

## Utjecaj površinski aktivnih tvari na okoliš

### *Impact of surfactants on the environment*

<sup>1</sup>Nada Glumac, <sup>2</sup>Nikola Sakač, <sup>3</sup>Magdalena Remetović, <sup>4</sup>Marija Jozanović,

<sup>5</sup>Nikolina Novotni-Horčička

<sup>1</sup>Međimurske vode d.o.o. Čakovec, Matice hrvatske 10, 40 000 Čakovec, Hrvatska

<sup>2,3</sup>Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

<sup>4</sup>Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, Ulica cara Hadrijana 8a, Osijek, Hrvatska

<sup>5</sup>Varkom d.d., Trg bana Jelačića 15, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** *Površinski aktivne tvari ili tenzidi su tvari koje smanjuju površinsku napetost tekućine. Sastoje se od hidrofilnoga i hidrofobnoga dijela i upravo zbog toga imaju tendenciju skupljanja na granici dviju faza. Velika primjena površinski aktivnih tvari u različitim granama industrije i kućanstvu potaknula je pitanje o utjecaju tenzida na okoliš, ali i na ljudsko zdravlje. Zbog sve veće primjene tenzida raste i njihova potreba za proizvodnjom pa godišnja svjetska proizvodnja tenzida iznosi oko 23 milijuna tona. Prema hidrofilnim skupinama unutar strukture tenzida dijele se na: anionske, kationske, neionske i amfolitske. Iako je danas većina tenzida biorazgradiva i ekološki prihvatljiva važno ih je kvantificirati jer svojim svojstvima lako dospijevaju u okoliš. Njihov najveći problem je toksično djelovanje, akumulacija u mikroorganizmima, biljkama, životinjama, sedimentu i tlu. Muljem i tekućinama dospijevaju u tla, a nepoznatim putem u atmosferu.*

**Ključne riječi:** *površinski aktivne tvari, onečišćujuće tvari, okoliš*

**Abstract:** *Surfactants are substances that reduce the surface tension of a liquid. They consist of a hydrophilic and a hydrophobic part and that is why they tend to shrink at the boundary between the two phases. The large use of surfactants in various industries and households has raised the question of the impact of surfactants on the environment, but also on human health. Due to the increasing use of surfactants, their need for production is growing, so the annual world production is about 23 million tons. According to hydrophilic groups within the structure of surfactants are divided into: anionic, cationic, nonionic and ampholytic. Although today most surfactants are biodegradable and environmentally friendly, it is important to quantify them and because of their properties they can easily reach the environment. Their biggest problem is toxic effects, accumulation in microorganisms, plants, animals, sediment and soil. By sludge and liquids they reach the soil, and in an unknown way into the atmosphere.*

**Key words:** *surface active agents, pollutants, environment*

## **1.UVOD**

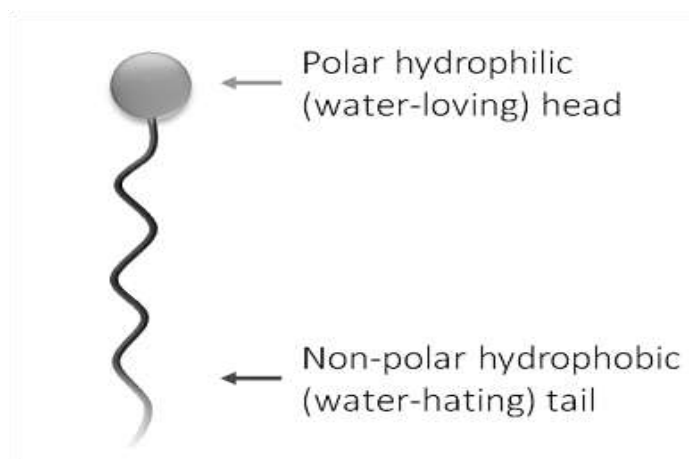
Prije dvadeset godina vrlo malo ljudi bilo je zabrinuto za onečišćenje okoliša i klimatske promjene. Danas je poznato više tisuća onečišćujućih tvari u okolišu, među kojima se najčešće nalaze i površinske aktivne tvari ili tenzidi. Tenzidi su organski spojevi koji smanjuju napetost površine. Sastoje se od molekula s polarnim (hidrofilnim) “glavama“ i nepolarnim (hidrofobnim) “repovima“ sa svojstvima samoudruživanja i adsorpcije zbog čega smanjuju površinsku napetost, stvaraju pjenu, vežu se na nečistoće. Prema hidrofilnim skupinama koje se nalaze unutar strukture tenzida dijelimo ih u četiri skupine: anionski, kationski, amfolitski i neionski. Površinske aktivne tvari imaju široku primjenu u domaćinstvu i industriji za pranje, čišćenje, emulgiranje, dispergiranje, dezinfekciju, koaguliranje, pjenjenje. Primjena i razvoj površinski aktivnih tvari su u stalnom porastu, dok potrošnja prati industrijski razvoj. Njihov negativni učinak zabilježen je u svim sastavnicama okoliša. Cilj ovoga rada je prikazati osnovne karakteristike i svojstva tenzida te ukazati na njihov štetan utjecaj na okoliš, na žive organizme i njihova staništa prvenstveno na vodenu floru i faunu.

