

Kemikalije u domaćinstvu – sredstva za čišćenje kao nevidljivi neprijatelji

B. Barusić, P. E. Leko, L. Milek, V. Sabolić i M. Miloloža Nikolić *

Ovo djelo je dano na korištenje pod
Creative Commons Attribution 4.0
International License



Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Trg Marka Marulića 19,
HR-10 000 Zagreb

Sažetak

Svakodnevno smo izloženi raznovrsnim kemijskim spojevima prisutnim u hrani, kozmetici, proizvodima za kućanstvo i okolini. Proizvodi za čišćenje, poput sapuna i deterdženata, često sadrže tvari koje se proizvode u velikim količinama. Njihova nepravilna uporaba može predstavljati rizike za zdravlje i okoliš. Česti kemijski sastojci u takvim proizvodima su amonijak, hlapljivi organski spojevi, kvaterni amonijevi spojevi, hipoklorit i izotiazolni ioni. Njihova upotreba može rezultirati raznim zdravstvenim tegobama, poput astme, iritacije kože i očiju te glavobolja. Tijekom pandemije COVID-19 primijećena je povećana upotreba dezinfekcijskih sredstava, što je dodatno povećalo izloženost tim kemijskim spojevima. One dopijevaju u okoliš kroz otpadne vode i isparavanjem, utječući na ekosustave. Istraživanja su pokazala toksični utjecaj tih tvari na testne organizme poput morske bakterije *Vibrio fischeri* i vodenbuhe *Daphnia magna*. Zbog toga su uvedene regulacije i politike za smanjenje njihove koncentracije te se istražuju alternative s manje toksičnim sastojcima. U radu će biti objašnjen sastav kemikalija u sredstvima za čišćenje, njihov utjecaj na ljude, organizme i okoliš te alternative koje se istražuju.

Ključne riječi

Kemijski spojevi, proizvodi za čišćenje, zdravlje, okoliš, toksičnost, alternativni sastojci

1. Uvod

Svakodnevno smo izloženi raznovrsnim kemijskim spojevima koje se nalaze u hrani, kozmetici, proizvodima za kućanstvo, lijekovima te u drugim okolišnim izvorima. Proizvodi za čišćenje, kao što su sapuni, deterdženti i proizvodi za osobnu higijenu prodaju se u velikim količinama diljem svijeta. S obzirom na velik broj proizvoda i različite načine izloženosti potrošača, važno je provesti tzv. postupak prioriteta, kojim bi se identificirali proizvodi i mogući scenariji uporabe takvih proizvoda koji zahtijevaju detaljnije procjene s obzirom na potencijalne rizike za zdravlje ljudi, opasnosti i izloženosti. Kemijski proizvodi za kućanstvo često se upotrebljavaju u različitim aktivnostima koje obuhvaćaju svakodnevni život, kao što su čišćenje, održavanje vrta pa sve do održavanja osobne higijene. Iako ti proizvodi imaju brojne prednosti, poput stvaranja higijenskog i zdravog okruženja, važno je imati na umu da njihova nepravilna upotreba može predstavljati određene rizike za naše zdravlje i okoliš.^{1,2} U domaćinstvima upotrebljavaju se razna sredstva za čišćenje, a tu su najzastupljenije tvari: amonijak (NH_3)³, hipoklorit (ClO^-)⁴, kvaterni amonijevi spojevi (engl. *quaternary ammonium compounds*, QAC)⁵, hlapljivi organski spojevi (engl. *volatile organic compounds*, VOC)⁶, ionski spojevi izotiazola⁷ i glikol eteri⁸. Kako se upotrebljavaju u osobne svrhe, tako se velikom većinom upotrebljavaju i u profesionalne svrhe čišćenja, a mogu izazivati razne tegobe kod ljudi. Astma, iritacija kože i očiju, glavobolje, problemi s plodnošću samo su neki od istraživanih učinaka kemijskih spojeva na ljude kao nevidljivih neprijatelja sredstava za čišćenje. Brojna su istraživanja otkrila povećanu upotrebu dezinfekcijskih sredstava tijekom pandemije koronavirusa (COVID-19), što je do-

datno povećalo izloženost ljudi na određene kemijske spojeve. Toksične tvari iz sredstava za čišćenje dopijevaju u okoliš putem otpadnih voda i isparavanja i time utječu na brojnost i rasprostranjenost organizama u okolišu. Provedena su mnoga ekotoksikološka istraživanja utjecaja toksičnih kemijskih spojeva na testne organizme poput morske bakterije *Vibrio fischeri*, slatkovodne vodenbuhe *Daphnia magna* i zelene alge *Pseudokirchneriella subcapitata*. Zbog velikog utjecaja kemijskih spojeva iz sredstava za čišćenje na okolišne organizme uvedene su regulacije i politike za smanjenje koncentracija toksičnih tvari. Porastom svijesti o štetnosti konvencionalnih sredstava za čišćenje, sve popularnija postaje i uporaba alternativnih sredstava za čišćenje, čiji utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje ispituju sve češće provedena istraživanja.

U ovom radu objasnit će se sastav kemijskih spojeva u sredstvima za čišćenje, njihovo dopijevanje u okoliš te toksični utjecaj na ljude i organizme u okolišu.

