

Zelena kemija primijenjena u tehnologiji obrade voda

Šoić, Laura

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:100200>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Laura Šoić

ZELENA KEMIJA PRIMIJENJENA U TEHNOLOGJI OBRADJE VODA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: v.pred.dr.sc. Lidija Furač

Članovi povjerenstva:

1. v.pred.dr.sc. Lidija Furač
2. dr.sc. Dajana Kučić Grgić, poslijedoktorand
3. dr.sc. Nataša Perin, poslijedoktorand

Zagreb, rujan 2018.

Zahvaljujem se svojoj mentorici v.pred.dr.sc. Lidiji Furač na predloženoj temi i pomoći pri izradi ovog rada, na edukaciji i brojnim savjetima, susretljivosti i stručnom vodstvu, bez kojih izrada ovog rada ne bi bila moguća.

SAŽETAK

Danas milijuni ljudi u velikim dijelovima svijeta nemaju pristup vodama da zadovolje svoje osnovne potrebe. Industrijski postupci koriste značajnu količinu vode koja zahtijeva obradu prije ispuštanja u površinske vode. Komunalni sustavi za pročišćavanje otpadnih voda ispuštaju svoje efluente koji često utječu na vodene organizme. Zelena kemija može pružiti alate za zaštitu kvalitete vode s obzirom na sve veće globalne pritisake na smanjenje onečišćenja vode. Cilj ovoga rada je pokazati kako se primjenom zelene kemije u obradi voda može postići veća učinkovitost procesa i smanjiti opterećenje otpadnih voda. Metodama poput elektrokoagulacije ili usavršavanjem rada samog postrojenja i reaktora procesi postaju sigurniji za okoliš. Razvoj i primjena zelene kemije rezultirat će i poboljšanom kvalitetom života općenito.

Ključne riječi: otpadne vode, obrada voda, zelena kemija, principi zelene kemije, zelene tehnologije

SUMMARY

Today millions of people in great parts of the world have no access to water to meet their basic needs. Industrial processes use a significant amount of water that requires processing prior to discharging it into surface water systems. Communal wastewater treatment plants release their effluents that often affect water organisms. Green chemistry can provide water quality management tools as an answer to increasing global pressures to reduce water pollution. The aim of this paper is to show that using green chemistry in wastewater treatment processes can produce greater efficiency and reduce the wastewater load. Methods such as electrocoagulation or perfecting the plant and the reactor can achieve safer environmental impact. The development and application of green chemistry will also result in an improved quality of life in general.

Key words: wastewater, water treatment, green chemistry, principles of green chemistry, green technologies

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	OBRADA VODA	3
2.1.	Metode pročišćavanja otpadnih voda.....	4
2.1.1.	Prethodno pročišćavanje.....	4
2.1.2.	Prvi stupanj pročišćavanja	7
2.1.3.	Drugi stupanj pročišćavanja	8
2.1.4.	Treći stupanj pročišćavanja	10
3.	ZELENA KEMIJA.....	11
3.1.	Održivi razvoj i uvod u zelenu kemiju.....	12
3.1.1.	Održivi razvoj	12
3.1.2.	Povijest zelene kemije	12
3.1.2.1.	12 principa zelene kemije.....	13
3.1.2.2.	Principi zelenog inženjerstva	16
3.2.	Zelena kemija u osnovnim reakcijama organske sinteze	19
3.2.1.	Nitriranje	19
3.2.2.	Halogeniranje	19
3.3.3.	Alkiliranje.....	21
4.	EKOLOŠKI PRIHVATLJIVE TEHNOLOGIJE	24
4.1.	Ekološki prihvatljive tehnologije	25
4.1.1.	Poboljšana koagulacija	26
4.1.2.	Procesi poboljšane oksidacije.....	26
4.1.3.	Željezo (Fe (VI)) kao zelena kemikalija.....	27
4.1.4.	Elektrokoagulacija	27
4.1.5.	MC reaktor.....	28
4.2.	Tehnologije obrade otpadnih voda u uređajima za obradu.....	31
4.2.1.	Fizikalno-kemijski procesi.....	31
4.2.2.	Biološke metode.....	32
4.3.	Membranski destilacijski reaktor	34
4.4.	Membranski bioreaktor s biofilmom i membranski bioreaktor	34
4.5.	Granulirani MBR.....	35
4.6.	Alternativni pristupi u procesima obrade otpadne vode	36
4.6.1.	Obrada celuloze i papira.....	38

4.6.2.	Proizvodanja poluvodiča	39
4.6.3.	Obrada fotografija	39
4.6.4.	Proizvodanja farmaceutika.....	40
5.	ZAKLJUČAK.....	41
6.	LITERATURA.....	43
7.	ŽIVOTOPIS.....	47

1. UVOD

Voda je osnovna tvar za životne sustave jer omogućava transport hranjivih tvari i otpadnih produkata u živim sustavima. Istraživanja pokazuju jasnu povezanost između bolesti i količine i vrste potrošnih tekućina, hranjivih sastojaka koji se mogu dodati u vodu, optimalnih razina unosa i uzoraka potrošnje. Iako su tri četvrtine Zemljine površine prekrivene vodom, većina te vode nije prikladna za ljudsku potrošnju. Danas, stotine milijuna ljudi u golemim dijelovima svijeta nemaju pristup vodama da zadovolje svoje osnovne potrebe. Prirodne katastrofe također stvaraju uvjete koji ograničavaju dostupnost vode koja je pogodna za ljudsku potrošnju. Industrijski postupci koriste značajnu količinu vode koja zahtijeva obradu prije ispuštanja u sustave površinske vode. Komunalni sustavi za pročišćavanje otpadnih voda ispuštaju svoje efluente koji često utječu na vodene organizme.¹

Zelena kemija je ekološki prihvatljiva kemija koja kombinira kritične elemente poboljšanja okoliša, ekonomske izvedbe i društvene odgovornosti za rješavanje globalnih problema u okolišu. Zelena kemija može pružiti alate za zaštitu kvalitete vode u svjetlu sve većih globalnih pritisaka na smanjenje onečišćenja vode. Jedni od najvećih izvori onečišćenja vode uključuju klor za predobradu vode, izbjeljivanje celuloze i papira, obrada metala, farmaceutska industrija, tekstilna proizvodnja, kontrola korozije, itd. Znanstvena znanost i tehnologija zelene kemije nude ekonomski isplative alternative.²

U ovom radu daje se pregled nekih novih razvoja i inovacija u tehnologiji obrade voda uključujući principe zelene kemije u procese kako bi se popravila kvaliteta obrade te same vode.

2. OBRADA VODA

2.1. Metode pročišćavanja otpadnih voda

Pročišćavanje otpadnih voda provodi se primjenom kemijskih, fizikalnih, fizikalno-kemijskih te bioloških postupaka i procesa. Prema stupnju pročišćavanja, odnosno s obzirom na primijenjene postupke i procese koji se provode na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda, razlikujemo:

- prethodni ili preliminarni stupanj pročišćavanja,
- prvi stupanj pročišćavanja,
- drugi stupanj pročišćavanja,
- treći stupanj pročišćavanja. ³

Prethodno pročišćavanje je predobrada otpadnih voda (tehnoloških, rashladnih, procjednih, oborinskih onečišćenih i ostalih otpadnih voda) u skladu sa zahtjevima za ispuštanje otpadnih voda u sustav javne odvodnje.

Prvi stupanj pročišćavanja je obrada komunalnih otpadnih voda fizikalnim i/ili kemijskim postupkom koji obuhvaća taloženje suspendiranih tvari ili druge postupke u kojima se BPK₅ (biokemijska potrošnja kisika nakon 5 dana) ulaznih otpadnih voda smanjuje za najmanje 20% prije ispuštanja, a ukupne suspendirane tvari ulaznih otpadnih voda za najmanje 50%.

Treći stupanj pročišćavanja je stroža obrada komunalnih otpadnih voda postupkom kojim se uz drugi stupanj pročišćavanja postižu određeni zahtjevi za i/ili fosfor i/ili mikrobiološke pokazatelje i/ili druge onečišćujuće tvari u cilju zaštite osjetljivih područja, odnosno postizanja kakvoće vode prijemnika. ⁴

2.1.1. Prethodno pročišćavanje

Prethodno pročišćavanje je prvi stupanj fizikalnog pročišćavanja. Podrazumijeva uklanjanje ili redukciju ukupne krupne otpadne tvari i plivajuće krute tvari poput drveća, smeća, izlučina i sličnog s eventualnim potrebnim drobljenjem. Nakon toga slijedi uklanjanje težih anorganskih tvari u koje ubrajamo pijesak, šljunak, staklo itd. te uklanjanje prekomjernih količina masti i ulja.

Općenito, prethodno pročišćavanje otpadnih voda obuhvaća sljedeće faze:

- rešetanje i/ili usitnjavanje (dezintegraciju),
- taloženje (u pjeskolovu) i isplivavanje te
- izjednačavanje (egalizaciju) i/ili neutralizaciju.

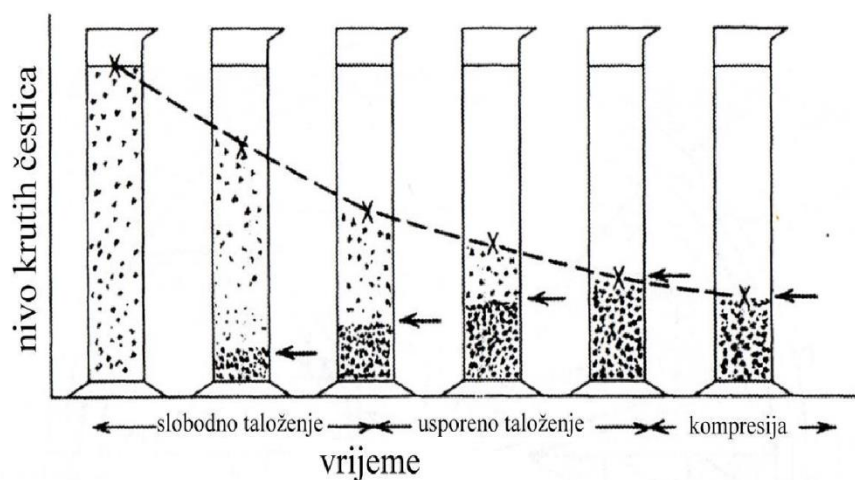
Prvu i drugu fazu pročišćavanja redovito susrećemo kod pročišćavanja voda. Treća faza se u načelu primjenjuje za industrijske otpadne vode.⁵

Raspored uređaja za prvu fazu pročišćavanja uglavnom je idući: rešetka, pumpna stanica, mjerilo protoka, taložnik za pijesak, bazen za prethodnu aeraciju, separator masti i ulja.³

Rešetanje je proces uklanjanja krupne tvari (lišća, stakla, komadića) radi zaštite crpki i drugih dijelova uređaja za pročišćavanje. Ovaj se proces odvija na rešetkama, čiji učinak ovisi o slobodnom otvoru među rešetkama.

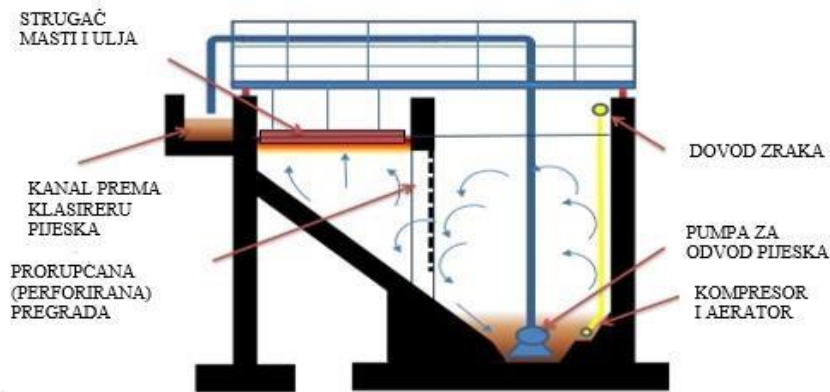
Usitnjavanje je postupak kojim se zamjenjuje rešetanje ili se primjenjuje nakon što otpadna voda prođe kroz grubu rešetku. Krupne otpadne tvari se usitne u čestice veličine 3 do 8 mm i odvođe na daljnje pročišćavanje bez opasnosti za druge dijelove uređaja. Usitnjene tvari se vraćaju u otpadnu vodu, a usitnjavanje može uzrokovati povećano stvaranje pjene na uređaju.³

Taloženje (Slika 1) se primjenjuje za izdvajanje pijeska mineralnog porijekla iz otpadnih voda. Građevine u kojima se odvija ovaj proces nazivaju se pjeskolovi. Služe za izdvajanje spomenutih nečistoća kako bi se zaštili rotor crpke, cjevovod od abrazije te ostali dijelovi uređaja.