## 2. POVRŠINSKI AKTIVNE TVARI

Površinski aktivne tvari ili tenzidi (eng. *Surfactant*) organske su molekule specifičnih svojstava koje se otopljene ili dispergirane u tekućini adsorbiraju na graničnoj površini uslijed čega dolazi do fizikalno-kemijskih i kemijskih pojava koje imaju praktično značenje.

Sastoje se od dva dijela: polarnoga (hidrofilnoga, lipofobnoga ili oleofobnoga) te nepolarnoga (hidrofobnoga, lipofilnoga ili oleofilnoga). Polarni dio najčešće se naziva „glava“ molekula sastavljena od kisika i prikazuje se kao krug. Hidrofilne glave su električki pozitivno ili negativno nabijene, ili neutralno polarne skupine koje teže k vodi. Osim kisika hidrofilni dio može biti sastavljen od karboksilne skupine, sulfatne skupine ili kvaternih amonijevih iona ovisno o vrsti tenzida. Hidrofobni dio tvori dugački ugljikovodični lanac najčešće od 8 do 20 atoma ugljika zbog čega su tenzidi alifatske molekule (Madunić-Čačić, 2008.) Nepolarni dio naziva se repom molekule i prikazuje se kao ravna ili cik-cak linija ovisno o razmještaju atoma te o njemu ovise fizikalno-kemijska svojstva tenzida (Farn, 2006.). Ako prevladava hidrofobni dio, tenzid je slabo topljiv u vodi te mu je smanjena sposobnost močenja i pranja. Odnos hidrofobnoga i hidrofilnoga dijela u molekuli određuje njegovu topivost u vodi, a odnos mora biti takav da nije ni slabo, niti jako topiv u vodi. Struktura molekule tenzida prikazana je na slici 1.

**Slika 1.** *Struktura tenzida*

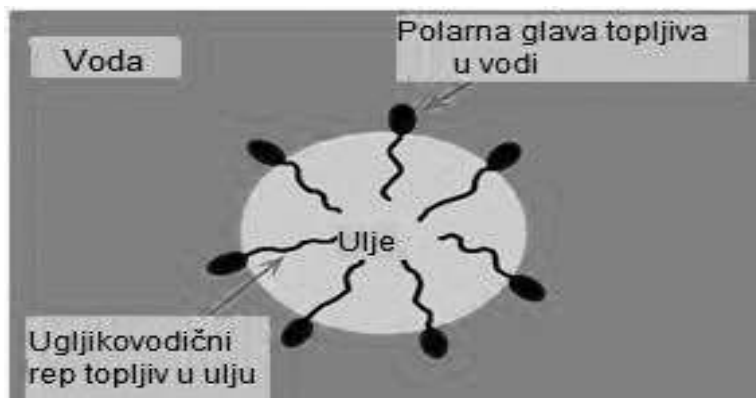


*Izvor: <http://www.bristol.ac.uk/chemistry/research/eastoe/what-are-surfactants/>*

Zahvaljujući svojoj strukturi, tenzidi imaju dvije važne osobine: adsorpciju i agregaciju (samoudruživanje). Adsorpcija je pojava da se na graničnoj površini između dviju faza sakupljaju molekule tenzida zbog suprotnih sila unutar iste molekule. Adsorpcija

rezultira svojstvima kao što su topljivost, kvašenje, pjenjenje, emulgiranje, disperzija itd. Tenzidi se obično nalaze na granici uljne i vodene faze. Hidrofobni repovi molekula tenzida u vodenoj otopini okružuju česticu nečistoće, dok su hidrofilne glave u kontaktu s okolnom vodom i na taj način se nečistoće uklanjaju s tkanine (Slika 2.).

