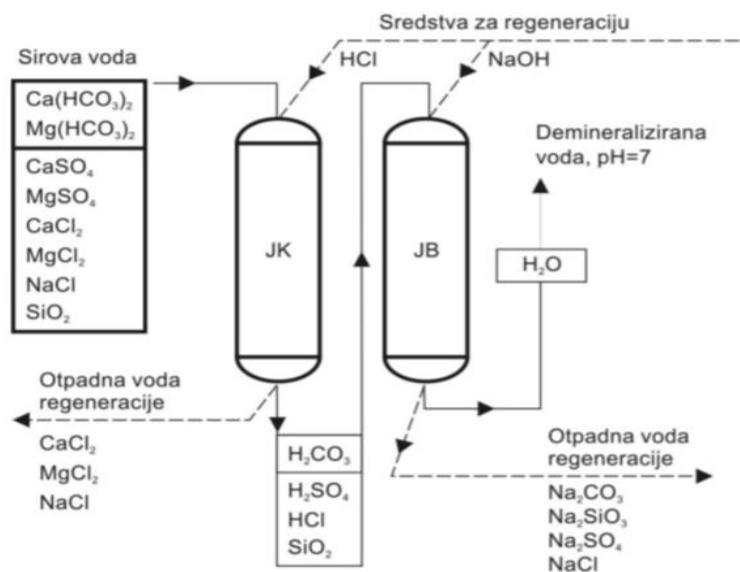
Slika 6., Reakcija jako kiselog izmjenjivača i soli otopljenih u vodi

Dekationirana voda nadalje dolazi do jako baznog izmjenjivača u OH^- obliku. Ovaj izmjenjivač ima cilj iz otopine ukloniti sve prisutne anione, analogno procesu prvog izmjenjivača dolazi do vezanja aniona na izmjenjivač i otpuštanja jednake količine OH^- iona u otopinu. Ioni oslobođeni sa izmjenjivača (H^+ i OH^-) reakcijom daju vodu.



Slika 7., Reakcija između jako baznog izmjenjivača i kiseline

Prolaskom vode kroz navedena dva izmjenjivača dobivamo demineraliziranu vodu ili demineraliziranu vodu iz razloga što više ne sadrži nikakve ione te se nadalje može koristiti u razne svrhe, kao na primjer u farmaciji, proizvodnji alkoholnih pića, kao napojna voda za pogon parnih kotlova najvišeg radnog tlaka itd.. Karakteristika koja mora krasiti demineraliziranu vodu je električna provodnost koja mora iznositi manje od $10\mu\text{S}/\text{cm}$.



Slika 8., Demineralizacija vode u sustavu jako kiseli-jako bazni izmjenjivač

8.2 BATERIJA ZA DEMINERALIZACIJU

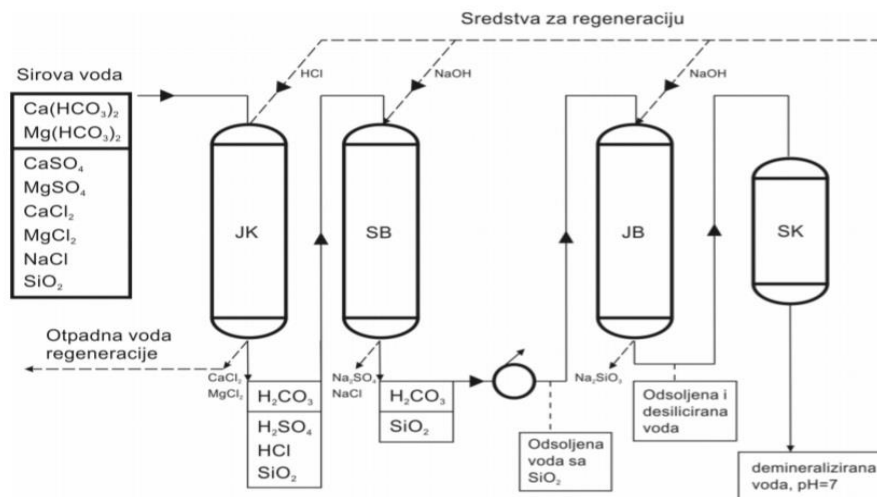
Miješani izmjenjivači se upotrebljavaju za manje kapacitete, kao na primjer za laboratorijske pripreme demineralizirane vode. Kod većih uređaja izmjenjivači se spajaju u seriju tzv. baterija za demineralizaciju.

Postrojenje ili baterija za demineralizaciju sastoji se od četiri tipa ionskih izmjenjivača koji su spojeni serijski, redosljedom:

Jako kiseli (JK)-slabo bazni(SB)-jako bazni(JB)-slabo kiseli(SB)

Voda prvenstveno prolazi kroz jako kiseli izmjenjivač koji izmjenjuje sve prisutne katione otopljenih soli u vodi. Izlazna voda sadrži sve anione u obliku slobodnih kiselina te se uvodi u slabo bazni izmjenjivač. Slabo bazni izmjenjivač izmjenjuje samo anione jakih kiselina, a u vodi ostaju ugljična i silicijeva kiselina.