Slika 1. Taloženje čestica⁵

Isplivavanje (flotacija) je proces u kojem se tvari iz tekućine odvajaju izdizanjem na površinu s koje se potom uklanjaju. Ovaj se proces pretežno koristi za uklanjanje masti i ulja. Pri pročišćavanju otpadnih voda isplivavanje se primjenjuje u uređaju nazvanom mastolov (Slika 2).³



Slika 2. Princip rada mastolova ¹

Neutralizacija je proces promjene koncentracije vodikovih H^+ iona (vrijednosti pH), a najčešće se provodi kod industrijskih otpadnih voda. To je jedan od temeljnih procesa za prethodno pročišćavanje industrijskih otpadnih voda. Postiže se miješanjem otpadnih voda iz različitih pogona, odnosno miješanjem kiselih s bazičnim otpadnim vodama. Druga je mogućnost dodavanje reagensa čiju vrstu i količinu (doziranje) određujemo eksperimentalno.⁶

Proces izjednačavanja (izravnavanja) se primjenjuje da bi se poboljšala učinkovitost rada uređaja te da bi se postojeći kapaciteti rada uređaja koristili učinkovitije, odnosno kako bi se izbjegla izgradnja dodatnih jedinica za obradu otpadne vode. Objekti za izjednačavanje dimenzioniraju se prema ukupnom dnevnom dotoku i srednjem dnevnom dotjecanju na uređaj. Da bi se poboljšao učinak izjednačavanja i spriječilo taloženje, potrebno je predvidjeti miješanje otpadnih voda. Miješanje je predviđeno jer se u mnogim fazama pročišćavanja sadržaj otpadnih voda mora izmiješati s dodatnim kemijskim tvarima ili da se čestice nastale kemijskom reakcijom održe u suspenziji. Razlikujemo sporo i brzo miješanje, a ono se ostvaruje crpkama, pomoću mehaničkih miješala, upuhivanjem zraka i sličnim postupcima. Na proces, osim intenziteta miješanja, utječe i vrijeme zadržavanja vode u bazenima za miješanje. Ono iznosi od 10 do 60 sekundi pri brzom miješanju te 10 do 45 minuta pri sporom miješanju.⁷

2.1.2. Prvi stupanj pročišćavanja

Zadatak primarnog pročišćavanja je procesom taloženja iz onečišćene vode ukloniti najveći dio suspendirane tvari uz istodobno smanjenje BPK₅. Proces se temelji na fizikalno-kemijskim procesima koji obuhvaćaju:

- zgrušavanje (koagulaciju), miješanje i pahuljičenje (flokulaciju) te
- taloženje i isplivavanje.

Taloženje je obavezan postupak prvog stupnja pročišćavanja, dok ostali postupci doprinose bržem i učinkovitijem taloženju, odnosno pročišćavanju. Ujedno je i osnovni način pročišćavanja otpadnih voda.³

Zgrušavanje je općenito postupak u kojem iz manjih čestica nastaju veće. U vodu se unesu kemijski reagensi čiji ioni reagiraju s električki nabijenim koloidima i omogućuju stvaranje većih pahuljica koje se mogu lakše izdvojiti taloženjem, cijeđenjem ili isplivavanjem. Najčešća sredstva za koagulaciju su aluminijev sulfat, aluminijev klorid, željezov klorid i drugi.³

Pahuljičenje (flokulacija) je proces u kojemu se čestice raspršene u tekućini sporo miješaju i spajaju u veće pahuljice, a koje se zbog razlike u gustoći talože. Općenito se pahuljičenje primjenjuje nakon zgrušavanja.³

Taloženje u prethodnim taložnicima je postupak izdvajanja krutina iz tekućina. Od tamo se voda nakon provog odvodi na drugi stupanj pročišćavanja. Taloženje spada u najraširenije procese u tehnologiji pročišćavanja vode pod utjecajem gravitacije. Taložnici su uglavnom okrugli ili pravokutni bazeni od armiranog betona izrađeni jednostavno i ekonomično. Istaloženi mulj potrebno je kontinuirano vaditi iz taložnika kako bi se izbjegla mogućnost raspadanja sakupljenog sedimenta i formiranje plinova. Mulj se skuplja u najniži dio taložnika odakle se najčešće uklanja pumpanjem, a s površine vode se svakoga dana mehanički uklanjaju pijena i mast.⁸

2.1.3. Drugi stupanj pročišćavanja

Nakon prvog stupnja pročišćavanja provodi se drugi stupanj koji se često naziva i biološko pročišćavanje, a primarni cilj mu je smanjenje količine otopljenih i suspendiranih organskih tvari. Komunalne otpadne vode su biološki razgradive vode zbog čega se uglavnom pročišćavaju na biološkim uređajima kao tradicionalnom i najprihvatljivijem postupku pročišćavanja komunalnih otpadnih voda. Ti biološki postupci nerijetko su nadopunjeni fizikalno-kemijskim postupcima. Osnovni proces drugog stupnja pročišćavanja otpadne vode je biološka oksidacija organske tvari prisutne u vodi. Učinkovitost drugog stupnja pročišćavanja se kreće između 75 i 95 % u odnosu na BPK₅ i 80-90% u odnosu na raspršene tvari.⁷

Drugi stupanj pročišćavanja obuhvaća:

- biološke procese,
- taloženje i isplivavanje,
- dezinfekciju.³

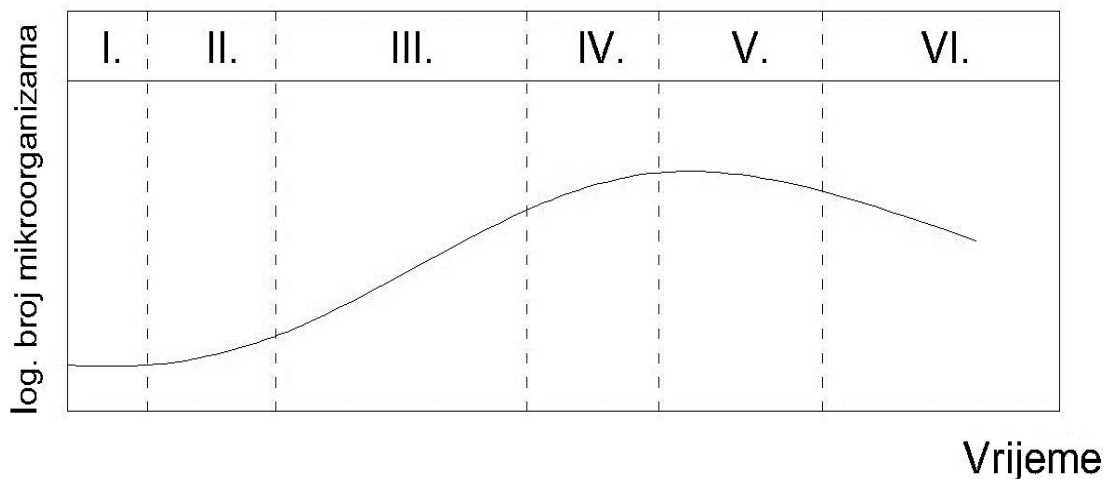
Pročišćavanje biološkim procesima temelji se na aktivnosti mikroorganizama koji razgrađuju mrtvu organsku tvar upotrebljavajući je kao hranu za ugradnju novih stanica (umnožavanje). Primjenjuje se ondje gdje su onečišćenja biološki razgradiva i ne sadrže otrovne tvari u kritičnim količinama. Biološkim procesima se iz otpadnih voda uklanja organski ugljik te smanjuje fosforni i dušikovi spojevi te se stabilizira mulj otpadnih voda.³

Pri pročišćavanju otpadnih voda najčešće se koriste aerobni procesi uz čiju pomoć više kultura mikroorganizama u prisutnosti kisika iz otpadnih voda uklanja organske tvari u otopljenom obliku metaboličkim putem. Proces aerobne biološke razgradnje ovisi o ulaznoj koncentraciji organske tvari, koncentraciji mikroorganizama, vremenu kontakta supstrata s mikroorganizminima i količini raspoloživog kisika. Rast populacije mikroorganizma može se prikazati krivuljom rasta koja se dijeli u 6 faza (Slika 3):

1. Lag faza – adaptacija mikroorganizama na novu sredinu pri čemu neki ugibaju. U ovoj fazi dijeljenje stanica veoma je sporo, a njena duljina ovisi o broju, razvoju, starosti i vrsti mikroorganizama.

2. Faza ubrzanog rasta – prijelazna faza u kojoj se brzina rasta povećava.

3. Log faza ili eksponencijalna faza – započinje kada brzina rasta dostigne konstantnu vrijednost, krivulja raste dok ima supstrata.
4. Faza usporenog rasta – označava kratki prijelaz prema stacionarnoj fazi.
5. Stacionarna faza – nastupa kada se zbog povećanja broja mikroorganizama smanji koncentracija organske tvari i/ili hranjive tvari te povećana koncentracija metaboličkih produkata. Broj odumrlih i novonastalih stanica je jednak, organska tvar u dotoku je potrošena i zaustavlja se prirast stanica.
6. Faza odumiranja - nedostatak supstrata uzrokuje odumiranje mikroorganizama i njihovu postupnu mineralizaciju te smanjenje obujma biomase.⁸



Slika 3. Krivulja rasta mikroorganizama³

Anaerobni procesi počinju se odvijati kada u vodi nema otopljenog kisika, i to u dvije faze. U prvoj fazi bakterije kiselog vrenja razgrađuju organsku tvar do organskih kiselina koje su hrana za metanske bakterije u drugoj fazi razgradnje. Tijekom anaerobnih procesa nastaje mnogo manje novih stanica nego tijekom aerobnih. Miješanje i povišenje temperature ubrzava proces razgradnje. Tipičan primjer zatvorenog anaerobnog digestora je septička jama u kojoj se otpadne vode zadržavaju uz povremeno vađenje mulja.⁸

2.1.4. Treći stupanj pročišćavanja

Treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda provodi se kada je nužan visok stupanj pročišćavanja. Provodi se u svrhu izdvajanja ili smanjenja količine hranjivih soli dušika i fosfora, mikroorganizama, pesticida, otrovnih i radioaktivnih tvari i sl. Treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda prije svega znači izdvajanje dušika i fosfora iz efluenta biološkog uređaja, a primjenjuju se biološki, kemijski i fizikalni procesi. Kako bi se postigao traženi (visok) stupanj pročišćene otpadne vode, ovi postupci primjenjuju se kombinirano.⁸

Dušikovi i fosforni spojevi su uvijek prisutni u otpadnim vodama. Budući da su oni glavne sastavnice vodenog bilja u vodotocima, jezerima i morima, propisima se uvode ograničenja njihovog ispuštanja. Biološkim procesima se uklanjaju (smanjuju) dušikovi i fosforni spojevi.⁸

Kemijskim procesima se iz vode uklanjaju otopljene tvari, teški metali, mikroorganizmi, mijenja se pH vrijednost te provodi pretvorba nekih opasnih spojeva u manje opasne. U kemijske procese ubrajamo neutralizaciju, ionsku izmjenu, oksidaciju i redukciju te dezinfekciju.³

Fizikalni procesi trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda provode se u cilju izdvajanja uzročnika mutnoće, okusa, mirisa, boja, otopljenih tvari i mikroorganizama. Primjenjuju se postupci procjeđivanja, adsorpcije ili membranski postupci.⁷

3. ZELENA KEMIJA

3.1. Održivi razvoj i uvod u zelenu kemiju

3.1.1. Održivi razvoj

Današnju definiciju održivog razvoja (razvitka) donijela je Svjetska komisija za okoliš i razvoj (engl. World Commission on Environment and Development, WCED) 1987. godine. Definira održivi razvoj kao zadovoljavanje potreba današnjice bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe.⁹

Dva ključna aspekta iz kemijske i energetske perspektive su: kako brzo će se iscrpiti fosilna goriva te koju količinu otpada i onečišćenja možemo ispustiti u okoliš. Iako nema točnih odgovora na ova pitanja, općenito je dogovoren razvoj obnovljivih oblika energije te smanjenje onečišćenja.¹⁰

“The Natural Step”, internacionalni pokret započet u Švedskoj, čija je uloga pomoći smanjiti utjecaj na okoliš, razvio je četiri uvjeta za održivost:

- Materijali iz Zemljine kore, poput teških metala, ne smiju se sustavno povećavati u prirodi.
- Spojevi koje proizvodi društvo, poput CFC-a (engl. chlorofluorocarbon), ne smiju se sustavno povećavati.
- Fizička osnova Zemljinih produktivnih prirodnih ciklusa ne smije se pogoršavati.
- Mora postojati pravedno i učinkovito korištenje resursa u pogledu ispunjavanja ljudskih potreba.¹¹

3.1.2. Povijest zelene kemije

Pojava parnog stroja koja je u drugoj polovici 18. stoljeća pokrenula apsolutnu i do tada neviđenu revoluciju, do sredine 19. stoljeća izokrenula je dotadašnji način života. Međutim, Prva industrijska revolucija bila je samo uvod u pravu prekretnicu u ljudskoj civilizaciji koja je nastupila na prijelazu 19. u 20. stoljeće, u povijesnim izvorima poznata kao Druga industrijska revolucija. Tehnološki razvoj koji je uslijedio doveo je do postindustrijske revolucije gdje je tehnologija računala dovela do razvoja mikročipova te nanotehnologije koja danas određuje tijek ljudskog razvoja. Sve što su spomenute revolucije donijele, zauvijek je promijenilo ljudski život. S druge strane, napredak znanosti i tehnologije uzrokovao je klimatske promjene, stvaranje ozonskih rupa i masovno nakupljanje nerezgradljivih organskih

onečišćivala u svim dijelovima bioatmosfere. Ipak, znanstvenici kažu da postoji način uspostavljanja ravnoteže u korištenju prirodnih resursa, gospodarskog rasta i očuvanja okoliša. Ta ravnoteža zove se “Zelena kemija”.