**Slika 2.** Adsorpcija tenzida između uljne faze i vode

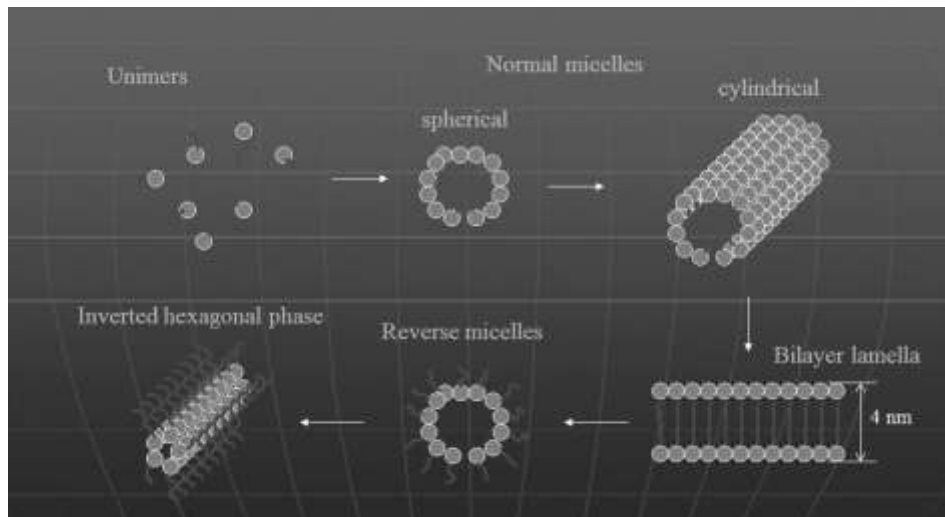


*Izvor: Marijo Čičak, Određivanje anionskih tenzida u čistim sustavima novim potenciometrijskim senzorom, završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, 2014*

Agregacija (samoudruživanje) druga je važna osobina tenzida koja uzrokuje spontano i reverzibilno preslagivanje molekula tenzida u organizirane strukture, a te strukture mogu biti micelle, dvosloji i tekući kristali. Tenzidi u otopini mogu postojati kao monomeri tj. zasebne molekule sve dok ne dosegnu određenu koncentraciju koja se naziva kritična koncentracija za stvaranje micela ili CMC (eng. *Critical Micelle Concentration*). Ako je koncentracija površinske aktivne tvari manja od CMC, u otopini su monomeri. Povećanjem koncentracije tenzida u otopini, smanjuje se prostor na površini na kojoj se nalaze tenzidi te se monomerne jedinice počinju nakupljati u većem broju. Budući da su hidrofobni repovi netopljivi u vodi, monomerne jedinice koje se nalaze u otopini počinju se udruživati i time se smanjuje međudjelovanje hidrofobnih repova s vodom pa se stvaraju agregati tj. micelle. U jednoj miceli se nalazi nekoliko desetina do nekoliko stotina, molekula tenzida. Stvaranje micela omogućuje glavi tenzida da bude u polarnom djelu otopine (u vodi), a repu u nepolarnom djelu otopine (ulju, nečistoće) (Sak, Bosnar, 2009). Micelle se mogu pronaći u različitim strukturama što ovisi o sredini u kojoj se nalaze monomeri. Ako su monomeri u polarnoj sredini onda će tvoriti kuglaste, cilindrične ili laminarne strukture, ako su u nepolarnoj sredini

tvorit će obrnute micelle i obrnutu heksagonalnu fazu kao što je prikazano na slici 3. Oblik koji će zauzeti ovisi i o pH vrijednosti i temperaturi.

**Slika 3.** Stvaranje agregata tenzida



Izvor: <http://www.kemija.unios.hr/old/web/nastava/nastavni>

## 2.1. Klasifikacija tenzida

Kao što je već spomenuto u uvodu tenzidi se dijele u 4 skupine na temelju njihovih elektrokemijskih svojstava: anionski, kationski, neionski i amfolitski. Anionski i neionski tenzidi sastav su brojnih proizvoda za čišćenje i pranje, dok se kationski tenzidi koriste za dezinfekciju.