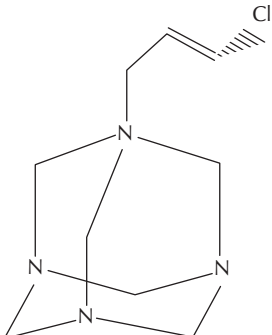
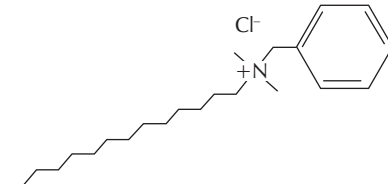
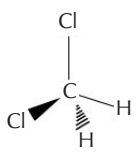
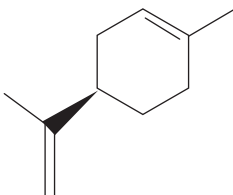
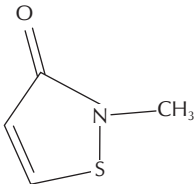
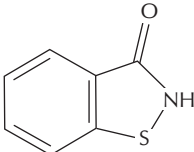
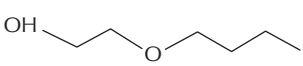
2. Sastav i klasifikacija kemikalija u sredstvima za čišćenje

Proizvodi u spreju za čišćenje i dezinfekciju sadrže složene kombinacije kemijskih spojeva koje se upotrebljavaju kao otapala, mirisi, dezinficijensi i tenzidi. Ti proizvodi oslobađaju kemijske spojeve u obliku plinova i aerosola, uključujući NH_3 , izbjeljivače, deterdžente, dezinficijense, sredstva za čišćenje stakla, sredstva za uklanjanje kamenca te osvježivače zraka, što može rezultirati izlaganjem potencijalno štetnim kemijskim spojevima tijekom uporabe.³ Glikol eteri i VOC-ovi jedni su od kemijskih spojeva sa širokom primjenom u otapalima i sredstvima za čišćenje u različitim industrijama.⁸ Dezinficijensi su postali široko

* Autor za dopisivanje: dr. sc. Martina Miloloža Nikolić
E-pošta: miloloza@fkit.unizg.hr

Tablica 1 – Tvari u sredstvima za čišćenje, njihova struktura i karakteristike

Table 1 – Substances present in cleaning agents, their structure and characteristics

Tvar Substance	Struktura Structure	Karakteristike Characteristics	Lit. Ref.
natrijev hipoklorit		Snažno oksidirajuće i klorirajuće sredstvo Nije zapaljiv, osim u dodiru s organskim tvarima (npr. papir, drvo, ulje) Upotrebljava se kao dezinficijens i sredstvo za izbjeljivanje u kućanstvu, prehrambenoj industriji i zdravstvu	4,9
kvaternij-15		Upotrebljava se kao surfaktant i konzervans u proizvodima poput šampona, sapuna, krema za tijelo i deterdženata za rublje Lipofilni, karcinogeni spoj sa sposobnošću odupiranja metaboličkom raspadu Laka apsorpcija u organizme – pojava dermatitisa u ljudi	10
benzalkonijev klorid		Primjena za dezinfekciju površina i higijenu ruku Upotrebljavaju se kao konzervansi u proizvodima poput nazalnih sprejeva i kapi za oči Široka biocidna aktivnost protiv bakterija, gljiva, algi i virusa	11
metilen klorid		Hlapljiva, bezbojna tekućina s mirisom sličnim kloroformu Upotrebljava se u industrijskim procesima poput sredstava za uklanjanje boje, odmašćivanja i čišćenja metala Upotrebljava se kao procesno otapalo u proizvodnji tekstila, insekticida, steroida, antibiotika i vitamina	12
D-limonen		Primjena u potrošačkim proizvodima zbog njegovog ugodnog mirisa i svojstava otapala	13
metilizotiazolinon		Upotrebljava se za kontrolu bakterija, gljiva i algi koje stvaraju sluz u tvornicama celuloze/papira, sustavima hlađenja i industrijskim procesnim vodama Ugrađuje se u ljepila, premaze, goriva, tekućine za obradu metala, boje i razne druge industrijske proizvode kao konzervans	14
1,2-benzizotiazolin-3-on		Heterociklični spoj koji sadrži sumpor Antimikrobno sredstvo – veza N–S reagira sa staničnim komponentama organizama, čineći ga učinkovitim biocidom u industrijama i kućanstvima	7
2-butoksietanol		Pronađen u sastavu proizvoda poput sredstva za čišćenje površina i prozora, sredstva za uklanjanje mrlja, hrđe, tinte i smole	8

upotrebljavani za dezinfekciju ruku i površina, a QAC-ovi se često upotrebljavaju kao aktivni sastojci u mnogim dezinficijensima.⁵ U tablici 1 prikazani su nazivi, strukture i karakteristike nekih od često spominjanih spojeva u sredstvima za čišćenje.

Temkin i sur.⁶ testirali su 30 proizvoda koji su među najpopularnijim na tržištu. Ukupno je otkriveno 736 različitih VOC-ova, pri čemu je 530 spojeva prekoračilo granice kvantifikacije laboratorija. Nadalje, izotiazolinonski spojevi upotrebljavaju se kao konzervansi i biocidi u proizvodima za kućanstvo i osobnu higijenu. U Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) ne postoje specifični propisi koji ograničavaju sadržaj 1,2-benzizotiazolin-3-ona (BIT), dok Europska unija preporučuje određena ograničenja.^{7,14} U tablici 2 prikazane su dopuštene koncentracije nekih od najčešće spominjanih kemijskih tvari u sredstvima za čišćenje.

Tablica 2 – Popis kemijskih tvari s dopuštenim koncentracijama u sredstvima za čišćenje

Table 2 – List of chemical substances with permitted concentrations in cleaning products

Tvar Substance	Dopuštena koncentracija Permitted concentration	Lit. Ref.
natrijev hipoklorit	10 – 15 %	15
kvaternij-15	0,2 %	16
benzalkonijev klorid	0,01 – 1 %	17
2-butoksietanol	10 – 60 %	18
1,2-benzizotiazolin-3-on	0,01 – 0,05 %	19
metilizotiazolinon	0,00075 – 0,0015 %	20

Istraživanja su pokazala prisutnost znatnih količina toksičnih metala poput kadmija (Cd) i olova (Pb) te alergijskih metala poput nikla (Ni), kroma (Cr) i kobalta (Co) u sredstvima za čišćenje, što predstavlja prijetnju okolišu, jer se ti metali ispuštaju u okoliš tijekom procesa pranja s minimalnom ili nikakvom obradom.²¹ U tablici 3 prikazane su koncentracije metala otkrivene prilikom istraživanja, pri čemu je željezo (Fe) najzastupljeniji metal u ispitivanim proizvodima.