Otac *zelene kemije* je američki znanstvenik i profesor na Sveučilištu Yale Paul Anastas koji kaže da je *zelena kemija* način stvaranja i primjene kemijskih proizvoda i procesa koji smanjuju ili eliminiraju uporabu ili smanjuju proizvodnju tvari opasnih po ljudsko zdravlje i okoliš.²

Ideja zelene kemije prvi puta je razvijena kao odgovor na Zakon o sprječavanju onečišćenja iz 1990. koji je odnesen s ciljem da američka nacionalna politika treba eliminirati onečišćenje poboljšanim dizajnom (uključujući smanjenje štetnih promjena u proizvodnim procesima, uporabu, sirovih materijala te recikliranje) umjesto obrade i odlaganja.¹²

Zelena kemija obuhvaća rješavanje velikih globalnih problema kao što su klimatske promjene, energetska potrošnja i upravljanje vodenim resursima s ciljem održivosti. Stoga je, *zelena kemija* program koji kontinuirano i svakodnevno donosi niz novih ideja i rješenja.²

Glavni koncept zelene kemije je upotreba kemijskih znanja i vještina u smanjenju i/ili eliminaciji uporabe opasnih spojeva tijekom planiranja, proizvodnje i uporabe kemikalija kako bi se smanjila opasnost po zdravlje ljudi i okoliša. Naime, briga za smanjenje i eliminaciju proizvodnje opasnog otpada postaje veća nego tretiranje otpada koji je već nastao.¹³

1998. Paul Anastas i John Warner objavili su prvi priručnik o zelenoj kemiji u kojem predlažu 12 principa zelene kemije (Tablica 1).¹⁴ Industrijska praksa do sada je bila “proizvedi, onečisti pa tek poslije očisti”, dok je prvo načelo zelene kemije upravo suprotno. Ono se vodi mislju kako je bolje spriječiti stvaranje otpada nego ga poslije čistiti. Isto tako, pronalazak i uporaba sigurnijih kemikalija i reakcijskih uvjeta, štednja energije, kontrola procesa i dizajniranje razgradljivih produkata samo su neki od 12 postulata novog načina razmišljanja u kemiji.²

3.1.2.1. 12 principa zelene kemije

Ukratko, principi zelene kemije (Slika 5) temelje se na smanjenju, odnosno eliminaciji korištenja toksičnih otapala i nastanka nusprodukata u kemijskim procesima i analizama. Jedno od načela bavi se svjesnim razvojem kemikalija tako da se nakon njihova vijeka trajanja moraju moći razgraditi i postati proizvodi razgradnje bezopasni po okoliš,

izbjegavajući bioakumulaciju. Ovi principi odnose se na planiranje produkta, putem njegove sinteze, procesa, analize te odredišta nakon uporabe. Glavni cilj je smanjiti rizike po okoliš te profesionalne rizike koji su svojstveni industrijskim aktivnostima.¹³

U isto vrijeme, moguće je predvidjeti neke od ekonomskih koristi koje nastaju uključivanjem zelene kemije u industrijske kemijske procese koje uključuju manje potrebe za investicijama u skladišta i tretmane kao i smanjenje plaćanja odštete za štetu u okolišu.²



Slika 5. Principi zelene kemije prema Anastasu i Warneru¹⁴

Tablica 1. 12 principa zelene kemije¹⁴

Broj	Načelo	Opis
1	Prevenција	Bolje je spriječiti nastajanje otpada nego ga tretirati nakon nastanka.
2	Atomsko gospodarstvo	Metode sinteze trebaju biti planirane tako da konačni produkt obuhvaća što više reagensa korištenih tijekom procesa. Na taj način smanjuje se generiranje otpada.
3	Sigurnije kemijske sinteze	Metode bi trebale biti dizajnirane tako da se koriste supstance s niskom toksičnošću. Također, predlaže se zamjena toksičnih spojeva spojevima manje toksičnosti.
4	Sigurniji kemijski dizajn	Kemijski proizvodi trebaju biti dizajnirani tako da obavljaju svoju funkciju, ali istovremeno smanjuju njihovu toksičnost.
5	Upotreba sigurnijih otapala i pomoćnih sredstava	Uporaba otapala i ostalih reagensa trebala bi se izbjegavati gdje god je to moguće. Kada to nije moguće, ove supstance trebale bi biti neškodljive.
6	Dizajn za energetsку učinkovitost	Energetski zahtjevi kemijskih procesa trebali bi biti prepoznati prema njihovom utjecaju na okoliš i ekonomiju te bi trebali biti svedeni na minimum. Ako je moguće, sintetičke metode trebale bi se provoditi na okolnom tlaku i temperaturi.
7	Korištenje obnovljivih sirovina	Kada god je to ekonomski i tehnički izvedivo, obnovljivi materijali trebali bi se koristiti umjesto neobnovljivih.
8	Smanjenje derivata	Nepotrebni procesi derivacije trebali bi se izbjegavati ili smanjiti s obzirom na to da zahtijevaju dodatnu uporabu reagensa te samim time i povećanje količine otpada.
9	Kataliza	Upotreba katalitičkih reagensa bolja je od upotrebe stehiometrijskih.
10	Dizajn proizvoda degradacije	Kemikalije bi trebale biti dizajnirane tako da se na kraju svoje funkcije razlože na neopasne produkte i da se ne zadržavaju u okolišu.
11	Analiza u stvarnom vremenu za sprečavanje onečišćenja	Analitičke metode treba pratiti u stvarnom vremenu kako bi se izbjeglo stvaranje opasnih tvari.
12	Sprečavanje nesreća	Reagense i način njihova korištenja u kemijskim procesima treba izabrati na način da se uzme u obzir minimalizacija potencijalnih nesreća, poput curenja, eksplozija i vatre, s ciljem što veće sigurnosti na radu te u okolišu.

3.1.2.2. Principi zelenog inženjerstva

Zeleno inženjerstvo nastoji primijeniti temeljne inženjerske koncepte u poboljšanje procesa proizvodnje.¹⁵ Zeleno inženjerstvo je dizajn, komercijalizacija i uporaba procesa i proizvoda koji su izvedivi i ekonomični dok istovremeno smanjuju stvaranje onečišćenja na izvoru i rizik za zdravlje ljudi i okoliš. Zeleni inženjer koristi alate za recikliranje, intenzitet procesa i optimiranje dizajna kako bi se maksimalno povećala učinkovitost procesa i smanjilo opterećenje okoliša. Zeleno inženjerstvo procjenjuje proizvodni proces kao sustav i nastoji optimirati njegov dizajn. U pravom smislu uključuje koncepte analize životnog ciklusa i ekonomije okoliša u odgovarajuću procjenu ukupnog utjecaja na okoliš.¹⁶

Poput 12 principa zelene kemije postoje i principi zelenog inženjerstva (Tablica 2) koji nastoje osigurati okvir znanstvenicima i inženjerima za primjenu prilikom dizajna novih materijala, produkata, procesa i sistema koji su bezopasni po ljudsko zdravlje i okoliš. Dizajn temeljen na ovih 12 principa širi se i izvan osnovnih standarda inženjerske kvalitete i sigurnosti kako bi se uzeli u obzir okolišni, ekonomski te socijalni čimbenici.

Važna je i širina primjenjivosti ovih načela. Kada se bavi arhitekturom dizajna, bilo da je to molekularna arhitektura potrebna za izgradnju kemijskih spojeva, proizvoda kako bi se stvorila automobilska ili urbana arhitektura, isti načini zelenog inženjerstva trebaju biti primjenjivi, djelotvorni i prikladni. U protivnom, to ne bi bila načela već samo popis korisnih tehnika koje su uspješno demonstrirane u određenim uvjetima.¹⁷

Načela inženjerstva možemo, također, gledati i kao parameter u kompleksnom sustavu. Kao što ni svaki parameter u sustavu ne može biti optimiran u bilo koje vrijeme, pogotovo u slučaju kada su neovisni, isto vrijedi i za ova načela. Kako bi se optimirao cjelokupni sustav rješenja, potrebno je izbalansirati principe.

Postoje dva osnovna pojma kojima bi dizajneri trebali težiti u svakoj prilici: životni ciklus i prvo načelo zelenog inženjerstva, svojstvenost (inherentnost).¹⁸

Materijali i energija koji ulaze u životni ciklus produkta i procesa imaju svoj životni ciklus. Ako je proizvod neopasan po okoliš, ili ako je za njegovu proizvodnju korišten opasan ili neobnovljiv materijal, učinci su jednostavno prebačeni u drugi dio cjelokupnog životnog ciklusa. Što znači, u obzir treba uzeti cjelokupni životni ciklus i materijala i energije.

Životni ciklusi materijala i energije počinju obradom (rudarstvo, bušenje, žetva) i kreću se tijekom proizvodnje, distribucije, uporabe te kraja života. To je razmatranje svih utjecaja koji su potrebni prilikom primjene načela zelenog inženjerstva. Ova strategija nadopunjuje odabir bezopasnih ulaza koji će smanjiti utjecaj na okoliš tijekom životnog ciklusa. Oslanjanjem samo na tehnološku kontrolu uvjeta u sustavu, postoji potencijal za neuspjeh koji vodi ka značajnom riziku po ljudsko zdravlje i okolišni sustav. No, s dobrim dizajnom, bez obzira na promjene u uvjetima ili okolnostima, intrinzična priroda sustava ne može propasti.¹⁷

12 principa zelenog inženjerstva pružaju strukturu za stvaranje i procjenu elemenata relevantnih za maksimiziranje održivosti. Inženjeri mogu koristiti ta načela kao smjernice da bi se osiguralo da dizajn proizvoda, procesa ili sustava ima osnovne komponente, uvjete i okolnosti potrebne za održivost.¹⁷

Tablica 2. Načela zelenog inženjstva ¹⁹

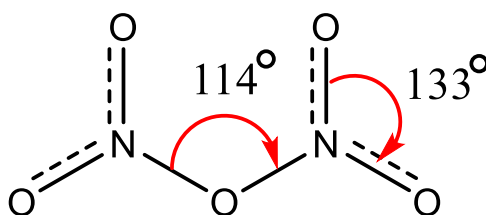
Broj	Načelo
1	Bolje prirodno nego stjecajem okolnosti. Treba se osigurati da su svi materijali te ulazi i izlazi energije što manje štetni.
2	Prevenција umjesto tretmana. Bolje je spriječiti nastajanje otpada nego ga tretirati ili očistiti nakon nastajanja.
3	Dizajn za odvajanje; separacija i pročišćavanje trebaju biti dizajnirani kako mi se smanjila uporaba energije i potrošnja materijala.
4	Povećanje učinkovitosti; proizvodi, procesi i sustavi trebali bi biti dizajnirani kako bi se povećala masa, energija, prostor i vrijeme učinkovitosti.
5	Maksimalni iscrpak na produktu.
6	Očuvanje kompleksnosti; ugrađena entropija i složenost moraju se promatrati kao ulaganje prilikom dizajna za recikliranje, ponovnu uporabu ili korisnu dispoziciju.
7	Trajnost, a ne besmrtnost; cilj dizajna trebala bi biti trajnost, a ne besmrtnost.
8	Upoznavanje potrebe, minimaliziranje viška; dizajn za nepotrebne kapacitete ili sposobnosti (jedna veličina odgovara svima) treba se smatrati nedostatkom dizajna.
9	Smanjivanje raznolikosti materijala; materijalna raznolikost u višekomponentnim proizvodima treba se svesti na minimalnu moguću mjeru.
10	Integriranje materijala i energetske tokove; dizajn proizvoda, procesa i sustava mora uključivati integraciju i međusobnu povezanost s dostupnim energetske i materijalne tokovima.
11	Dizajn za komercijalni ‘zagrobni život’; proizvodi, procesi i sustavi trebaju biti dizajnirani za uspješnost u ‘zagrobnom životu’-
12	Obnavljanje, a ne iscrpljivanje; materijalni i energetske ulazi trebaju biti obnovljivi, a ne iscrpljeni.