Ugljičnu kiselinu je moguće otpliniti kako bi se smanjilo opterećenje jako baznog izmjenjivača, koji veže samo silicijevu kiselinu i ostatak neotopljene H_2CO_3 . Na kraju baterije većinom se stavlja miješani ili slabo kiseli izmjenjivač, čija je svrha biti sigurnosni filter. Zadatak ovog izmjenjivača je da veže eventualne katione ili anione koji se nisu vezali za prethodne izmjenjivače zbog parcijalnog zasićenja ionske mase.



Slika 9., Shematski prikaz postrojenja za demineralizaciju vode

8.3 KONTROLA DEMINERALIZIRANE VODE

Nakon demineralizacije vode potrebno je utvrditi uspješnost postupka koja se u ovom slučaju provodi mjerenjem pH vrijednosti, mjerenjem specifične električne provodnosti konduktometrom i određivanje ukupne tvrdoće. Električna provodnost čiste vode je jako niska (5×10^{-8} S/cm). Zaostatci soli u vodi, koji provode struju, mogu biti pokazatelji bezuspješno provedenog postupka.

9. PRIMJENA DEMINERALIZIRANE VODE

Voda oslobođena od svih iona svoju primjenu nalazi u različitim granama prehrambene industrije, farmaciji, kućanskim aparatima, rashladnim postojenjima itd. U velikim pogonima koristi se kao napojna voda, iz razloga što su uklonjene sve otopljene soli, koje mogu kroz duži vremenski period svojim taloženjem stvarati odgovarajuće probleme kao što su razna začepjenja, izolacija zbog stvaranja kamenca i slično. Pogodna je za pripremu raznih farmakoloških otopina (npr. kapi za oči), pripremu otopina elektrolita, u hladnjacima i drugim kućanskim aparatima. Također se koristi u baterijama i akumulatorima, u proizvodnji alkoholnih pića, proizvodnji sredstava za pranje stakla te u laboratorijske svrhe.

10. ZAKLJUČAK

Na osnovi pregleda literature moguće je zaključiti da je ionska izmjena povoljan proces odjeljivanja te ne zaostaje za ostalim metodama odjeljivanja kao što su destilacija, ekstrakcija i druge. Jednostavan je, učinkovit i ekonomski isplativ proces u tehnologiji vode. Uspješnost izvođenog procesa ovisi o odabiru izmjenjivača i parametrima kao što su pH, temperatura, veličina zrna izmjenjivača itd. Odabir izmjenjivača ovisi o željenom produktu. U razmatranom procesu demineralizacije vode odabire se kombinacija jako kiselog ionskog izmjenjivača i jako baznog izmjenjivača ili baterija za demineralizaciju. Korištenjem navedenih izmjenjivača te prateći propisane korake procesa rezultat je demineralizirana voda. Fizikalne karakteristike demineralizirane vode su: ukupna tvrdoća 0,0° nj, m-alkalitet 0,02 meq/l, p-alkalitet 0,0 meq/l, električna provodnost 1,6 $\mu\text{S/cm}$, količina silicijevog dioksida 0,001 mg/l te izgled bezbojne i bistre tekućine. Primjena vode sa navedenim karakteristikama je npr. za pripremu otopina antifrizna, akumulatorske kiseline, fotografskih kemikalija i ostale primjene gdje se traži kvalitetna demineralizirana voda.

11. LITERATURA

1. Mijatović, I., Matošić, M. (2012) Tehnologija vode - interna skripta, dopunjeno izdanje, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb

2. Purolite (2013)

<https://www.purolite.com/application/softening-demineralization-industrial>

Pristupljeno 20.08.2020

3. Simon, G.P.(1991), *Ion Exchange Training Manual*, 1. izdanje, Springer Science + Business Media, New York

4. Zagorodni, A.A. (2007), *Ion Exchange Materials: Properties And Applications*, 1. izdanje, Elsevier Science, Amsterdam

5. Kovač, Z. (2012), *Ionski izmjenjivači i njihova primjena u mljekarstvu*, Tehnološki fakultet, Zagreb

6. Helfferich, F. (1995), *Ion Exchange: Theory and Practice*, 2. izdanje, The Royal Society of Chemistry, London

7. Dorfner, K. (1991), *Ion Exchangers*, 1. izdanje, Walter De Gruyter Inc, Berlin, New York

8. http://free-zg.t-com.hr/Svjetlana_Luterotti/07/074/0742.htm

Pristupljeno 21.08.2020

9. Prof.dr.sc. Njegomir Radić, doc.dr.sc. Lea Kukoč Modun (2016), *Uvod u analitičku kemiju*, Zagreb

10. Dr.sc. Jelica Zelić, (2013), *Praktikum iz procesa anorganske industrije*, Split

11. G. Gulič,(1969), *Priprema vode*, Izdavačko štamparsko preduzeće Minerva, Subotica

12. Dardel, F. (2013)

<http://dardel.info/IX/>

Pristupljeno 1.09.2020

13. F.C. Nachod, J. Schubert, *Ion Exchange Tehnology*
14. Dr. Ivan Filipović, Dr. Stjepan Lipanović, (1995), *Opća i anorganska kemija*
15. Doc. dr. sc. Mario Nikola Mužek , pp, *Procesi mekšanja i priprave vode*
16. https://petrokemija.hr/Portals/0/Dokumenti_Kompanija/STL/SpecifikacijaDemineraliziranaVoda.pdf?ver=2015-12-09-085636-000

Pristupljeno 26.08.2020