Uporaba sredstava za čišćenje pridonosi emisijama štetnih tvari, ali postoje i drugi izvori, poput kuhanja, grijalica, osvježivača zraka, pesticida i građevinskih materijala. Njihovim ispiranjem putem odvoda dospijevaju u okoliš i doprinose kontinuiranom onečišćenju. S povećanom uporabom sredstava za čišćenje tijekom pandemije COVID-19 dolazi do negativnog utjecaja na učinkovitost obrade otpadnih voda i okolišnih sustava. Sporije razgrađivi spojevi uglavnom se uklanjaju pomoću aktivnog mulja s postrojenja, što također predstavlja dodatni rizik za okoliš.^{5,11} Slika 1 na primjeru izloženosti QAC-ovima objedinjuje u koje sve sfere života i okoliša dospijevaju kemikalije.

Tablica 3 – Koncentracije teških metala u ispitivanim proizvodima²¹

Table 3 – Concentrations of heavy metals in tested products²¹

Proizvodi Products	Teški metal Heavy metal	Koncentracija / $\mu\text{g g}^{-1}$ Concentration / $\mu\text{g g}^{-1}$
deterdženti	Cd	0,6 – 5,4
	Ni	6,5 – 15,0
	Fe	113 – 322
kruti sapun	Cd	0,5 – 2,2
	Ni	5,0 – 11,5
	Fe	162 – 434
tekući sapuni	Cd	0,4 – 2,5
	Ni	6,0 – 6,5
	Fe	62,4 – 92,9
sredstva za dezinfekciju ruku	Cd	1,6
	Ni	5,5 – 6,5
	Fe	95,4 – 145
kreme za ruke	Cd	1,6 – 1,7
	Ni	1,5 – 4,0
	Fe	144 – 207

3. Utjecaj sredstava za čišćenje na zdravlje ljudi

Sredstva za čišćenje važna su za održavanje higijene i čistoće, ali često uzrokuju zdravstvene probleme poput respiratornih problema, probavnih smetnji, iritacije očiju i kože te glavobolja, posebno kod profesionalnih čistača i osoblja u zdravstvenim ustanovama.^{22–28}

U tablici 4 navedeni su najčešći kemijski spojevi koji se nalaze u sredstvima za čišćenje koja svakodnevno upotrebljavamo te njihovi učinci na ljudsko zdravlje.

Kemijski ostaci sredstava za čišćenje mogu uzrokovati lošu kvalitetu zraka i ozbiljne zdravstvene probleme, poput astme, raka i iritacija kože i očiju.²⁴ Trovanja su često rezultat nepravilne kombinacije kemijskih spojeva zbog ljudskog neznanja i nepoštivanja uputa, što može rezultirati izloženosti plinovima visoke toksičnosti.^{23,24}

U istraživanju Tjalvin i sur.²⁹ otkrivena je dosljedna veza između majčine upotrebe sredstava za čišćenje i dezinficijensa na poslu prije začeća i pojave astme kod potomstva. To je prva studija u kojoj su se istraživali učinci majčine profesionalne izloženosti tim proizvodima na respiratorno zdravlje djece prije začeća. Nalazi istraživanja pridonose boljem razumijevanju međugeneracijskih učinaka. Budući da je uporaba tih proizvoda široko rasprostranjena, posebno kod žena u reproduktivnoj dobi, zabrinutost zbog njihovih štetnih učinaka dodatno je naglašena. Istraživanje, također, naglašava zabrinutost zbog potencijalno štetnih zdravstvenih učinaka sredstava za čišćenje i dezinficijensa, čak i u sljedećoj generaciji potomaka te podržava ideju da izloženost prije začeća može utjecati na fenotip potomstva.²⁹ Djeca koja su u dobi od 3 do 4 mjeseca bila



Slika 1 – Izloženost kvaternim amonijevim spojevima (QAC) od proizvoda do naših tijela i okoliša

Fig. 1 – Exposure to quaternary ammonium compounds (QAC) from products to our bodies and the environment

Tablica 4 – Kemijski spojevi prisutni u sredstvima za čišćenje te njihov utjecaj na zdravlje ljudi

Table 4 – Chemical compounds present in cleaning agents and their impact on human health

Kemijski spoj Chemical compound	Utjecaj na ljudsko zdravlje Impact on human health	Lit. Ref.
alkohol	nadraživanje kože, dermatitis, iritacija oka, astma	23,24
glutaraldehyd	astma, iritacija oka, plućne bolesti	24
etilen oksid	plućne bolesti	24
kvaterni amonijevi spojevi	problem s plodnošću, astma, iritacija oka	24,25
vodikov peroksid	astma, iritacija oka	24
natrijev hipoklorit	iritacija dišnog sustava, astma, iritacija oka, iritacija kože	24,26
formaldehid	neurološki učinci, rak	24
hlapljivi organski spojevi	atopija kože	27
*PM _{2,5} čestice	smetnje dišnog sustava	28

*PM = engl. *Particulate Matter*, PM, označavaju lebdeće čestice koje pripadaju skupini onečišćujućih tvari koje štetno djeluju na zdravlje ljudi, ali i na okoliš. 2,5 označava veličinu lebdećih čestica.

izložena sredstvima za čišćenje do svoje 3. godine imaju povećan rizik od razvijanja astme, piskaju u plućima te u nekim slučajevima atopije kože. Rizici tih ishoda bili su veći u kućanstvima koja često upotrebljavaju tekuće ili krute osvježivače zraka, sprejeve za osvježivanje zraka, sprejeve za prašinu, dezinficijense za ruke te sredstva za čišćenje pećnice.²⁷