3.2. Zelena kemija u osnovnim reakcijama organske sinteze

U prvi dio *zelene kemije* ulazi dizajn eksperimenta. Osnovne reakcije pri sintezi organskih spojeva su nitriranje, halogeniranje, alkiliranje, oksidacija i sulfoniranje. U daljnjem tekstu navedni su novi postupci sinteze organskih spojeva primjenom zelene kemije koristeći katalizatore i polazne spojeve koji su manje toksični i s manje štetnih nusprodukata. Time će otpadne vode iz ovakvih procesa biti manje opterećene te će i obrada biti manje zahtjevna čime je postignut cilj *zelene kemije*: u osnovnim reakcijama organske sinteze smanjiti opterećenja vode na izlazu.

3.2.1. Nitriranje

Nitriranje je klasičan proces organske sinteze koji se najčešće izvodi djelovanjem smjese koncentrirane dušične (HNO_3) i sumporne kiseline (H_2SO_4) na organske spojeve pri visokim temperaturama. Međutim, u tim procesima nastaje mnogo nusprodukata. U “zelenom” procesu nitriranja koncentrirana kiselina zamijenjuje se razrijeđenom, odnosno problem se pokušava riješiti nitriranjem pomoću čvrstih katalizatora. Predložena je uporaba diduškova pentaoksida (N_2O_5) kao sredstva za nitriranje u inertnom organskom otapalu. U heterocikličkim spojevima N_2O_5 se potpuno ugrađuje u produkt i time sprječava nastajanje nusprodukata, dok se u drugim vrstama spojeva nusprodukti recikliraju i ponovno upotrebljavaju. Prema objavljenim podacima, uporaba N_2O_5 (Slika 6) snažan je stimulans za budući razvoj čistih reakcija nitriranja.²⁰



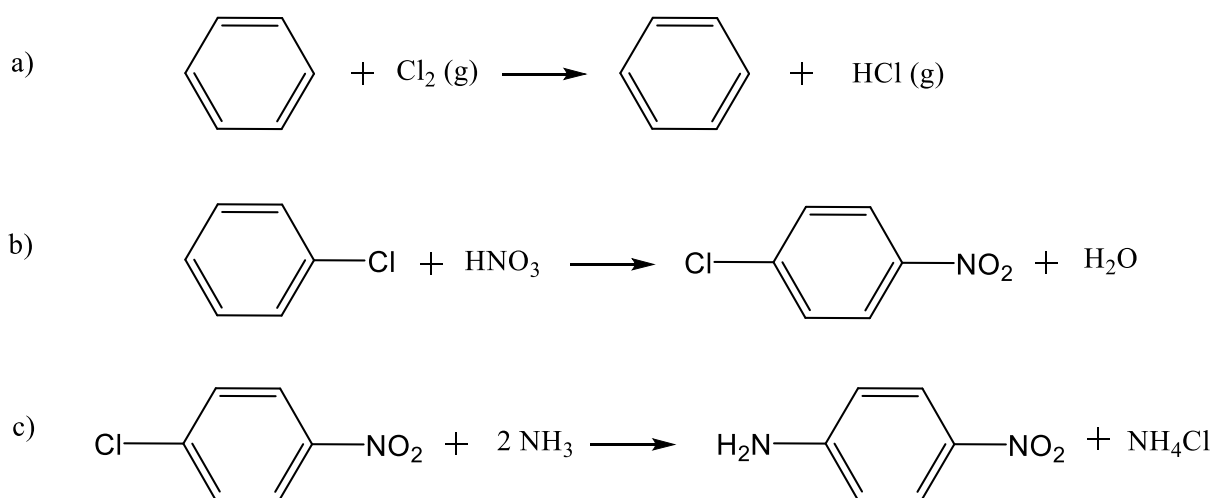
Slika 6. Struktura dinitrogen pentoksida²⁰

3.2.2. Halogeniranje

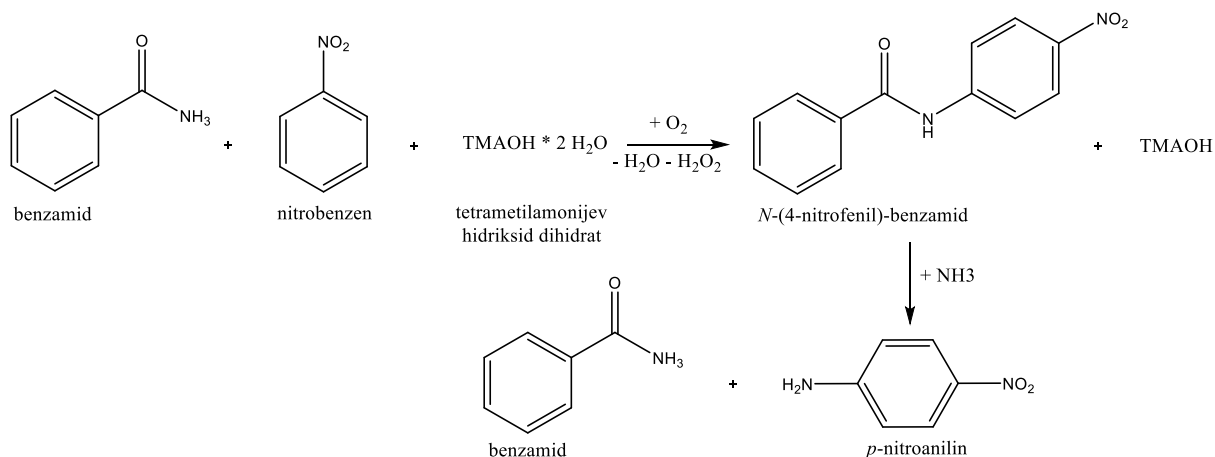
Halogeniranje se općenito odvija posredstvom katalizatora. Ta je reakcija vrlo bitna u proizvodnim procesima niza komercijalnih proizvoda, kao što su otapala (tetraugljik, diklormetan), sredstva za čišćenje (trikloretnan, tetrakloretnan), sredstva za hlađenje

(trifluorkloretan), pesticidi i herbicidi (organoklorirani insekticidi, atrazine), deodorant, farmaceutici itd. Halogeniranje se često primjenjuje i u sintezi spojeva koji ne sadrže halogen (klorirani međuprodukti), a u tim procesima nastaju velike količine kloriranih nusprodukata koji onečišćuju okoliš. U procesu halogeniranja svi su reaktanti (halogen, vodikovi halogenidi, karbonil-kloridi) opasni i predstavljaju ozbiljne probleme u geološkim i ekosustavima, a neki su klorirani alifatski spojevi toksični i za “čovjekov ekološki lanac”.

Proizvodnja *p*-nitroanilina, važne kemikalije u gumarskoj industriji, može se navesti kao primjer slabe iskoristivosti uporabljenih reaktanata uz nastajanje velike količine nusprodukata. Klasična kemijska metoda za pripremu *p*-nitroanilina provodi se u tri stupnja (Slika 7). U prvom stupnju sinteze klorira se benzen u monoklorbenzen, a kako reakcija nije selektivna, nastaje i nešto diklorbenzena. Izdvaja se monoklorbenzen, koji se potom nitrira (drugi stupanj) te nastaju *p*- i *o*-izomeri klornitrobenzena u omjeru 2:1. Izomer *p*-klornitrobenzena izdvaja se i u reakciji s amonijakom nastaje *p*-nitroanilin. Prema novom, “zelenom” procesu (Slika 8) reakcijom nitrobenzena, benzamida i tetrametilamonijeva hidroksid-dihidrata (TMAOH) nastaje međuprodukt *N*-(4-nitrofenil) benzamid. Međuprodukt nakon izdvajanja reagira s amonijakom u metanolu, te se dobiva isključivo *p*-izomer nitroanilina i benzamid, koji se vraća kao sirovina na početak procesa. Tijekom “zelenog” procesa ne nastaje toksični klorbenzen kao međuprodukt.²⁰



Slika 7. Priprava *p*-nitroanilina klasičnim postupkom; (a) kloriranje benzena, (b) nitriranje klorbenzena, (c) amonoliza *p*-klornitrobenzena²⁰



Slika 8. Zelena sinteza *p*-nitroanilina²⁰

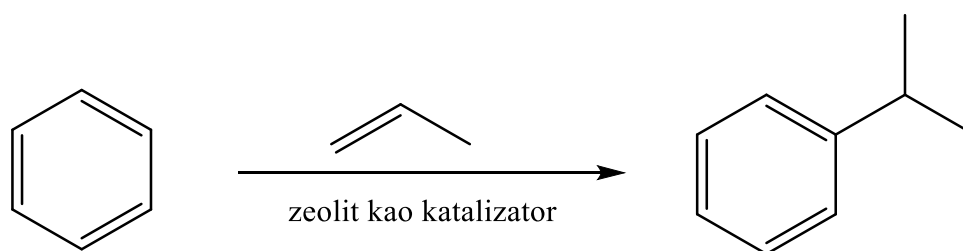
Kao neželjeni nusprodukt u procesu halogeniranja često nastaje i HCl, koji se u “zelenom” procesu pokušava reciklirati u Cl₂. Istraživači sa Sveučilišta Južne Kalifornije (engl. University of Southern California) objavili su 1995. pokusno testiranje modificiranog Deaconova procesa, u kojem HCl reagira s bakrovim (II) oksidom, CuO pri temperaturi od 200°C i pritom nastaje kompleks bakra i klor. Nastali se kompleks oksidira kisikom pri temperaturi od 360°C i dobiva se Cl₂ u stehiometrijskim količinama. Cijena recikliranog Cl₂ iznosi 80\$ po toni, za razliku od klasične proizvodnje u kojoj je cijena 200\$ po toni, pa je modificirani Deaconov proces primjer ekonomski opravdane proizvodnje.²⁰

3.3.3. Alkiliranje

Alkiliranje je proces koji se često primjenjuje u proizvodnji sintetičke gume, bojila i mirisa te u naftnoj i farmaceutskoj industriji. Sredstva za alkiliranje obično su alkeni, alkoholi, alkil-sulfati i alkil-halogenidi, a katalizatori kiseline HF, H₂SO₄ i H₃PO₄. Procesi alkiliranja provode se pri temperaturama višim od 200°C i povišenu tlaku, što rezultira nastajanjem niza nepoželjnih nusprodukata (otpadni alkil-halogenidi, sulfati i emisija plinova). Za Friedel-Craftsove reakcije alkiliranja kao katalizatori se upotrebljavaju u stehiometrijskim količinama jake Brönstedove (H₂SO₄ i HF) ili Lewisove kiseline (AlCl₃ i BF₃), a kako je pri tom tipu reakcija konverzija svega 35%, nastaje puno otpada. Friedel-Craftsovo alkiliranje trifenilmetanola s metoksibenzenom, potaknuto trifluorocetnom kiselinom, uspješno je provedeno u superkritičnom ugljikovu dioksidu pa je dobiven *p*-metoksitetrafenilmetan (*p*-MTMP) u 83–87 %-tnom iskorištenju.²⁴

Trost i suradnici objavili su rezultate primjene paladija kao katalizatora u reakcijama alkiliranja, tj. sintetizirali su makrolaktone iz odgovarajućih karboksilnih kiselina u reakcijama kataliziranim paladijem pri sobnoj temperaturi u 100 %-tnom iskorištenju.²¹

Primjenom zeolita kao katalizatora u Mobil/Badgerovom postupku alkiliranja benzena propenom pri proizvodnji kumena izbjegnuta je uporaba opasnih i korozivnih katalizatora kao što su fosforna kiselina ili aluminijev klorid (Slika 9). Zeolit kao katalizator inertan je prema okolišu, a željeni su produkti dobiveni u visokom iskorištenju.²²



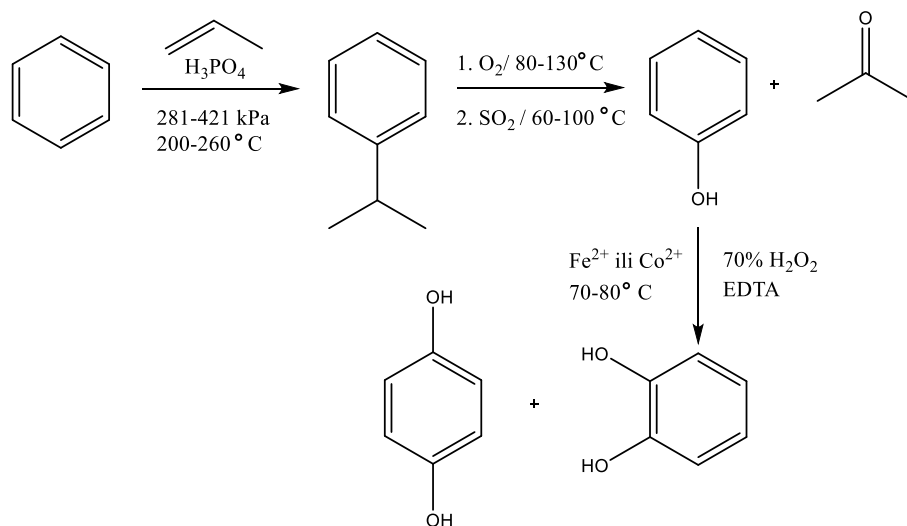
Slika 9. Mobile/Bedgerova sinteza kumena uz zeolit kao katalizator²²

Priprava katehola tradicionalno se izvodi iz benzena (neobnovljive sirovine) u nekoliko reakcijskih stupnjeva koji zahtijevaju žestoke reakcijske uvjete, pri kojima nastaje niz neželjenih nusprodukata (slika 10).