### 2.1.1. Anionski tenzidi

Anionski tenzid disocira u vodi tako što hidrofilni dio tenzida pokazuje anionske učinke, odnosno u vodenim otopinama daje negativno nabijene površinski aktivne organske ione. Ova vrsta tenzida čini 59 % ukupne svjetske proizvodnje. Anionski tenzidi su visoko-pjeneće površinski aktivne tvari i ovo obilježje dolazi do izražaja iznad njihove kritične micelarne koncentracije. Djelotvorniji su od ostalih vrsta tenzida, posebice za uklanjanje zaprljanja s prirodnih tkanina. Lako se raspršuju i kao takvi se koriste u praškastim detergentima. Osjetljivi su na tvrdoću vode, zbog toga je tvrdoj vodi potrebno dodavanje tvari koje

kompleksiraju kalcij i magnezij (Sak-Bosnar). Predstavnici anionskih tenzida su: sapuni, alkilbenzensulfonati, alkil sulfati, alkil sulfonati, silikoni, masni alkoholi sulfata, alkil alkoholni amidi, alkil sulfonska kiselina acetamida, amino alkoholi alkilbenzen sulfonata. Primjer dvaju najpoznatijih tenzida su: alkil-benzensulfonat (ABS) koji posjeduje razgranati lanac zbog čega se teško razgrađuje. Njegova upotreba u razvijenim zemljama je ograničena samo na slučajeve kada njegova primjena nije masovna i stoga neće izazvati zagađenja prirodnih vodotokova (npr. kao emulgatori u poljoprivrednim proizvodima). Linearni alkilbenzensulfonat (LAS) s ravnim lancem može se brzo i lako razgraditi, jeftin je i ima široku primjenu. Koriste se kao sastavni dio praškastih deterđenata, proizvoda za osobnu higijenu, sredstava za čišćenje, u tekstilnoj industriji i kozmetici. Sapuni su najpoznatija sredstva koja sadrže anionske tenzide (Gudlin, 2016.).

### **2.1.2. Kationski tenzidi**

Kationski tenzidi površinski su aktivne tvari koje imaju jednu ili više funkcionalnih skupina, koje u vodenim otopinama ioniziraju dajući pozitivno nabijene površinski aktivne organske ione. Od ukupno proizvedenih tenzida na kationske otpada 7 % proizvodnje. Najpoznatiji su kvaterni amonijeve spojevi. Ovakve molekule sadrže barem jedan hidrofobni ugljikovodični lanac povezan s pozitivno nabijenim dušikovim atomom te druge alkilne skupine kao što su metilna i benzilna skupina. Dobro podnose promjene pH, a u anaerobnim uvjetima su biorazgradivi. Zbog antimikrobnih, baktericidnih, antikorozijskih i antistatičkih svojstava često se koriste u industriji, dezinfekcijskim, kozmetičkim i farmaceutskim proizvodima, sredstvima za čišćenje, algicidnim sredstvima te sredstvima za suzbijanje plijesni. (Majić, 2017.)

### **2.1.3. Neionski tenzidi**

Neionski tenzidi su površinske aktivne tvari koje ne disociraju u vodenim otopinama. Oni su zapravo etoksilati masnih kiselina i njihova topljivost u vodi potječe od funkcijskih skupina s jakim afinitetom prema vodi. Međutim, u svijetu se proizvode i koriste mnogi drugi kao npr. esteri šećera, alkil fenoli, alkaloamidi, aminski oksidi i polioli. Danas se najviše koriste alkoholni etoksilati. Prije svega to su etoksilati masnih alkohola kod kojih se može mijenjati dužina lanca i broj alkoksilatnih skupina čime se povećava biorazgradnja. Najveća skupina etoksiliranih produkata su esteri masnih kiselina koje se dobivaju prirodnim putem. Ovakvi esteri vrlo su podložni hidrolizi što ograničava njihovu upotrebu u sredstvima za pranje, ali ih se koristi u većoj mjeri u ostalim dijelovima kozmetičke industrije. U neionske tenzide se

ubrajaju i amino etoksilati koji se dobivaju iz primarnih amina i etilen oksida (Farn, 2006.). U svjetskoj proizvodnji tenzida zauzimaju drugo mjesto s učešćem od 33 %. Neionski tenzidi se najčešće koriste u proizvodima kao što su deterdženti za rublje, proizvodi za čišćenje i pranje suđa te proizvodi za osobnu njegu. (Pajičić, 2018.)