3.1. COVID-19 – dezinficijensi

COVID-19 je promijenio život ljudi, što je dovelo do masovnog povećanja potrošnje dezinficijensa prema preporuci Svjetske zdravstvene organizacije. Međutim, zabrinutost raste zbog potencijalno štetnih učinaka tih sredstava koja sadrže kemikalije poput alkohola, fenola i aldehida. Preko-

mjerna upotreba tijekom pandemije rezultirala je štetnim posljedicama zbog njihove toksičnosti.²³ Prema istraživanju Chang i sur.,³⁰ od pojave COVID-19 u pozivnom centru SAD-a broj poziva vezanih za trovanja sredstvima za čišćenje i dezinficijensima porastao je za čak 20 % u odnosu na prethodnu godinu. U tablici 5 navedeni su rezultati tog istraživanja.³⁰

Tablica 5 – Brojnost poziva u pozivnim centrima SAD-a poradi trovanja dezinficijensima³⁰

Table 5 – Number of calls to poison control centres in the U.S. due to disinfectant poisoning³⁰

Dobna skupina / godine Age group / years	Brojnost poziva 2018.	Brojnost poziva 2020.
0 – 5	7588	8158
6 – 19	1803	2358
20 – 59	2659	4056
> 60	929	1455
nepoznato	560	1365
Put trovanja*		
gutanje	11714	13993
udisanje	540	1188
kontakt s kožom	1085	1695
iritacija očiju	984	1533
nepoznati put	89	147

* izloženost može imati više od jednog puta unosa

4. Ekološki utjecaj

Potrošnja sredstava za čišćenje u kućanstvima ima značajan utjecaj na okoliš, posebno na klimatske promjene, uporaba fosilnih resursa i potrošnju vode, pri čemu proizvodnja komponenti i faza uporabe predstavljaju ključne izvore tih utjecaja.³¹

U tablici 6 prikazane su faze životnog ciklusa kemijskih spojeva u kućanstvu.

Životni ciklus kemikalija obuhvaća faze proizvodnje, pakiranja, logistike, uporabe i kraja životnog vijeka. U fazi proizvodnje prikupljaju se sirovine i energija potrebna za izradu kemikalija, dok se pakiranje optimizira prema tipu proizvoda. Logistika uključuje međunarodni i lokalni prijevoz od proizvođača do trgovina i kućanstava. U fazi uporabe kemikalije se troše, a za one koje zahtijevaju dodatne resurse poput vode ili energije ti su utjecaji detaljno modelirani. Na kraju životnog ciklusa kemikalije prolaze tretman otpada, pri čemu se reciklabilne komponente izdvajaju za ponovnu uporabu, dok se preostali nerekicilirani otpad zbrinjava postupcima odlaganja ili spaljivanja.³¹

4.1. Ekotoksikološki testovi

U tablici 7 prikazan je utjecaj različitih kemijskih spojeva koje se nalaze u sredstvima za čišćenje na testne organizme. Natrijev hipoklorit (NaOCl) pokazuje visoku toksičnost za zelenu algu *Desmodesmus subspicatus* i slatkovodnu vodenbuhu *Daphnia magna* te morsku bakteriju *Vibrio fischeri*. LC₅₀ vrijednosti za bentoske maločetinaše vrste *Tubifex tubifex* izložene NaOCl bile su znatno više od onih za druge testne organizme.³²

Daphnia magna iznimno je osjetljiva na benzalkonijev klorid (BAC) i dialkil-dimetilamonijev spojeve (DADMAC), s najnižim EC₅₀ vrijednostima. Ekotoksikološka istraživanja na ribama pokazuju umjerenu do visoku toksičnost mnogih QAC-ova, s LC₅₀ vrijednostima za vrste *Brachydanio rerio* i *Pimephales promelas*.³⁵ Prema EPA-i (engl. Environmental Protection Agency) za alkildimetilbenzilamonijev klorid (ADBAC), koji pripada u QAC-ove, *Pimephales promelas* pokazuje LC₅₀ vrijednost od 0,28 mg l⁻¹, dok *Daphnia magna* pokazuje 48-satnu EC₅₀ vrijednost od 0,0058 mg l⁻¹.³⁶ Istraživanje Hora i sur.³⁷ naglašava rizike za ekosustav zbog trenutačnih i budućih koncentracija QAC-ova u površinskim vodama, s obzirom na procjenu predviđene koncentracije koja ne izaziva učinak. Analizom učinaka 2-butoksietanola (etilen glikol monobutil eter; EGBE) i njegovih acetata (EGBEA) na vodene organizme otkriveno je da

Tablica 6 – Sažetak faza životnog ciklusa kemijskih spojeva u domaćinstvu

Table 6 – Summary of life cycle stages of household chemical compounds

Proizvodnja komponenti	Proizvodnja	Pakiranje	Logistika	Upotreba	Kraj života
- prikupljanje sirovina - transport sirovina do mjesta proizvodnje	- potrošnja vode i energije - direktne emisije - nastanak i obrada otpada	- proizvodnja pakiranja - finalno odlaganje pakiranja	- internacionalni transport i import gotovog proizvoda - transport do prodavača	- transport proizvoda od prodavača do kupca - potrošnja energije i vode prilikom upotrebe	- konačno odlaganje proizvoda na kraju životnog vijeka - obrada otpadnih voda (deterdženti, proizvodi za osobnu njegu)

Tablica 7 – Tablični prikaz testnih organizama i parametara izloženosti kemijskom spoju

Table 7 – Tabular presentation of test organisms and exposure parameters to a chemical compound