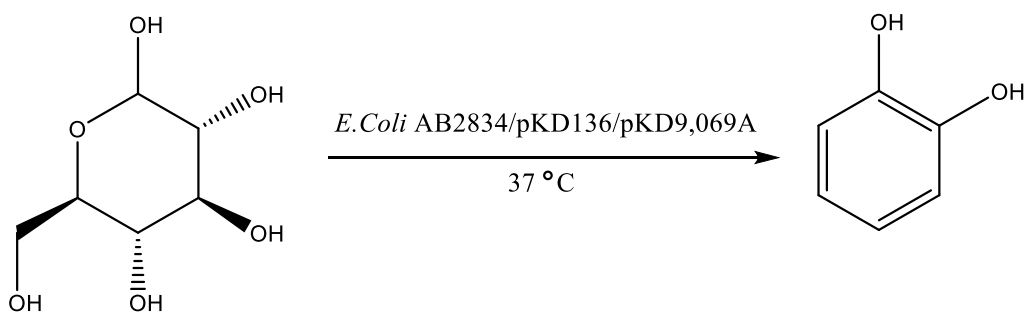
Klasična sinteza zamijenjena je biokatalitičkom, koja polazi od D-glukoze (obnovljive sirovine) u prisutnosti genetički modificirane *Escherichia coli*, a izvodi se u jednom reakcijskom stupnju (slika 11). Pri “zelenoj” biokatalitičkoj sintezi katehola ne nastaju nusprodukti, a proizvodnja je ekonomski isplativija.

Da bi se smanjilo neželjeno onečišćenje okoliša pri procesima alkiliranja, “zelena” kemija pronalazi nove puteve kao što su:

- a) unapređenje tehnoloških rješenja za recikliranje zaostale sumporne kiseline,
- b) zamjena tekućih kiselinskih katalizatora jakim kiselinama na čvrstoj podlozi tzv. “superkiseline”, npr. antimonovim pentafluoridom, SbF₅ na SiO₂ ili njegovim organometalnim “solima”, kao što je npr. trifluorometansulfonska kiselina, CF₃SO₃H na SiO₂. Primjenom nove “superkiseline” – Brönstedove kiseline obrađene oksidom prijelaznog metala prevodi se propen-izobutan C₃–C₄ u razgranati alkan C₅–C₉ pri temperaturi nižoj od 170°C i atmosferskom tlaku uz selektivnost veću od 96 %.²⁰



Slika 10. Klasična sinteza katehola²⁰

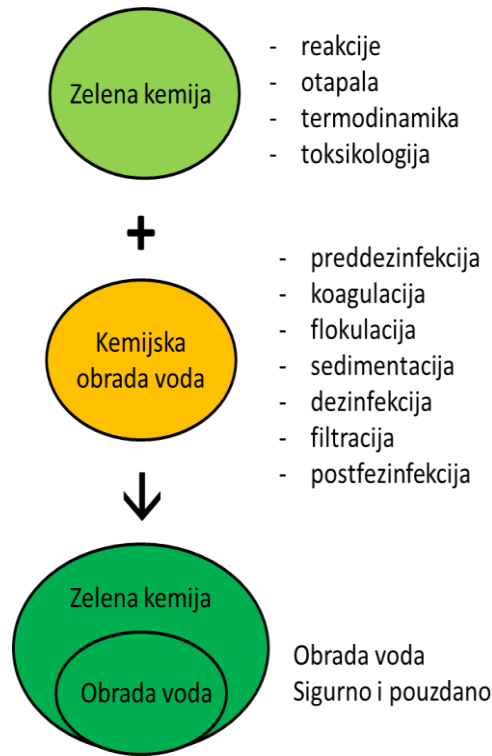


Slika 11. Biokatalitička sinteza katehola²⁰

4. EKOLOŠKI PRIHVATLJIVE TEHNOLOGIJE

4.1. Ekološki prihvatljive tehnologije

Jedna od najraširenijih metoda u obradi vode za piće i u obradi otpadnih voda je kloriranje pri čemu se klor koristi kao sredstvo za predezinfekciju, dezinfekciju i poslijedezinfekciju. Također, nezaobilazan proces u obradi voda je i koagulacija u kojoj se kao koagulacijska sredstva koriste aluminijske soli. U procesima dezinfekcije nastaju štetni i toksični nusprodukti, a aluminij je otrovan za živi svijet.



Slika 12. Uklapanje kemijske obrade vode u zelenu kemiju.¹⁵

Kemijsku obradu vode (Slika 12) kloriranjem i koagulacijom korištenjem aluminija moguće je pretvoriti u zelenu obradu voda slijedeći 4 prijedloga:

1. Smanjenje kloriranja izbjegavanjem predezinfekcije.
2. Potrebno je izbjegavati aluminijske soli zbog otrovnosti aluminija. Preporuča se upotreba Fe (VI) jer djeluje istovremeno kao oksidans, dezinficijens i koagulant.
3. U obradi voda preporuča se upotreba MC (engl. Microchannel) reaktora zbog najboljeg kontakta između anionskih koloida i kationskih željeznih spojeva.
4. Kako bi se ugodilo prvom načelu zelene kemije (bolje spriječiti nastanak otpada nego ga proizvesti pa zbrinjavati), u pogledu obrade vode potrebno je izbjegavati eutrofikaciju.¹⁵

Poboljšana koagulacija i oksidacija kao i upotreba željeza su postupci koji se zbivaju u samom procesu obrade otpadne vode.

4.1.1. Poboljšana koagulacija

U Sjevernoj Americi i Europi postoji neprestana zabrinutost zbog moguće prisutnosti potencijalno opasnih organskih mikrozagađivala u vodi za piće, posebno onih koji nastaju iz DBP-a (engl. albumin promoter (albumin D-box) binding protein). Kako se dezinfekcija mora provesti bez deaktivacije mikroorganizama, predlaže se poboljšanje uklanjanja spojeva koji služe kao prekursori DBP-a prije dezinfekcije. U mnogim postrojenjima za obradu voda kemijska koagulacija je osnovni proces uklanjanja prirodnih organskih spojeva, stoga se trenutačno proučavaju metode za poboljšanje njene djelotvornosti. Neprestani interes privlači upotreba novih potencijalnih kemikalije za koagulaciju, pa se istraživanja temelje na razvoju polimernih aluminijevih i željeznih soli niske bazičnosti i velikog naboja. Laboratorijska ispitivanja pokazala su poboljšane performanse u pogledu uklanjanja NOM-a (engl. natural organic matter; prirodna organska tvar), manje osjetljivosti na pH i temperaturu te manje proizvodnje mulja prilikom korištenja određenih oblika poli-željeznih sulfata i poli-aluminoželjeznih sulfata, što je potvrđeno i pilot-ispitivanjima. Za upotrebu u kontroli kvalitete vode istražuje se i kombinacija anorganskih koagulanata s polielektrolitima. Takve, nove kemikalije mogu direktno utjecati na ciljeve veće održivosti smanjenjem količina potrebnih kemikalija i volumena nastalog mulja, što dovodi i do značajnih ušteda u obradi mulja i konačnom odlaganju.²³

4.1.2. Procesi poboljšane oksidacije

Posljednjih godina postoji velik interes za upotrebom oksidacijskih kemikalija u različite svrhe prilikom obrade voda. Često se oksidacija koristila za zamjenu ili smanjenje korištenja klora zbog problema koje donosi formacija halogeniranih koprodukata. Osim ozona koji je najčešći oksidans, u obradi površinskih voda uspješno su primijenjeni i klorov-dioksid, ClO_2 te kalijev permanganat, KMnO_4 . Ozon je vrlo važan jer jedini ima mogućnost razgradnje pesticida i drugih organskih mikrozagađiva, ali tipični uvjeti obrade vode ograničavaju djelotvornost ovog procesa minimaliziranjem nastanka visoko reaktivnih radikalskih struktura iz ozona. Trenutačna istraživanja fokusirana su na metode poboljšanja formiranja radikala, uključujući kombiniranje ozona s vodikovim peroksidom, UV-zračenjem, metalnim katalizatorima ili aktivnim ugljenom.

Aktivno se istražuju i druge kemikalije koje imaju mogućnost kako oksidacije, tako i koagulacije. Dok se permanganat može koristiti za koagulaciju zbog stvaranja krutog manganovog dioksida, Fentonov reagens (željezni ion i vodikov peroksid, $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) i željezne soli također proizvode koagulanate na bazi željeza kao rezultat snažnih oksidativnih reakcija.

4.1.3. Željezo (Fe (VI)) kao zelena kemikalija

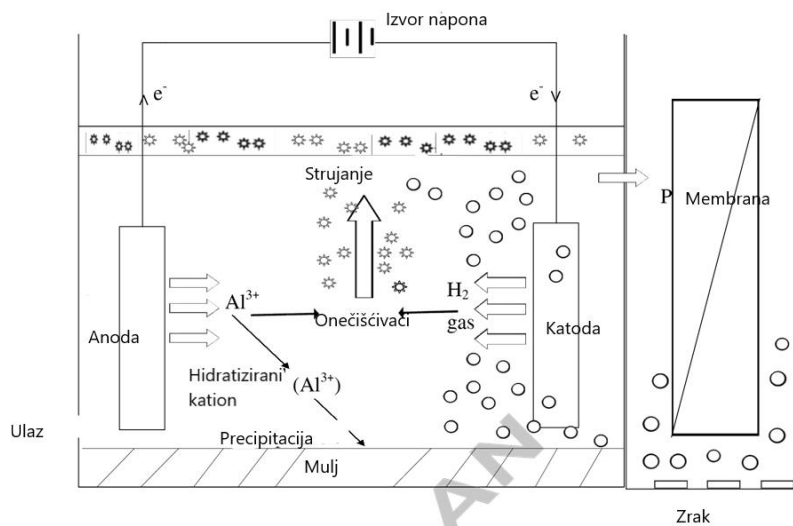
Iako se željezo najčešće nalazi u dva oksidacijska stanja, Fe (II) i Fe (III), dokazano je i postojanje hipervalentnih stanja željeza Fe (IV), Fe (V) i Fe (VI) u određenim uvjetima. Od njih, samo je Fe (VI) oksidacijsko stanje željeza prisutno u obliku stabilnih soli. Posljednjih se godina velika pažnja pridodaje različitim upotrebama Fe (VI) zbog njegove oksidacijske snage, selektivne reaktivnosti, stabilnosti u obliku soli i nastanka netoksičnih koprodukata dekompozicije. Fe (VI) se predlaže kao zeleni oksidans, koagulans, dezinficijens i antivegetativni spoj, stoga se smatra i obećavajućom kemikalijom za upotrebu u obradi voda. Potencijalnu upotrebu ima i u elektrokemijskim izvorima energije – dokazano je da baterija s Fe (VI) kao katodom ima veći katodni kapacitet i energetska djelotvornost u usporedbi s konvencionalnim baterijama. U organskoj sintezi, Fe (VI) se proučava kao alternativni, zeleni oksidans poznatim metalnim oksidansima poput kromata, permanganata i rutenata.