#### **2.1.4. Amfolitski tenzidi**

Amfolitski tenzidi ponašaju se kao kationski ili anionski tenzidi u zavisnosti od uvjeta sredine u kojima se nalaze, prvenstveno o pH vrijednosti otopine. Ako se nalaze u kiseloj sredini, amfolitski tenzidi prelaze u kationski oblik, dok u lužnatim otopinama prelaze u anionski oblik. Postoje tenzidi koji ne mijenjaju naboj i neovisno o pH vrijednosti zadržavaju zwitterionsku strukturu koja sadrži jednak broj pozitivnih i negativnih naboj. Njihov kationski dio često se sastoji od kvaterne amonijeve soli, a anionski dio čine karboksilne, sulfatne ili sulfonske skupine. Glavni predstavnici amfolita su aminopropionati, iminodipropionati, imidazoli i betaini (Cross et al., 1994.). Koriste se u kućanstvu kao sredstva za čišćenje, sredstva za osobnu higijenu. Oni čine 1 % ukupne svjetske proizvodnje tenzida.

### **3. PRIMJENA I PROIZVODNJA TENZIDA**

Najstariji tenzid je sapun poznat još od doba starih Egipćana. Tenzidi mogu biti prirodnoga i sintetskoga porijekla. Sintetički tenzidi počeli su se proizvoditi u prvoj polovici dvadesetoga stoljeća.

U prirodne tenzide spadaju fosfolipidi od kojih su građene stanične membrane. Sintetski tenzidi nalaze se u brojnim proizvodima koje koristimo u svakodnevnom životu kao što su sredstva za pranje i čišćenje, farmaceutski proizvodi, kozmetika i boje. Površinski aktivne tvari koriste se za pranje i dezinfekciju u mnogim industrijskim granama: kemijskoj, tekstilnoj, prehrambenoj, naftnoj, poljoprivrednoj, farmaceutskoj, kozmetičkoj i brojnim drugima. Proizvodnja i potrošnja aktivnih tvari zbraja se u milijunima tona godišnje. U 2007. godini proizvedeno je 13 milijuna tona raznih vrsta površinski aktivnih tvari, a 2019. godini iznosi 22,8 milijuna tona. Posljednjih godina u zapadnoj Europi bilježi se potrošnja od 3 milijuna tona tenzida (Remetović, 2010.) U 2015. godini ukupna vrijednost tržišta proizvoda za čišćenje kućanstva i profesionalno čišćenje u Europi iznosila je oko 35,2 milijarde eura, dok je 2016. godine procijenjena na oko 35,6 milijardi eura. Do 2023. godine očekuje se da će

vrijednost tržišta narasti na oko 40 milijardi eura (Mićak, J. 2018.). Od svih površinski aktivnih tvari najviše se koriste anionski tenzidi koji se nalaze u sapunu, pasti za zube, praškastim i tekućim detergentima. Oni imaju i brojne industrijske primjene koje djeluju kao dobra sredstva za čišćenje, lako su topljivi u vodi i jeftini. Najčešći anionski površinski aktivne tvari su alkilsulfati i alkilbenzensulfonati. Studijama koje su provedene u industrijski razvijenijim dijelovima svijeta (uključujući zapadnu Europu, Sjedinjene Američke Države i Japan) ustanovljeno je da se ovi proizvodi najčešće koriste u čišćenju i pranju rublja (48,3 %), u kozmetici i farmaceutskim proizvodima (7,7 %) i rudarskoj industriji (7,7 %), a imaju i brojne primjene u tekstilnoj industriji, industriji boja, prehrambenoj i polimernoj industriji (Sanchez, 2005.). Vjerojatno će tijekom sljedećih godina neionski i amfotermni tenzidi postupno uzimati mjesto anionskih surfaktanata, dok će se kationski surfaktanti nastaviti koristiti u malom, specijaliziranom segmentu tržišta.