Testni organizam Test organism	Kemijski spoj* Chemical compound*	Izloženost/h Exposure/h	Parametar Parameter	Vrijednost/mg l ⁻¹ Value/mg l ⁻¹	Lit. Ref.
<i>Vibrio fischeri</i>	NaOCl	0,5	EC ₅₀	0,084	32
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	EGBE	72	EC ₅₀	1840	33
<i>Desmodesmus subspicatus</i>	NaOCl	72	IC ₅₀	0,013	32
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	EGBEA	168	EC ₁₀ (repr)*	30,40	33
<i>Daphnia similis</i>	Triklosan BIT MIT	48	LC ₅₀	0,12 1,74 0,82	34
<i>Daphnia magna</i>	DADMAC	48	EC ₅₀	0,018	35
	BAC	24	EC ₅₀	0,0058	
	EGBE	24	EC ₅₀	1815	33
	Triklosan	48	LC ₅₀	0,18	34
	BIT	48	LC ₅₀	3,30	
	MIT	48	LC ₅₀	0,51	
<i>Brachionus calyciflorus</i>	EGBE	48	EC ₅₀	164	33
<i>Hydra vulgaris</i>	EGBE	72	LC ₅₀	690	33
<i>Neocaridina denticulata</i>	MIT BIT Triklosan	48	LC ₅₀	84,48 64,84 0,20	34
<i>Tubifex tubifex</i>	NaOCl	24	LC ₅₀	2,25	32
<i>Brachydanio rerio</i>	DADMAC	–	LC ₅₀	0,19	34
<i>Pimephales promelas</i>	BAC	–	LC ₅₀	0,28	35
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	EGBEA	96	LC ₅₀	20 – 40	33

* NaOCl – natrijev hipoklorit, EGBE – etilen glikol monobutil eter, EGBEA – etilen glikol monobutil eter acetat, BIT – benziotiazolinon, MIT – metilozotiazolinon, DADMAC – dialkil-dimetilamonijevi spojevi, BAC – benzalkonijev klorid, EC₁₀ (repr.) – koncentracija pri kojoj 10 % testiranih organizama pokazuju značajan učinak na reprodukciju.

EGBEA izaziva poremećaje u reprodukciji kod vrste *Ceriodaphnia dubia* pri koncentracijama od oko 30 mg l⁻¹, dok je vrsta *Brachionus calyciflorus* pokazala učinke na reprodukciju pri oko 300 mg l⁻¹ EGBE-a.¹⁷ Podatci ističu potencijalne opasnosti EGBE-a za vodene ekosustave i naglašavaju potrebu za kontrolom izloženosti tom spoju radi očuvanja zdravlja vodenih populacija.³³ Prema Europskom uredu za kemikalije (engl. *European Chemical Bureau*)³⁸ podatci za 72-satnu izloženost žarnjaka *Hydra vulgaris* koncentracija iznosi 690 mg l⁻¹. Za vrstu *Daphnia magna*, EC₅₀ vrijednosti za 24-satno izlaganje EGBE-u iznosi do 5,0 mg l⁻¹, što znatno odskaje od rezultata prikazanih u tablici 6.

Vrijednosti LC₅₀ za tri ključna biocida, metilozotiazolin (MIT), BIT i triklosan, varirale su za vrstu *Daphnia similis*, pri čemu je triklosan bio najtoksičniji, a BIT najmanje toksičan. Za vrstu *Neocaridina denticulata*, triklosan je bio najtoksičniji, dok je MIT pokazao najnižu toksičnost. Oba organizma razlikovala su se u osjetljivosti na testirane biocide, pri čemu je vrsta *Daphnia similis* bila osjetljivija od vrste *Neocaridina denticulata*. Triklosan je pokazao visoku

toksičnost za sve organizme, ukazujući na potencijalne ekološke rizike njegove prisutnosti u vodenim okolišima.³⁴

5. Alternativna sredstva za čišćenje

Porastom svijesti o štetnosti i potencijalnom negativnom učinku konvencionalnih sredstava za čišćenje na ljudsko zdravlje i okoliš raste popularnost “zelenog čišćenja” (engl. *green cleaning*), koje podrazumijeva način pripreme sredstava za čišćenje, uz njihovo pakiranje i distribuciju. Da bi se čišćenje moglo nazvati “zelenim”, navedene točke moraju biti izvedene na okolišno prihvatljiv način.³⁹ Sredstva za čišćenje koja se nalaze na policama najčešće su pakirana u ambalažu od polietilena (PE) te distribuirana cestovnim prijevozom, koji zauzima najveći dio u analiziranim kategorijama ekološkog utjecaja.⁴⁰

Kako su glavni sastojci tih sredstava ocat (CH₃COOH) i soda bikarbona (NaHCO₃), tvari koje se mogu naći u ve-

čini kućanstava, njihova je popularnost opravdana, jer ih je jednostavno napraviti, te zato nose kraticu DIY (engl. *do-it-yourself*). Vodena otopina CH_3COOH može se pronaći u većini kućanstava, jer se upotrebljava za konzerviranje hrane ili kao začín.⁴¹ Reakcija pretvorbe etilnog alkohola ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) u konačni produkt CH_3COOH , može se provoditi iz raznih izvora, pa se tako razlikuju jabučni, alkoholni (bijeli) ocat, vinski ocat i ostali. Ono što ga čini dobrim antibakterijskim sredstvom je upravo njegova kiselost priroda, pa je tako dokazana uspješnost bijelog octa pri uklanjanju gram-negativnih bakterija *Pseudomonas aeruginosa* i *Salmonella choleraesuis*.⁴² Uz bijeli, često je upotrebljavan i jabučni CH_3COOH , koji ima dokazana antitoksična djelovanja na bakterije i kvasce vrsta *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* i *Candida albicans*.⁴³

Uspoređujući učinkovitost konvencionalnih i alternativnih sredstava za čišćenje, kao ispitivani organizmi upotrebljavane su bakterije *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus* te je dobiveno da su alternativna sredstva dobra zamjena za uklanjanje navedenih mikroorganizama na različitim površinama u kućanstvu, gdje nije potrebna njihova potpuna eliminacija.⁴⁴