Nadalje, željezo je jedan od najčešće prisutnih elemenata koji čini najmanje 5% zemljine kore te otapanjem u vodonosnicima dopijeva u gotovo sve vode. Također, ne smatra se opasnim za zdravlje. Dapače, esencijalno je u ljudskom organizmu jer služi za prijenos kisika u krvi. Trenutačna preporučena granica željeza u vodi pitkoj vodi (0,3 mg/L) bazirana je na okusu i izgledu, a ne na negativnim utjecajima na zdravlje.¹⁵

4.1.4. Elektrokoagulacija

Elektrokoagulacija (Slika 13) je tehnika koja generira koagulanse *in situ* (lat. na mjestu) električnim otapanjem preko aluminijske ili željezne elektrode. Metalni ioni se skupljaju na anodi dok se plin vodik stvara na katodi. Otpušteni plin vodika pomaže plivanju flokuliranih čestica na površinu. Keerthi et al. je istraživao tri različite kombinacije obrade: elektrokoagulacija kombinirana s mikrofiltracijom, MBR (membranski bioreaktor) i elektrokoagulaciju integriranu s MBR). Elektrokoagulacija integrirana s MBR pokazala je

najbolju učinkovitost u uklanjanju kemijske potrebe za kisikom i metala u otpadnoj vodi. Ova vrsta integriranog MBR-a prikladna je za obradu otpadnih voda sličnih otpadnoj površini kože s ciljem nultog pražnjenja.²⁴



Slika 13. Prikaz elektrokoagulacije³⁷

4.1.5. MC reaktor

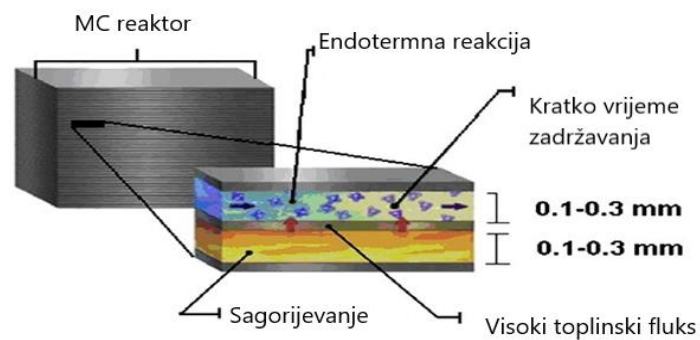
MC (engl. microchannel) reaktori su reaktori s mikrokanalima u kojima su volumeni reakcija mali i skala je vrlo fleksibilna čime se smanjuju opasnosti i rizici. MC tehnologija procesa značajno povećava djelotvornost i produktivnost postrojenja za proizvodnju kemikalija i generaciju energije. Ona ubrzava procese omogućavajući odvijanje reakcija i do 1000 puta brže nego u konvencijalnim sustavima, što je moguće zahvaljujući drastično manjim prolazima u MC sustavu. Umjesto velikih cijevi i posuda, ovi uređaji imaju kanale dimenzija 0,1-0,3 mm čime je povećana specifična površina i omogućen bolji prijenos tvari i energije. (Slika 14)

Kemijske reakcije, poput koagulacije i dezinfekcije, obično su ograničene stupnjem prijenosa tvari i topline. Upravo iz tog razloga, MC tehnologija mogla bi značajno povećati ukupnu djelotvornost niza procesa kemijske industrije. Njene prednosti su smanjenje volumena 10

puta (i više) u odnosu na konvencionalne, povećano iskorištenje produkata, poboljšana energetska učinkovitost i omogućavanje novih sintetskih puteva.

MC tehnologija u skladu je sa svim načelima zelene kemije.²⁵

U tablici 3 može se vidjeti kako MC obuhvaća sva načela zelene kemije.



Slika 14. MC reactor²⁵

Tablica 3. Prednosti MC reaktora¹⁵

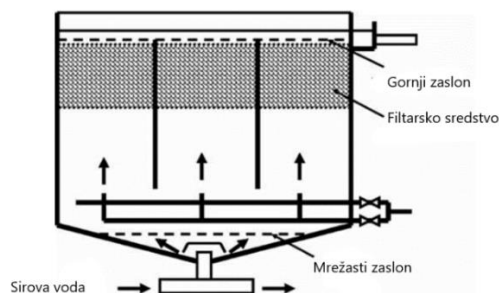
Broj	Prednosti MC reaktora
1.	Precizna kontrola minimalizira nastajanje neželjenih produkata.
2.	Precizniji prinosi procesa čime se zahtijeva manje sirovine. Kompaktni reaktori zahtijevaju manje materije.
3.	Omogućuje korištenje manje opasnih supstanci.
4.	Omogućuje korištenje prirodnih supstanci. Precizna kontrola procesa može ograničiti potrebu za kemijskim aditivima.
5.	Visok tlak omogućuje korištenje superkritičnog ugljikovog dioksida kao sigurnijeg otapala.
6.	Spaja endotermne i egzotermne reakcije. Poboljšani prijenos energije omogućava lakši oporavak enegije od egzotermnih reakcija.
7.	Proizvodnja manjih količina omogućava uporabu obnovljivih izvora.
8.	Omogućava korištenje novih kemikalija za sintezu složenijih.
9.	Upotreba naprednih, super aktivnih katalizatora. Smanjena količina katalizatora čini više kataliziranih reakcija ekonomski održivim.
10.	Lako dobivanje dozvola za korištenje kratkotrajnih tvari.
11.	Precizna kontrola smanjuje nastajanje onečišćenja.
12.	Precizna kontrola sprječava nezgode.

4.2. Tehnologije obrade otpadnih voda u uređajima za obradu

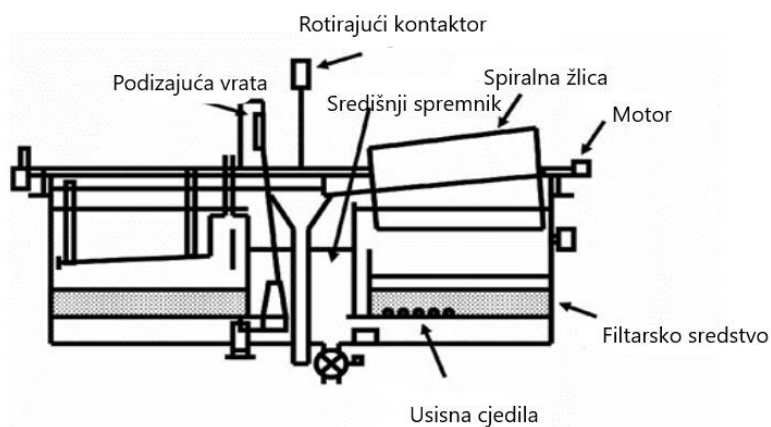
Kao što je ranije rečeno, gradska obrada otpadnih voda obuhvaća primarni proces koji uključuje sedimentaciju, sekundarni stupanj koji uključuje biološke jedinice poput aktivnog mulja. Svi ti procesi pomažu kako bi se otpadna voda što bolje obradila, ali uz pomoć *zelene kemije* proces obrade doveden je na novu razinu kojom se neželjeni produkti mogu iskoristiti na način da se ne onečišćuje okoliš.

4.2.1. Fizikalno-kemijski procesi

Fizikalno-kemijski procesi za obradu otpadne vode uobičajeno uključuju sedimentaciju, flotaciju i centrifuge za uklanjanje suspendiranih čestica te kemijsku koagulaciju, precipitaciju kako bi se uklonila otopljena materija. Tradicionalni sustav za obradu otpadnih voda s primarnim taložnikom i aktivnim muljem ne može zadovoljiti potrebe *zelene kemije*. Iz tog razloga, razvijen je sustav obrade s plutajućim filtrom za uklanjanje suspendiranih čestica (slika 15). Otpad se kreće prema gore i filtrira se preko plutajućeg filtra koji ima manju specifičnu gravitaciju od otpada. Kako bi se očistio filter, zrak se upuhuje iz cijevi kako bi se kojim se postiže vrtložno gibanje kako bi se ostrugale čestice s površine filtra. Također, razvijen je bistrač tekućine koja sadrži suspendirane tvari (Slika 16). On koristi dvije tehnike odvajanja tekućine i čvrste tvari: otopljenu zračnu flotaciju i filtriranje preko medija za filtriranje (pijesak, antracit ili neko drugo sredstvo). Bistrač razdvaja suspenziju u dva stupnja: prirodnom flotacijom (ako je gustoća suspendiranih čestica niža od gustoće tekućine) ili u kombinaciji s tehnikom otopljene zračne flotacije, te potom filtracijom pomoću filteraskog sredstva.²⁶



Slika 15. Sustav za obradu voda s plutajućim filtrom²⁶



Slika 16. Kombinirani sustav za obradu otpadnih voda ²⁶

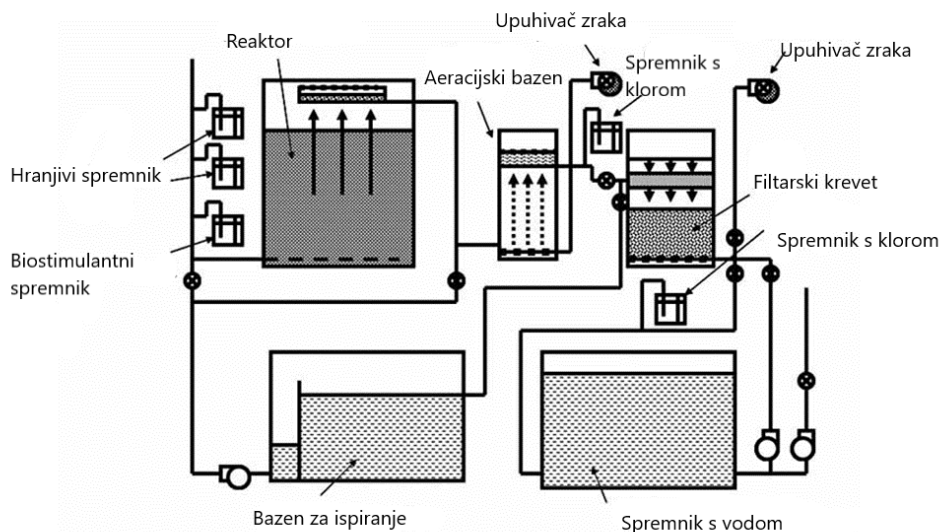
4.2.2. Biološke metode

Biološke metode se koriste za tretiranje domaćih i industrijskih voda pretvaranjem otopljenih i suspendiranih supstrata u biomasu koja je odvojena i uklonjena iz vode. Metode odlaganja/ponovne uporabe ostataka zahtijevaju predobradu koja se općenito sastoji od probave, zadebljanja i dehidracije s kondicioniranjem kako bi se postigla koncentracija krutine od 20% do 40%. Kotsaridou et al. je razvio metodu za smanjanje ostataka nastalih u biološkim sustavima za obradu vode. Proces koristi makromolekularne ugljikohidrate i vitamin u količini od 0,0014 do 14 mg/kg suhog aktivnog mulja dnevno. Konvencionalni filtar koristi film biomase koji se se fiksira na filtarsko sredstvo za uklanjanje i aerobnu pretvorbu organske tvari u ugljični dioksid, vodu i dodatnu biomasu za oksidaciju amonijaka u nitrate. Filtarsko sredstvo obično sadrži kamen, drvo ili valovitu plastiku koja povećava površinu biomase za obradu otpadnih voda. Nova konstrukcija filtra koristi pretežno plastične module. Proces ima biomasu pričvršćenu na fiksni medij. Ne traži se recikliranje nastale biomase. ²⁶

Ruppel je razvio sustav koji omogućava operativno postrojenje procijeniti razvoj biomase, odredi optimalne brzine ispiranja i mogućnost brze distribucije prijateljske samoj biomi te rješavanje problema vezanih pa preformanse medija. Izum osigurava toranj filtarskog sredstva koji obuhvaća prvi dio I drugi dio, pri čemu je prvi dio suspendiran u drugom dijelu. Prvi dio

je uklonjivi medijski toranj ili kavez za držanje filtarskog sredstva, a drugi struktura podrške vodiča medijskog tornja. Mediji koji se upotrebljavaju mogu biti valoviti strukturalni plastični mediji, nesummični odljevni mediji, kamen ili bilo koji medij koji se uobičajeno koristi u tehnici filtriranja ili sustava hlađenja vodom.²⁶