#### **4. UTJECAJ NA OKOLIŠ**

Tenzidi pokazuju izrazitu biološku aktivnost. Anionski tenzidi mogu se povezati s bioaktivnim makromolekulama poput peptida, enzima i DNA. Vežanje s proteinima i peptidima može promijeniti preklapanje polipeptidnog lanca i površinski naboj molekule pa to može izmijeniti biološku funkciju (Cserháti et al., 2002.). Kationski tenzidi primarno djeluju na citoplazmatsku membranu bakterija. Neionski tenzidi djeluju antimikrobno vezanjem na razne proteine i fosfolipidne membrane. Takvim povezivanjem povećava se propusnost membrana i vezikula, uzrokujući propuštanje spojeva niske molekulske mase. Ovo može rezultirati propadanjem stanice ili oštećenjem zbog gubitka iona ili aminokiseline (Hajduković, 2016.).

Zbog svakodnevnoga korištenja proizvoda koji sadrže tenzide u domaćinstvu i industriji velike količine tenzida završe u okolišu ( tlo, voda, sedimenti). Pojedine vrste tenzida imaju velik utjecaj na ekosustav (Remetović, 2020.), a negativni učinak se najviše odražava na bakterije, alge i ribe pa se zbog toga ti organizmi koriste za testiranje na toksičnost (Ivanković i Hrenović, 2010.). Najviše tenzida pronađeno je u biljkama koje su tretirane otpadnom vodom, ali i u sedimentu u tlu, a posebice u kanalizacijskom mulju zbog problema odlaganja takvoga mulja. Kationski i amfotermni tenzidi su najveća opasnost jer su visoko toksični. Prvi sintetički deterdženti nisu bili biorazgradivi i bili su velika onečišćivala okoliša. S razvojem tehnologije, ali i svijesti čovjeka, počela je proizvodnja biorazgradivih deterdženata.



Otkriveno je da su linearni alkilbenzensulfonati lakše razgrađuju i da se manje talože od razgranatih alkilnih lanaca, pa se sve više koriste u komercijalnim deterdžentima (Myers,1999.).

Ozbiljna onečišćenja i akumulacija tenzida u rijekama, morima i ostalim vodenim tokovima posljedica su široke primjene tih tvari. Primijećene su značajne varijacije u koncentraciji tenzida u vodenim tokovima ovisno o udaljenosti naselja, godišnjem dobu, gustoći morskoga prometa, intenzitetu istraživanja nafte i plina u priobalju te ispuštanju kanalizacije (Cserhádi at al., 2002.). Kada koncentracija površinski aktivnih tvari dosegne 0,1 mg/l stvara se pjena koja ima negativan učinak na okoliš. Tenzidi također imaju i određene negativne učinke na površinske vode, a to su: smanjenje koncentracije kisika, smanjenje kvalitete vode zbog pjene koja nastaje, smanjeno je samopročišćavanje rijeka, apsorbiraju se na krute čestice onemogućavajući sedimentaciju, utječu na prijenos plinova među bakterijskim stanicama te već spomenuta toksičnost na vodene životinje. Također dolazi do poremećaja fotosinteze zbog slabijega prodiranja svjetlosti u dublje slojeve i toksičnoga učinka tenzida na alge i njihove biomase (Cross at Singer,1994.). U Republici Hrvatskoj granične vrijednosti za anionske i neionske tenzide iznose 1mg/l za površinske vode i 10 mg/l za otpadne vode, dok za kationske tenzide iznosi 0,2 mg/l za površinske vode i 2 mg/l za otpadne vode (Pravilnik o graničnim vrijednostima emisije otpadnih voda (N.N.26/20). Podzemne vode mogu se zagaditi najčešće anionskim detergentima ukoliko se otpadna voda ne pročišćava (Cserhádi at al., 2002.). Zbog njihove topljivosti u vodi, površinske aktivnosti i postojanosti nekih poznatih metabolita, tenzidi spadaju u grupu onečišćivala koji se moraju posebno pratiti.