U novijim istraživanjima, koja zagovaraju usvajanje ekološki osviještene prakse putem prenamjene proizvoda za održive primjene, ispituju se bioenzimi dobiveni iz kore voća koji bi se zbog svojih antioksidativnih i antibakterijskih svojstava mogli upotrebljavati u sredstvima za čišćenje i dezinficijensima, čineći ih tako okolišno prihvatljivijima.⁴⁴

6. Zaključak

Sredstva za čišćenje sadrže razne kemikalije koje mogu imati različite učinke na zdravlje ljudi, organizme i okoliš. Mnoge od tih kemikalija mogu biti iritantne za kožu, oči i dišne puteve te dugoročno štetiti zdravlju ako se upotrebljavaju nepravilno ili u velikim količinama. Osim toga, neke od tih kemikalija mogu imati negativan utjecaj na okoliš, kao što su one koje doprinose onečišćenju voda ili atmosfere. Stoga je važno upotrebljavati sredstva za čišćenje s oprezom, birajući one s manje agresivnim sastojcima i pridržavajući se uputa za sigurnu uporabu da bi se smanjili potencijalni negativni učinci na zdravlje i okoliš.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju Hrvatskoj zakladi za znanost na financijskoj potpori kroz projekt pod imenom *Ekološki aspekti SARS-CoV-2 antivirusnih tvari* (EnA-SARS, IP-2022-10-2822).

Popis kratica List of abbreviations

VOC	– hlapljivi organski spojevi – volatile organic compounds
QAC	– kvaterni amonijevi spojevi – quaternary ammonium compounds
SAD	– Sjedinjene Američke Države – United States of America
BIT	– 1,2-benzizotiazolin-3-on – 1,2-benzisothiazolin-3-one
EPA	– Agencija za zaštitu okoliša – Environmental Protection Agency
MIT	– metilizotiazolinon – methylisothiazolinone
ADBAC	– alkildimetilbenzilamonijevi kloridi – alkyl dimethylbenzylammonium chlorides
DADMAC	– dialkil-dimetilamonijevi spojevi – dialkyl-dimethylammonium compounds
COVID – 19	– koronavirusna bolest 2019 – coronavirus disease 2019
DIY	– “napravi sam” – “do-it-yourself”
BAC	– benzalkonij klorid – benzalkonium chloride
EGBE	– etilen glikol monobutil eter – ethylene glycol monobutyl ether
EGBEA	– etilen glikol monobutil eter acetat – ethylene glycol monobutyl ether acetate

Literatura References

1. Z. Wang, D. Dinh, W. C. Scott, E. S. Williams, M. Ciarlo, P. DeLeo, B. W. Brooks, Critical review and probabilistic health hazard assessment of cleaning product ingredients in all-purpose cleaners, dish care products, and laundry care products, *Environ. Int.* **125** (2019) 399–417, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.079>.
2. K. Buchmüller, A. Bearth, M. Siegrist, Consumers' perceptions of chemical household products and the associated risks, *FCT* **143** (2020) 111511, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111511>.
3. P. A. Clausen, M. Frederiksen, C. S. Sejbaek, J. B. Sørli, K. S. Hougaard, K. B. Frydendall, T. K. Carøe, E. M. Flachs, H. W. Meyer, V. Schlünssen, P. Wolkoff, Chemicals inhaled from spray cleaning and disinfection products and their respiratory effects. A comprehensive review, *J. Hyg. Environ.* **229** (2020) 113592, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113592>.
4. A. Mayer, G. Miskelly, Chemical decontamination of methamphetamine and ephedrine using household hypochlorite bleach, *Forensic Chem.* **36** (2023) 100538, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fchem.2023.100538>.