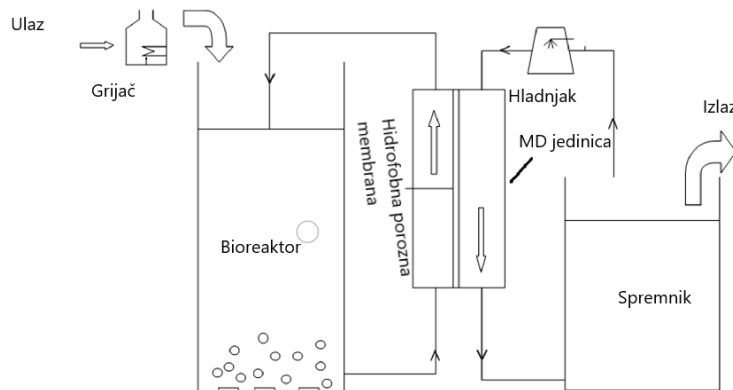
Dizajn i uporaba biostimulansa za mikroorganizme koristi biološki postupak denitrifikacije. Slika 17 pokazuje shemu inovativnog procesa denitrifikacije. Bioreaktor sadrži otvorenu posudu s medijem za pakiranje. Bakterije učinkovite za biološku denitrifikaciju pričvršćene su i podržane su na medijima. Akumulator kisika radi s bakterijama koje se nalaze u donjem dijelu za uklanjanje otopljenog kisika sadržanog u izvoru vodenog toka. Biološki raspad nitrata i nitrita u bioreaktoru proizvodi plin dušik. Park et al. je razvio metodu za tretiranje visoko koncentrirane otpadne vode, kao što su noćna tla ili otpadna voda stoke koja ima visoku razinu dušika i fosfora. Postupak obrade sastoji se od omogućavanja preciznijeg i lakšeg određivanja težine akumulirane biomase na filtarskom sredstvu, u stvarnom vremenu, bez značajnijeg poremećaja procesa filtriranja. Nadalje, uklonjivi medijski toranj omogućuje pregled stvarnog sastava biomase, kao i lako održavanje, popravak ili zamjenu filtarskog sredstva.²⁶



Slika 17. Proces i aparatura za biološku obradu voda²⁶

4.3. Membranski destilacijski reaktor

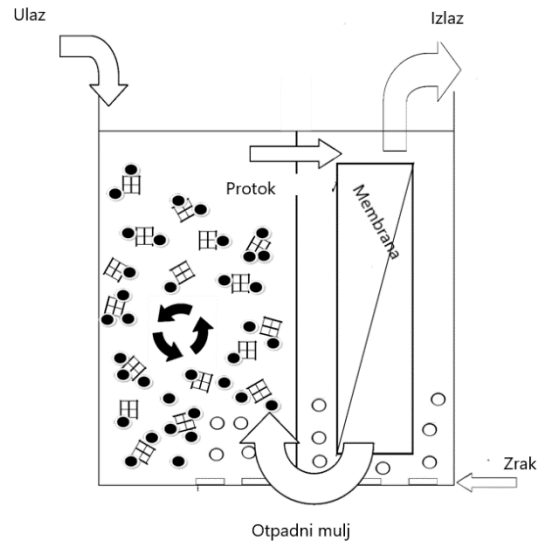
MDBR (engl. Membrane distillation bioreactor, MDBR) kombinira termofilni bioprocess s procesom membranske destilacije. Vodena para preko toplinskog gradijenta kroz hidrofobnu i mikroporoznu membranu proizvodi visoku kvalitetu vode (Slika 18). MDBR je sposoban zarobiti toplinu za proizvodnju električne energije pomoću sustava toplinske energije. Generirana toplina može se koristiti za pokretanje MBR procesa i za smanjenje oslanjanja na električnu energiju iz fosilnih goriva. U usporedbi s MBR-om, MDBR je u mogućnosti postići veliku učinkovitost uklanjanja organskih tvari u uporabi komunalnih otpadnih voda, donosi manje otpadnog mulja, manje je osjetljiv na koncentraciju soli, niski troškovi opreme i dobre performanse u srednjim radnim uvjetima.²⁴



Slika 18. MDBR reaktor²⁴

4.4. Membranski bioreaktor s biofilmom i membranski bioreaktor

Membranski bioreaktor s biofilmom (engl. biofilm membrane bioreactor, BF-MBR) je dodavanje nosača unutar membranskog bioreaktora (engl. bio-entrapped membrane bioreactor, BE-MBR) koji smanjuje koncentraciju suspendiranih čvrstih tvari i dovodi do ublažavanja urušavanja membrana. Ovaj sustav može smanjiti koncentraciju suspendiranih čestica bez ograničavanja učinkovitosti procesa. Nudi nekoliko prednosti kao što je povećana aktivnost biomase i veća otpornost na otrovne tvari. Slika 19 prikazuje shematski dijagram BF-MBR gdje je biofilm razvijen na površini nosača.²⁴



Slika 19. BF-MBR ²⁴

4.5. Granulirani MBR

Aerobni sustavi granuliranog mulja opširno su se proučavali za rad pri visokom organskom opterećenju. Istodobna nitrifikacija i denitrifikacija mogu se postići unutar granula zbog svoje sferične kompaktne structure. Osim toga, granulirani mulj ima bogatu mikrobnu morfologiju i sposoban je djelotvorno djelovati u usporedbi s jednim mikroorganizmom. Vijayalayan je proučavao kombinaciju serijskog reaktora zraka i bioreaktora membranskog zračnog protoka za liječenje sintetičke otpadne vode. Serijski je korišten za kultiviranje aerobnih granula i membranski za daljnje liječenje efluenta iz serijskog filtracijom preko polietilenske membrane. Aerobne i anoksične zone postoje u membranskom, dok se u serijskom aerobne granule uzgajaju istodobnom nitrifikacijom (visokom aeracijom) i denitrifikacijom (niskom aeracijom). Prljanje membrane u sustavu značajno je smanjeno granuliranim muljem, međutim, otpuštanje topivih ekstracelularnih polimernih supstanci, od raspadanja granula nakon 20 dana, bilo je odgovorno za prljanje membrane. Stoga, omjer novih i starih granula treba održavati u reaktoru s odgovarajućim čvrstim vremenom zadržavanja kako bi se poboljšala stabilnost granula.

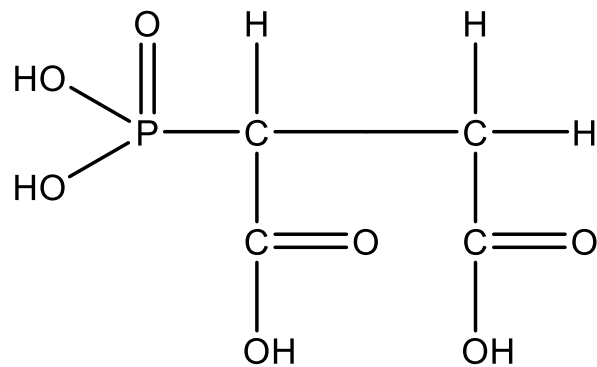
4.6. Alternativni pristupi u procesima obrade otpadne vode

Nema sumnje da je klor kod kemijske obrade voda učinkovit. Međutim, klor iz proizvodnje odlazi u vodene ekosustave i utječe na organizme koji su integrirani na lance hrane. Jednom prisutni u okolišu spojevi klora stupaju u reakcije s drugim spojevima koji mogu dovesti do stvaranja kancerogenih kloramina, koji se biološki nakupljaju u hranidbenom lancu. Industrijska obrada otpadnih voda prvenstveno se odnosi na tri istodobno nastala postupka površinskoh obrađivanja: mikrobn, skaliranje i korozija. Ove kemikalije su često vodeni otrovi, a mnogi od inhibitora korozije nespojivi su s biocidima, koji koriste više kemijskih pristupa istim sustavima. Najčešći inhibitori korozije su azolni materijali, tipizirani tololtriazol (TTA). Oksidirajući klor i brom uvedeni u industrijske vodene sustave za rješavanje mikrobne kontaminacije reagiraju s TTA dajući klorirani nusprodukt koji ne štiti cijevi od legure bakra. Doze TTA se zatim povećavaju kako bi se prevladao ovaj učinak, a neto rezultat je povećana kemijska uporaba i otpuštanje. Drugi problem odnosi se na odvajanje suspendiranih krutina i onečišćenja. U procesu kloriranja vode, male količine kloroforma, kancerogena, nastaju kloriranjem NOM-a (engl. natural organic matter) u vodi.¹⁵ NOM utječe na kvalitetu pitke vode kao nositelj metala i hidrofobnih organskih kemikalija te pridonosi neželjenoj boji, okusu te drugim problemima. Utvrđeno je da NOM ima značajan doprinos stvaranju nusprodukata dezinfekcije.³² Bakar je osnovni materijal i komponenta mnogih enzimskih reakcija. Može poprimiti formu reaktivnog spoja koji sadrži kisik (ROS) i to može imati štetne posljedice. Aluminij je trovalentni kation nesposoban za redoks promjene te za razliku od bakra nema nikakvu biološku ulogu. Oba metala mogu se povezati s neurološkim poremećajima.²⁶ Homeostatske promjene u moždanim razinama bakra također su uključene u patenogenezu nekoliko neuroloških poremećaja, uključujući Alzheimerovu i Parkinsonovu bolest. Toksičnost viška bakra najbolje pokazuje nasljedni poremećaj Wilsonova bolest u kojoj jetra ne može izlučiti metal te samim time postoji akumulacija tkiva. U tom stanju, jetra i mozak su najviše kompromirana područja. Ostale studije potvrdile su ove rezultate, osobito o toksičnosti aluminija i njegova odnosa s Alzheimerom.²⁷

U daljnjem tekstu obrađeni su neki alternativni pristupi u razvoju i distribuciji.²

Albright i Wilson Americas su razvili Bricorr[®] 288 (Slika 20), fosfonokarboksilnu mješavinu koja je u potpunosti organska i tako brzo biorazgradiva kada je puštena u okoliš. Kompleks je

topiv u vodi i stoga neće bioakumulirati, čime se smanjuje rizik za veće organizme. Dodatna prednost zelene kemije je veća sigurnost rukovanja. Koristi se za kontrolu korozije obojenih metala i taloženje minerala u otvorenim rashladnim tornjevima. Koristi se i u zatvorenim sustavima za hlađenje te sustavima s hladnom vodom. Učinak mu se može dodatno pojačati formulacijom sa žutim metalnim inhibitorima, drugim inhibitorima ljepila i korozije.²



Slika 20. Struktura Bricorr[®] 288²

Nalco Chemical Company razvio je STABREX, kontrolu mikroorganizama koja se temelji na stabilnom hipobromitnom spoju koji oponaša bromne antimicrobe proizvedene u ljudskom sustavu. Molekula STARBREX-a temelji se na antimikrobnim N-bromoaminoetansulfonskim kiselinama, proizvedenim pomoću eozenofila u enzimski kataliziranoj oksidaciji bromine s H₂O₂ reakcijom s 2-aminoetansulfonskom kiselinom (taurin). STABREX je 10 puta manje toksičan od klora, daje upola manje nusprodukata dezinfekcije te je učinkovitiji u procesima za koje je namijenjen.²

Prednosti STABREX-a:

- Kompatibilnost – manja agresivnost od ostalih biocida i inhibitora korozije koji su danas u uporabi.
- Niska hlapljivost – rezultira slabijim mirisom, boljim sprječavanjem kvarova i manjim emisijama u zrak.
- Uklanjanje biološkog filma – prodire i uklanja biofilme kako bi se osigurali čisti sustavi prijenosa topline.
- Učinkovitost – bolje performanse pri visokom pH, veća postojanost od klor.a
- Skladnost s okolišem – manje reakcije s organskim onečišćivalima.
- Stabilnost – neće se raspasti u skladištu što dovodi do ekonomične kontrole.²⁸

BetzDearborn Inc. je razvio halogeno otporan azol (HRA) koji ne reagira s klorom. Zbog nedostatka reaktivnosti bilo s klorom ili bromom, potrebno je manje svakog od halogena. Nadalje, potrebno je značajno manje HRA kako bi se zaštitio sustav hlađenja u usporedbi s TTA.² HRA molekula ima veći potencijal za reakciju s bakrom što pomaže prilikom smanjenja produkata korozije. HRA stvara komplekse u samoj prisutnosti halogena. To je jedini halogeno otporan na azol na svijetu.²⁹

Drugi Nalco proizvod razvijen je za rješavanje problema polimera koji se temelje na akrilamidima. Nalco je razvio novu tehnologiju polimerizacije koja je smanjila veličinu čestica. Čestice se zatim suspendiraju u vodenim otopinama amonijevog sulfata, anorganske soli. To omogućuje da istim aktivnim polimerima da budu dispergirani kao koloidi u otopini. Uklanjanje ulja eliminira opasnost po zapaljenje, rukovanje, transport te sigurnost radnika.²