Štetan učinak na vodene organizme osobito na bakterije, alge, rakove, puževe, ribe i vodozemce ovisi o koncentraciji aktivnih tvari u vodi, vrsti tenzida, fizikalno-kemijskim parametrima i prisutnosti ostalih onečišćivala. Visoka koncentracija narušava hranidbeni lanac, smanjuje se primarna produktivnost vodenih organizama zbog razmnožavanja bakterija i algi. Toksičnost za vodene organizme određenih površinski aktivnih tvari iznosi 0,4-40 mg/l (Rebello at al., 2014.). Neželjeni učinci tenzida na vodene ekosustave potaknuli su razvoj bioloških testova za procjenu toksičnoga učinka. Posebna važnost pridaje se vodenbuhi *Daphnia magna*, algama i svjetlećim bakterijama kao testnim organizmima. Odabir testnoga organizma određuje njihova visoka osjetljivost na onečišćujuće tvari, brzi prirast i brzo dobivanje rezultata (Evsyunina i at al., 2016.). Neke vrste tenzida pri nižim koncentracijam

moгу imati i povoljan učinak kao npr. povećavaju disanje bakterija (Cserháti at al., 2002.), a natrij dodecil-sulfat povećava rast vodene leće (Ivanković i Hrenović, 2010.).

Što se tiče tla tenzidi imaju značajan utjecaj na fizikalno-kemijske osobine tla kao i na biologiju tla. Vežanje tenzida u tlu ovisi o vrsti tla, temperaturi, pH sredine i kapilarnim silama u suhim tlima. Negativno nabijena tla i sedimenti vrše jaku adsorpciju pozitivno nabijenih tenzida inhibirajući biodegradaciju. Ova ista adsorpcija čini ih rijetko prisutnima u podzemnim vodama unatoč njihovoj dobroj topivosti. Isto tako sintetski izrađeni kationski tenzidi mogu biti poprilično toksični, no njihovo vežanje na negativno nabijene sedimente smanjuje tu biodostupnost živim organizmima samim time i toksičnost (Cross at Singer, 1994.). Usprkos tome ne umanjuje se toksično djelovanje na mikroorganizme i utjecaj na rast biljaka (Olkowska at al., 2014.). Tenzidi u tlo i biljke mogu dospjeti i preko mulja koji nastaje kao nusprodukt u procesu pročišćavanja otpadnih voda, a koji se koristi kao gnojivo u poljoprivredi.

Iz literaturnih podataka doznajemo da postoje podatci o prisutnosti površinski aktivnih tvari u atmosferi, ali su nejasni podatci o načinu ulaska i ponašanje tenzida u atmosferi. Postoji mogućnost ulaska preko aerosola i suspendiranih čestica te isparavanjem anionskih i neionskih tenzida. Površinski aktivne tvari koje se nalaze u aerosolima mogu utjecati na stvaranje i razvoj oblaka, što je povezano s učinkom hlađenja u atmosferi i klimatskim promjenama (Olkowska at al., 2014.).

Površinski aktivne tvari imaju utjecaj na sva živa bića pa tako i na čovjeka. One pokazuju interakcije s bjelančevinama, peptidima, aminokiselinama, fosfolipidima staničnih membrana i mikroorganizmima, mijenjajući njihovu strukturu i propustljivost, čime se ugrožava funkcija pa i uzrokuje smrt stanice. Vrsta oštećenja ovisi o broju ugljikovih atoma pa tako tenzidi s 18 (C18) ugljikovih atoma u lancu uzrokuju oštećenje stanica, dok C10 i C6 uzrokuju denaturaciju proteina i uništavanje membrane. U ljudskom organizmu kationski tenzidi mogu imati učinak na limfocite, a anionski na kožu i sluznice, organe za disanje. Veliki problem današnjice su dermatološki problemi uzrokovani tenzidima. Zbog velike primjene sredstava za osobnu higijenu koje se svakodnevno stavljaju na kožu izazivaju iritaciju kože, a nusprodukti mogu čak izazvati i alergijske reakcije. (Kotani at al., 1994.)

## 5.ZAKLJUČAK

Površinski aktivne tvari najčešće su korišteni spojevi u industriji, kućanstvu poljoprivredi, a nakon uporabe završavaju na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda ili izravno u okolišu (vode, tlo, atmosfera) gdje mogu proći brojne fizikalno-kemijske procese (npr. sorpcija, degradacija). Na taj način tenzidi i njihovi metaboliti mogu utjecati na biotičke i abiotičke čimbenike okoliša. Tenzidi prisutni u okolišu mogu se akumulirati u živim organizmima (bioakumulacija), što može imati negativan učinak poput toksičnosti na beskralješnjake, ribe, biljke, utjecaj na rast mikroorganizama i algi, poremećaj endokrine ravnoteže. Oni također uzrokuju povećanu topljivost organskih onečišćivala u vodenoj fazi, njihovu migraciju i nakupljanje u različitim dijelovima okoliša. Sudbina površinski aktivnih tvari u okolišu još uvijek nije do kraja poznata i prepoznavanje ovoga problema pridonijet će zaštiti živih organizama, kao i očuvanju kvalitete i ravnoteže različitih ekosustava.