- org/10.1016/j.forc.2023.100538.
5. S. Mohapatra, L. Yutao, S. G. Goh, C. Ng, Y. Luhua, N. H. Tran, K. Y. H. Gin, Quaternary ammonium compounds of emerging concern: Classification, occurrence, fate, toxicity and antimicrobial resistance, *J. Hazard. Mater.* **445** (2023) 130393, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130393>.
 6. A. M. Temkin, S. L. Geller, S. A. Swanson, N. S. Leiba, O. V. Naidenko, D. Q. Andrews, Volatile organic compounds emitted by conventional and “green” cleaning products in the U.S. market, *Chemosphere* **341** (2023) 139570, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139570>.
 7. R. M. Novick, M. L. Nelson, K. M. Unice, J. J. Keenan, D. J. Paustenbach, Estimation of the safe use concentrations of the preservative 1,2-benzisothiazolin-3-one (BIT) in consumer cleaning products and sunscreens, *Food Chem. Technol.* **56** (2013) 60–66, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.02.006>.
 8. Australian government publishing service, 2-butoxyethanol, Full Public Report, Canberra, Australija, 1996, URL: <https://www.industrialchemicals.gov.au/sites/default/files/PEC6-2-Butoxyethanol-in-cleaning-products.pdf>. (19. 5. 2025.)
 9. R. J. Slaughter, M. Watts, J. A. Vale, J. R. Grieve, L. J. Schep, The clinical toxicology of sodium hypochlorite, *Clin. Toxicol.* **57** (2019) 303–311, doi: <https://doi.org/10.1080/15563650.2018.1543889>.
 10. C. R. Multisanti, K. Riolo, F. Impellitteri, I. Chebbi, C. Faggio, A. Giannetto, Short-term *in vitro* exposure of *Pinctada imbricata*’s haemocytes to quaternium-15: Exploring physiological and cellular responses, *Environ. Toxicol. Pharmacol.* **101** (2023) 104198, doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104198>.
 11. M. Liao, S. Wei, J. Zhao, J. Wang, G. Fan, Risks of benzalkonium chlorides as emerging contaminants in the environment and possible control strategies from the perspective of ecopharmacovigilance, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **266** (2023) 115613, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115613>.
 12. M. Imran, N. Yang, S. D. Ray, Dichloromethane (methylene chloride), *Encyclopedia of Toxicology* (Fourth Edition), Vol. **3**, 2024, str. 665–670, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00945-3>.
 13. H. Yun, J. Park, M. K. Kim, C. Yoon, K. Lee, K. D. Zoh, Non-target screening of volatile organic compounds in spray-type consumer products and their potential health risks, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **268** (2023) 115695, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115695>.
 14. United States Prevention Agency, Prevention, pesticides and toxic substances, R.E.D. FACTS Methylisothiazolinone, Environmental Protection and Toxic Substances, October 1998, Agency (7508C).
 15. L. C. Becker, W. F. Bergfeld, D. V. Belsito, C. D. Klaassen, R. Hill, D. Leibler, J. G. Marks Jr., R. C. Shank, T. J. Slaga, P. W. Snyder, F. A. Andersen, Final Report of the Amended Safety Assessment of Quaternium-15 as Used in Cosmetics. *Int. J. Toxicol.* **29** (2010) 98–114, doi: <https://doi.org/10.1177/109158181036391>.
 16. S. M. Choi, T. H. Roh, D. S. Lim, S. Kacew, H. S. Kim, B. M. Lee, Risk assessment of benzalkonium chloride in cosmetic products, *J. Toxicol. Environ. Health B* **21** (2017) 8–23, doi: <https://doi.org/10.1080/10937404.2017.1408552>.
 17. 2-butoxyethanol (EBE), Part 1 – environment, 4th Priority List, European Union Risk Assessment Report, Vol. 68, European Chemicals Bureau, Luksemburg, 2006.
 18. European Parliament & Council. Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products (2012.) (OJ L 167, pp. 1–123). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2012/528/oj> (5.5.2024.)
 19. European Commission. Commission Regulation (EU) No 1224/2017 amending Annex V to Regulation (EC) No 1223/2009 on cosmetic products (2017) (OJ L 174, pp. 16–18). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32017R1224> (5.5.2024.)
 20. J. Sabharwal, Health issues and environmental impact of cleaning agents, *Int. J. Novel Res. Life Sci.* **2** (2015) 31–38.
 21. C. M. A. Iwegbue, O. S. Emakunu, B. Lari, F. E. Egobueze, G. O. Tesi, G. E. Nwajei, B. S. Martincigh, Risk of human exposure to metals in some household hygienic products in Nigeria, *Toxicol. Rep.* **6** (2019) 914–923, doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.08.014>.
 22. I. Folletti, A. Siracusa, G. Paolucci, Update on asthma and cleaning agents, *Curr Allergy Clin. Immunol. J.* **17** (2017) 90–95, doi: <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000349>.
 23. F. Hashemi, L. Hoepner, F. S. Hamidinejad, D. Haluza, S. Afrashteh, A. Abbasi, E. Omeragić, B. Imamović, N. A. Rash-eed, T. M. J. Taher, F. Kurniasari, D. Y. Wazqar, *i sur*, A comprehensive health effects assessment of the use of sanitizers and disinfectants during COVID-19 pandemic: a global survey, *Environ. Sci. Pollut. Res.* **30** (2023) 72368–72388, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27197-6>.
 24. N. K. Rai, A. Ashok, B. R. Akondi, Consequences of chemical impact of disinfectants: safe preventive measures against COVID-19, *Crit. Rev.* **50** (2020) 513–520, doi: <https://doi.org/10.1080/10408444.2020.1790499>.
 25. S. Mohapatra, L. Yutao, S. G. Goh, C. Ng, Y. Luhua, N. H. Tran, K. Y.-H. Gin, Quaternary ammonium compounds of emerging concern: Classification, occurrence, fate, toxicity and antimicrobial resistance, *J. Hazard. Mater.* **445** (2023) 0304–3894, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130393>.
 26. R. J. Slaughter, R. J. Slaughter, M. Wattas, J. A. Vale, J. R. Grieve, L. J. Schep, The clinical toxicology of sodium hypochlorite, *Clin. Toxicol.* **57** (2019) 303–311, doi: <https://doi.org/10.1080/15563650.2018.1543889>.
 27. J. Parks, L. McCandless, C. Dharma, J. Brook, S. E. Turvey, P. Mandhane, A. B. Becker, A. L. Kozyrskyj, M. B. Azad, T. J. Moraes, D. L. Lefebvre, M. R. Sears, P. Subbarao, J. Scott, T. K. Takaro, Association of use of cleaning products with respiratory health in a Canadian birth cohort, *Can. Med. Assoc. J.* **192** (2020) E154–E161, doi: <https://doi.org/10.1503/cmaj.190819>.
 28. G. Karr, M. Nicolas, F. Maupetot, M. Ramel, Cleaning product emissions and indoor built environments: Exposure and health risk assessments from experiments under realistic indoor conditions, *Build. Environ.* **206** (2021) 0360–1323, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108384>.
 29. G. Tjalvin, Ø. Svanes, J. Igland, R. J. Bertelsen, B. Benediktsson, S. Dharmage, B. Forsberg, M. Holm, C. Janson, N. O. Jøgi, A. Johannessen, A. Malinovski, K. Pape, F. G. Real, T. Sigsgaard, K. Torén, H. K. Vindenes, J. P. Zock, V. Schlünssen, C. Svanes, Maternal preconception occupational exposure to cleaning products and disinfectants and offspring asthma, *J. Allergy Clin. Immunol.* **50** (2022) 422–431, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.08.025>.
 30. A. Chang, A. H. Schnall, R. Law, A. C. Bronstein, J. M. Marraf-fa, H. A. Spiller, H. L. Hays, A. R. Funk, M. Mercurio-Zappala, D. P. Calello, A. Aleguas, D. J. Borys, T. Boehmer, E. Svendsen, Cleaning and Disinfectant Chemical Exposures and Temporal Associations with COVID-19 – National Poison Data System, *Morb. Mortal. Wkly. Rep.* **69** (2020) 496–498, doi: <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6916e1>.