4.6.1. Obrada celuloze i papira

Godišnje svjetsko tržište za izbjeljivanje celuloze iznosi približno \$50.000.000.000. Izbjeljivanje celuloze ovisi o sustavnom odvajanju lignina od celuloze, a kemijski procesi industrije celuloze i papira prvenstveno su usmejereni na razdvajanje tih dviju komponenata. U prirodi, proces biorazgradnje moguće je postići koristeći ligninazu, manganov peroksid i glioksal oksidazu. Kako bi se postigla ista oksidacija za koju priroda koristi O₂, u industriji se koriste spojevi klora, što rezultira nastajanjem fenolnih spojeva i organskih spojeva klora.²

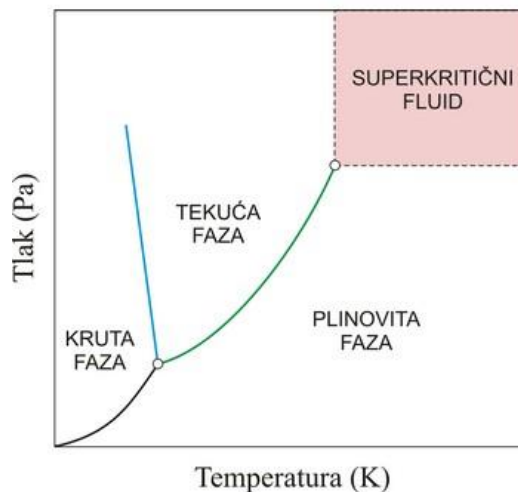
Dr. Terry Collins razvio je aktivator oksidacije nastao iz željeza dobivenog iz tetraamino-makrocikličkog liganda (Taml™). Kada se kombiniraju s vodikovim peroksidom u vodi, Taml poticatelj stvaraju reakciju identičnu reakciji oksidacije enzima u prirodi.³⁰

Craig Hill i Ira Weinstock razvili su katalitički pristup dizajniran da oponaša procese u prirodi. Proces koristi netoksične i jeftine tvari koje se nazivaju poliokso-metalati. Prvo, lignin je uklonjen iz drvene pulpe kroz oksidaciju s poliokso-metalima. Zatim se dodaje kisik za izbjeljivanje alkohola i isti poliokso-metalat katalizira mineralizaciju otopljenih fragmenata lignina. Rezultat je proces bez otpadne vode.²

4.6.2. Proizvodnja poluvodiča

Većina ogromne količine vode koja se troši u proizvodnji poluvodiča koristi se za čišćenje u više faza postupka fotolitografije. Ova voda je tipično deionizirana i stoga je značajna energetska investicija. Kako se proizvodnja čipova pomiče u finije i finije skalirane strukture, površinska napetost tekućina više ne dopušta sprečavanje difuzije. Za smanjenje površinske napetosti se mogu koristiti surfaktanti, ali to zahtijeva naknadni korak ispiranja i sušenja, što zahtijeva dodatnu količinu vode.²

Nacionalni laboratorij Los Alamos je razvio pristup koji zamjenjuje konvencionalne čiste tehnike sa superkritičnim CO₂ (SCCO₂). SCCO₂ (Slika 21) nudi niz prednosti za rješavanje novih procesa u ovom području. Svojstva slična plinu, visoka difuzivnost i niska viskoznost dopuštaju da SCCO₂ tekućina postigne poboljšanja na ovom području.³¹



Slika 21. Superkritični CO₂³¹

4.6.3. Obrada fotografija

Milijarde fotografija koje su se razvile svake godine putem srebrnog halidnog procesa koriste prije svega vodene procese koji proizvode ogromne količine kemijskog, čvrstog i tekućeg otpada. Samo u Sjedinjenim Državama više od 400 milijuna galona slatke vode šalje se na pročišćavanje nakon pojedinačne uporabe u procesu razvoja. Ova voda sadrži do 15 milijuna litara kemijskog fotografskog razvijaa opterećenog kontaminantima kao što su hidrokinon, amonijak i srebro. DuPont DuCare® sustav najprije smanjuje količinu vode za

pranje 99% šaljući upotrebljenu vodu u fiksator. Zatim sustav zamjenjuje tradicionalni hidrokinon razvijen od eritorbinske kiseline, od čega se 75% reciklira. Developer i recyclable fixer se zatim vraćaju u središnji pogon gdje se srebro oporavlja do 99% učinkovitosti.

4.6.4. Proizvodnja farmaceutika

Problemi lijekova i opasnih supstanci u otpadnim vodama sve je veći, a kako bi se oni umanjili, globalne farmaceutske organizacije uvode nove tehnologije. Primjerice, . Roche Colorado Corporation proizvodi antivirusno sredstvo ganciklovir (Cymovene®) za liječenje bolesnika čiji su imunološki sustavi ugroženi, uključujući i one s AIDS-om. Zamjenom procesa guaninskog triestera (GTE),³³ Roche je smanjio broj kemijskih reagensa i međuprodukata s 22 na 11, povećao prinos proizvoda za više od 25%, te eliminirao (jedini) opasni kruti otpad i uklonio 11 različitih kemikalija iz opasnih tekućih tokova otpada; od kojih 5 sastojaka nisu ugrađeni u konačni proizvod, 4 sastojaka učinkovito je reciklirano i ponovno korišteno. Modificiranjem proizvodnog procesa, tvrtka je uspjela povećati proizvodnju bez novih troškova ekspanzije kapitalnih poduzeća, istovremeno eliminirajući značajne ekološke obveze.²

5. ZAKLJUČAK

Zelena kemija ima ključnu ulogu u kemijskoj industriji osiguranja veće učinkovitosti i smanjenja onečišćenja.

Idealna kemijska reakcija trebala bi imati visoki kvantitativni prinos, niske troškove i bez štetnog otpada.

Razvoj i primjena zelene kemije rezultirat će i poboljšanom kvalitetom života u cjelosti.

Nedavni patenti koji se primjenjuju za obradu otpadnih voda pokazuju poboljšanja u smislu lakšeg rada, pouzdanosti, troškova, veličine, održivosti i poboljšane kakvoće vode.

S porastom potražnje za pitkom vodom i zahtjevima za poboljšanjem kvalitete, strožim propisima za ograničenja ispuštanja otpadnih voda te o ekološkoj svijesti o utjecaju na kvalitetu vode, istraživanje i razvoj voda i tehnologija otpadnih voda će se povećati u narednim godinama.

Nedavni trendovi upućuju na to da će postojati novi zahtjevi za praćenjem i reguliranjem novih skupina onečišćenja koja se trenutno ne reguliraju.

U bliskoj budućnosti, tehnološki napredak će vjerojatno biti usklađen s očekivanim zahtjevima za poboljšanje kvalitete vode.

Uz napredak u znanosti o materijalima, nano tehnologiji i informacijskoj tehnologiji, doći će do novih kretanja na pomoću filtriranja membrana, metoda dezinfekcije i oksidacije kao i metoda upravljanja vodama pomoću informacijskih i telekomunikacijskih tehnologija.

6. LITERATURA

1. Tansel, B. *New Technologies for Water and Wastewater Treatment: A Survey of Recent patents* (2007)
2. Bianca Aparecida de Marco, Bárbara Saú Rechelo, Eliane Gandolpho Tótolí, Ana Carolina Kogawa [†], Hérica Regina Nunes Salgado, (2018.) *Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review*
3. Šušić, M. (2016.) *Pročišćavanje otpadnih voda grada Belog Manastira*, Diplomski rad, Građevinski fakultet
4. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, NN 80/13, 43/14, 27/15 i 3/16
5. Jendričko, V. (2015.) *Pročišćavanje otpadnih voda*, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu
6. Vuković Ž. *Osnove hidrotehnike*, Prvi dio, Druga knjiga, Aquamarin, Zagreb, 1994
7. Degremont G. *Tehnika pročišćavanja vode*, Građevinska knjiga, Beograd 1976
8. Tušar B. *Pročišćavanje otpadnih voda*, Zagreb, 2009
9. G. Brundtland (Ed.), *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development (WCED)*, Oxford University Press, Oxford, 1987
10. M. Lancaster, *Green Chemistry: an Introductory Text*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 2002
11. M.M. Kirchhoff, *Promoting sustainability through green chemistry*, Resources, Conserv. Recycl. 44 (2005) 237–243
12. P.T. Anastas, E.S. Beach, *Changing the course of chemistry* (ch. 1), in: P.T. Anastas, I.J. Levy, K.E. Parent (Eds.), *Green Chemistry Education, Changing the Course of Chemistry*, (American Chemical Society (ACS) Symposium Series 1011), ACS, Washington, DC, 2009
13. Anastas, P.T., 1999. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 29, 167–175 članak
14. Anastas, P.T., Warner, J.C., 1998. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press, New York
15. Djamel Ghernaout, Badiia Ghernaout ^b, Mohamed Wahib Naceur ^a, *Embodying the chemical water treatment in the green chemistry—A review 2010*
16. J. García-Serna, L. Pérez-Barrigón, M.J. Cocero, *New trends for design towards sustainability in chemical engineering: green engineering*, Chem. Eng. J. 133 (2007) 7–30
17. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es032373g>
(pristup 26.8.2018.)

18. *Green Engineering*; Anastas, P. T., Heine, L., Williamson, T. C., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 2000
19. BélaTörök. TimothyDransfield, (2018)*Green Chemistry: Historical Perspectives and Basic Concepts*
20. Jukić, Marijana; Đaković, Senka; Filipović-Kovačević, Željka; Kovač, Veronika; Vorkapić-Furač, Jasna.,*Dominantni trendovi "zelene" kemije*
21. B. M. Trost, in:P. T. Anastas, T. C. Williamson (Eds.), *Green Chemistry: Frontiers in Benign Chemical Syntheses and Processes*, Ch. 6, Oxford University Press, New York, 1998, str. 101–122
22. Mobil Technology Company, The Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program, Summary of 1997 Award Entries and Recipients, EPA 744-S-97-001, US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics, Washington, DC, 1997
23. N.J.D. Graham, *Improving sustainability and quality in urban drinking water supplies*, 2001 International Conference on Sustainable Development and Green Enterprises, Macao, Nov. 1–3, 2001, MACAU G.E, 2001, pp. 227–238
24. C.H. Neoh, Z.Z. Noor, N.S.A. Mutamim, C.K. Lim, *Green Technology in Wastewater Treatment Technologies: Integration of Membrane Bioreactor with Various Wastewater Treatment Systems*, *Chemical Engineering Journal* (2015)
25. J. Lerou, A.L. Tonkovich, L. Silva, S. Perry, J. McDaniel, *Microchannel reactor architecture enables greener processes*, *Chem. Eng. Sci.* 65 (2010) 380–385
26. A. Becaria, D.K. Lahiri, S.C. Bondy, D. Chen, A. Hamadeh, H. Li, R. Taylor, A. Campbell, *Aluminum and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain*, *J. Neuroimmunol.* 176 (2006) 16–23
27. J.R. Walton, *A longitudinal study of rats chronically exposed to aluminium at human dietary levels*, *Neurosci. Lett.* 412 (2007) 29–33
28. <https://www.ecolab.com/offerings/cooling-water-bio-control/stabrex-antimicrobial-technology> (pristup 28.8.2018.)
29. <https://www.suezwatertechnologies.com/sites/default/files/documents/cp101.pdf> (pristup 28.8.2018.)
30. <https://www.cmu.edu/igs/> (pristup 31.8.2018.)
31. *CO₂-Based Supercritical Fluids as Replacements for Photoresist Stripping Solvents*. B. Rubin, L.B. Davenhall, C.M.V. Taylor, L.D. Sivils, T. Pierce, Physical Organic Chemistry Group (CST-12) Los Alamos National Laboratory, Los Alamos,

New Mexico 87545, Karl Tiefert, Environmental Project Manager The Hewlett-Packard Co., Inc., Santa Clara, California 95054-3292

32. Mika Sillanpää, *Natural organic matter in water*, knjiga, 2015

33. © 2001 IUPAC, Pure and Applied Chemistry 73, 1237-1241 1240 D.L. HJERESSEN

7. ŽIVOTOPIS

Laura Šoić, [REDACTED] Osnovnu školu upisuje 2001. godine u Samoboru, a 2009. Upisuje opću gimnaziju “Antun Gustav Matoš”. Nakon položene državne mature upisuje Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.

Tijekom fakultetskog obrazovanja odradila je stručnu praksu u tvrtki Pliva d.o.o. u veljači 2018. godine pod vodstvom mentorice Ane Stanišak. Demonstrator je na zavodu za Fizikalnu kemiju.