## LITERATURA

1. Cross J.; Singer E.J. (1994). Cationic surfactants: Analytical and Biological Evaluation, Vol. 53, Marcel Dekker Inc., New York, str. 4-14 Marcel Dekker Inc., New York, str. 4-14.
2. Cserhádi T.; Forgács E.; Oros G.(2002). Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. *Environ Int* .28:337-48.
3. Čičak M. (2014.) Određivanje anionskih tenzida u čistim sustavima novim potenciometrijskim senzorom, završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju.
4. Evsyunina E.V., Taran D.O., Stom D. I., Saksonov M.N., Balayan A.E., Kirillova M.A., Esimbekova E.N., Kratasyuk V.A. (2016): Comparative Assessment of Toxic Effects of Surfactants Using Biotesting Methods. *Inland Water Biol* 9: 196-199.
5. Farn, R.J. (2006). Chemistry and technology of surfactants, Blackwell publishing, Oxford.
6. Gudlin K.(2016). Površinski aktivne tvari, Završni rad, Međimursko Veleučilište u Čakovcu.
7. Hajduković M. (2016). Određivanje anionskih tenzida u realnim sustavima metodom injektiranja u protok, specijalistički rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

8. <http://www.bristol.ac.uk/chemistry/research/eastoe/what-are-surfactants/>
9. Ivanković T.; Hrenović J.; (2010). Surfaktanti u okolišu, Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, Vol. 61, No. 1, str.95-110.
10. Kotani, M. Masamoto, Y. Watanabe, M.(1994). An alternative study of the skin irritant effect of an homologous series of surfactants, Toxic In Vitro, Vol. 8.
11. Madunić-Čačić D. (2008).Razvoj i konstrukcija novih potenciometrijskih senzora za anionske i neionske tenzide. Doktorska disertacija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
12. Majić, M.(2017). Utjecaj interferenata na karakteristike tenzidne grafitne elektrode, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju.
13. Mićak J.(2018). Određivanje anionskih tenzida direktnom potenciometrijom u komunalnim otpadnim vodama, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju.
14. Mićak, A.M.(2018). Ispitivanje utjecaja koncentracije senzorskog materijala na odzivne karakteristike tenzidnog senzora, diplomski rad,Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju.
15. Myers, D. (1999). Surfaces, Interfaces and Colloids, Principles and Applications, 2nd Edition, Wiley-VCH, New York.
16. Olkowska, E., Ruman, M., Polkowska, Z. (2014). Occurrence of Surface Active Agents in the Environment, Journal of Analytical Methods in Chemistry, Vol.2014.
17. Pajičić M. (2018). Ispitivanje odziva tenzidno-selektivnih elektroda na pseudokationske komplekse barijevog iona i etoksiliranih neionskih tenzida, završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju.
18. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisije otpadnih voda (N.N.26/2020).
19. Rebello, S., Asok, A.K., Mundayoor, S., Jisha, M.S. (2014): Surfactants: toxicity, remediation and green surfactants, Environ Chem Lett 12, 275–287.
20. Remetović M.(2020).Površinske aktivne tvari kao onečišćivala okoliša, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.
21. Sak-Bosnar, M. Odabrana poglavlja analitičke kemije, predavanja. Web izvor: [http://www.kemija.unios.hr/oldweb/nastava/nastavni materijali/odabrana\\_poglavlja\\_analitičke kemije/index.htm](http://www.kemija.unios.hr/oldweb/nastava/nastavni_materijali/odabrana_poglavlja_analitičke_kemije/index.htm) 1.09.2020.

22. Sak-Bosnar, M.; Madunić-Čačić, D.; Sakač, N.; Galović, O.; Samardžić, M.; Grabarić, Z.(2009). Potentiometric sensor for polyethoxylated nonionic surfactant determination, *Electrochimica Acta*, 55, str. 528-534.
23. Sánchez D J.; del Valle M.(2005). Determination of Anionic Surfactants Employing Potentiometric , *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 35:1, 15-29.