31. V. Castellani, E. Sanyé-Mengual, S. Sala, Environmental impacts of household goods in Europe: a process-based life cycle assessment model to assess consumption footprint. *Int. J. Life Cycle Assess.* **26** (2021) 2040–2055, doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01987-x>.
32. A. Fargašova, A. Nawaz, M. Molnárová, A test battery approach for ecotoxicological evaluation of disinfectants prepared on the basis of sodium hypochlorite, *Folia Oecol.* **50** (2023) 165–173, doi: <https://doi.org/10.2478/foecol-2023-0015>.
33. J. Devillers, A. Chezeau, E. Thybaud, V. Poulsen, J. M. Porcher, L. Graff, F. Quiniou, Ecotoxicity of ethylene glycol monobutyl ether and its acetate, *Toxicol. Mech. Methods.* **12** (2002) 255–263, doi: <https://doi.org/10.1080/15376520208951162>.
34. M. H. Li, Comparative toxicities of 10 widely used biocides in three freshwater invertebrate species, *Chem. Ecol.* **35** (2019) 472–482, doi: <https://doi.org/10.1080/02757540.2019.1579311>.
35. W. A. Arnold, A. Blum, J. Branyan, T. A. Bruton, C. C. Carignan, G. Cortopassi, S. Datta, J. DeWitt, A. C. Doherty, R. U. Halden, H. Harari, E. M. Hartmann, T. C. Hrubec, S. Iyer, C.F. Kwiatkowski, J. LaPier, D. Li, L. Li, J. G. Muniz Ortiz, A. Salamova, T. Schettler, R. P. Seguin, A. Soehl, R. Sutton, L. Xu, G. Zheng, Quaternary Ammonium Compounds: A Chemical Class of Emerging Concern, *Environ. Sci. Technol.* **57** (2023) 7645–7665, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08244>.
36. Alkyldimethylbenzylammonium Chloride (ADBAC) Category High Production Volume (HPV) Chemicals Challenge Final Test Status and Data Review, Toxicology Regulatory Services, 2011. URL: <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/c16856tp.pdf> (19. 5. 2025.)
37. P. I. Hora, S. G. Pati, P. J. McNamara, W. A. Arnold, Increased Use of Quaternary Ammonium Compounds during the SARS-CoV-2 Pandemic and Beyond: Consideration of Environmental Implications, *Environ. Sci. Technol. Lett.* **7** (2020) 622–631, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00437>.
38. European Commission. European Union Risk Assessment Report: Sodium hypochlorite (2007.) (CAS No. 7681-52-9, EINECS No. 231-668-3). Final report. <https://echa.europa.eu/documents/10162/330fee6d-3220-4db1-add3-3df9bb-c2e5e5> (2.5.2024.)
39. R. Otazu, O. Akizu-Gardoki, B. Ulibarri, M. Iturriondobeitia, R. Minguez, E. Lizundia, Ecodesign coupled with Life Cycle Assessment to reduce the environmental impacts of an industrial enzymatic cleaner, *Sustainable Prod. Consum.* **29** (2022) 718–729, doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.016>.
40. Ocat. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. URL: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/ocat> (8. 5. 2024.)
41. W. A. Rutala, D. J. Weber, M. Gergen, H. T. White, Antimicrobial activity of home disinfectants and natural products against potential human pathogens, *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* **21** (2000) 33–38, doi: <https://doi.org/10.1086/501690>.
42. D. Yagnik, V. Serafin, A. J. Shah, Antimicrobial activity of apple cider vinegar against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* down regulating cytokine and microbial protein expression, *Sci. Rep.* **8** (2018) 1732, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20442-4>
43. N. Goodyear, R. Morris, T. Gardner, S. Zlotnikova, The effectiveness of three home products in cleaning and disinfection of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* on home environmental surfaces, *J. Appl. Microbiol.* **119** (2015) 1245–1252, doi: <https://doi.org/10.1111/jam.12926>.
44. M. Pabba, G. Veena, M. Patil, S. Krishna, S. Sundergopal, N. Sahu, Exploring Fruit Peels for Eco-Friendly Bio-Enzymes: Synthesis, Properties, and Sustainable Applications, *Food Sci. Nutr. Technol.* **9** (2024) 1–10, doi: <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000338>.

SUMMARY

Household Chemicals – Cleaning Agents as Invisible Enemies

*Barbara Barusić, Paola Eva Leko, Laura Milek, Valentina Sabolić, and Martina Miloloža Nikolić**

We are exposed daily to a variety of chemicals found in food, cosmetics, household products, and the environment. Cleaning products, such as soaps and detergents, often contain high-production-volume substances. Their improper use can pose risks to both human health and the environment. Common chemical ingredients in these products include ammonia, volatile organic compounds, quaternary ammonium compounds, hypochlorite, and isothiazole ions. Exposure to these substances can lead to health issues such as asthma, skin and eye irritation, and headaches. During the COVID-19 pandemic, the increased use of disinfectants further raised levels of exposure. These chemicals can enter the environment through wastewater and evaporation, affecting ecosystems. Studies have shown their toxic effects on test organisms such as the marine bacterium *Vibrio fischeri* and the water flea *Daphnia magna*. Consequently, regulations and policies have been introduced to reduce their concentrations, and less toxic alternatives are being explored. This paper outlines the composition of chemicals in cleaning products, their impact on human health, living organisms and the environment, as well as the potential alternative ingredients under investigation.

Keywords

Chemical compounds, cleaning products, health, environment, toxicity, alternative ingredients

*University of Zagreb Faculty of Chemical
Engineering and Technology, Trg Marka
Marulića 19, HR-10 000 Zagreb, Croatia*

*Review
Received August 25, 2024
Accepted December 20, 2024*