

PREGLED NAJZNAČAJNIJIH ENDOKRINIH OMETAČA I MOGUĆIH UTICAJA NA ZDRAVLJE LJUDI

A REVIEW OF THE MOST SIGNIFICANT ENDOCRINE DISRUPTORS AND THEIR POSSIBLE IMPACTS ON HUMAN HEALTH

dr Tatjana GOLUBOVIĆ, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Republika Srbija, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6725-752X>, tatjana.golubovic@znrfak.ni.ac.rs

dr Ana BIJELIĆ, vanredni profesor, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Republika Srbija, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8073-1641>, ana.bijelic@znrfak.ni.ac.rs

Jovana PETROVIĆ, saradnik u nastavi, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Republika Srbija, jovana.petrovic@znrfak.ni.ac.rs

Petar SIMONOVIĆ, Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, odsek Zvečan, Republika Srbija, petar.simonovic@akademijakm.edu.rs

APSTRAKT

Endokrini ometači su heterogena grupa prirodnih (genistein, kumestrol) ili sintetičkih supstanci (polihlorovani bifenili, dioksini, ftalati, bisfenol A, metoksihlor, hlörpirifos, i sl.) koje remete rad endokrinog sistema time što oponašaju, blokiraju ili menjaju funkciju hormona. Američka agencija za hranu i lekove (FDA) identifikovala je preko 1.800 hemikalija koje ometaju najmanje jedan od tri endokrinih puta (za estrogene, androgene i tiroidne hormone), iako je ukupan broj supstanci koje ometaju endokrini sistem znatno veći. Endokrini ometači potiču prvenstveno iz industrijskih, poljoprivrednih i potrošačkih proizvoda, uključujući plastiku, pesticide, usporivače gorenja. Ljudi mogu biti izloženi endokrinim ometačima pri profesionalnim aktivnostima, kao i u životnoj sredini putem kontaminirane hrane, vode, zemljišta i vazduha. Putevi unosa ovih supstanci u organizam su oralni (dominantni), udisanje i kontakt sa kožom. Sa aspekta opšte populacije, izloženost većem broju endokrinih ometača je svakodnevno i neizbežno. Od posebnog značaja je njihova perzistentnost u životnoj sredini, kumulativni efekat i sposobnost da oponašaju prirodne hormone čak i u niskim dozama kojima je opšta populacija najčešće izložena. Profesionalna izloženost hemikalijama koje ometaju endokrini sistem značajno povećava rizik od neplodnosti, reproduktivne disfunkcije i hormonski zavisnih karcinoma. Profesije sa visokim rizikom od izloženosti endokrinim ometačima uključuju direktno rukovanje pesticidima, industrijskim hemikalijama ili proizvodima za ličnu negu koji sadrže ftalate i parabene. Endokrini ometači izazivaju značajne zdravstvene probleme, sa procenjenim godišnjim troškovima od 163 milijarde evra u EU i preko 340 milijardi dolara u SAD. Ova značajna ekonomska i zdravstvena opterećenja podstiču hitnu potrebu za strožim, proaktivnim regulatornim okvirima kako bi se izloženost svela na minimum.

Ključne reči: endokrini ometači, profesionalna izloženost, životna sredina, zdravlje

ABSTRACT

Endocrine-disrupting chemicals (EDCs) are diverse natural (genistein, coumestrol) or synthetic chemicals (polychlorinated biphenyls, dioxins, phthalates, bisphenol A, methoxychlor, chlorpyrifos, etc.) that interfere with hormonal systems by mimicking, blocking, or altering hormone actions. The U.S. Food and Drug Administration (FDA) has identified over 1.800 chemicals that disrupt at least one of three endocrine pathways (estrogen, androgen, and thyroid), though the total number of EDCs is likely higher. EDCs originate primarily from industrial, agricultural, and consumer products, including plastics, pesticides, flame retardants. Humans can be exposed to endocrine disruptors through occupational activities, contaminated food, water, soil, and air, via ingestion, inhalation, as well as skin contact. The general population faces constant, low-level, and cumulative exposure to multiple EDCs. Occupational exposure to EDCs significantly increases risks for infertility, reproductive dysfunction, and hormone-dependent cancers. High-risk professions for endocrine disruptor exposure involve direct handling of pesticides, industrial chemicals, or personal care products containing phthalates and parabens. EDCs cause significant health issues, with estimated annual costs of €163 billion in the EU and over \$340 billion in the US. These substantial economic and health burdens drive the urgent need for stricter, proactive regulatory frameworks to minimize exposure.

Key words: endocrine disruptors, occupational exposure, environment, health

UVOD

Optimalno funkcionisanje endokrinog sistema predstavlja osnovu ljudskog zdravlja, jer hormoni u veoma niskim koncentracijama upravljaju rastom i razvojem, metabolizmom, termoregulacijom, krvnim pritiskom, glikemijom, kao i reproduktivnim i neurološkim funkcijama. Svako narušavanje hormonske ravnoteže može imati posledice koje se ispoljavaju odmah, ili sa odloženim efektima, naročito kada do izlaganja dođe u kritičnim periodima razvoja embriona i fetusa, kao i u ranom postnatalnom dobu. Zbog toga su endokrini ometači (*endocrine-disrupting chemicals*, EDCs) danas u fokusu istraživanja, kako sa aspekta uticaja na zdravlje opšte populacije, tako i sa aspekta uticaja na zdravlje profesionalno izloženih osoba. Reč je o egzogenim supstancama ili smešama supstanci koje mogu da imitiraju, blokiraju ili izmene dejstvo prirodnih hormona, menjajući njihovu sintezu, transport, vezivanje za receptore i biološki odgovor ciljnih tkiva (1). Rasprostranjenost endokrinih ometača dodatno potencira značaj problema, jer se mogu naći u širokom spektru proizvoda i materijala sa kojima ljudi svakodnevno dolaze u kontakt, uključujući ambalažu i plastiku, premaze i aditive, sredstva za čišćenje, kozmetiku, pesticide, koji se zadržavaju u životnoj sredini i prenose lancem ishrane. Izloženost opšte populacije često nije jednokratna, već dugotrajna i ponovljena, kroz vazduh, vodu, hranu i potrošačke proizvode. Posebnu zabrinutost izaziva kumulativni efekat, jer istovremeno ili uzastopno delovanje više jedinjenja, čak i pri niskim dozama, može dovesti do neočekivanih bioloških ishoda. U radnoj sredini, rizik se može povećati zbog intenziteta i učestale izloženosti određenim endokrinim ometačima, kao i zbog specifičnih uslova rada, što zahteva preventivne mere i procenu izloženosti (2). Cilj ovog rada jeste da se sistematizuju najvažnije grupe endokrinih ometača, opišu mehanizmi njihovog delovanja i prikažu potencijalni efekti na zdravlje opšte populacije i profesionalno izloženih osoba. Rad je zasnovan na pregledu i analizi dostupne naučne literature, pri čemu su metodom analize sadržaja relevantnih izvora izdvojeni ključni rezultati o putevima izloženosti, osetljivim populacijama, kumulativnim efektima i glavnim izazovima u proceni rizika.

NAJZNAČAJNIJE VRSTE SINTETIČKIH ENDOKRINIH OMETAČA

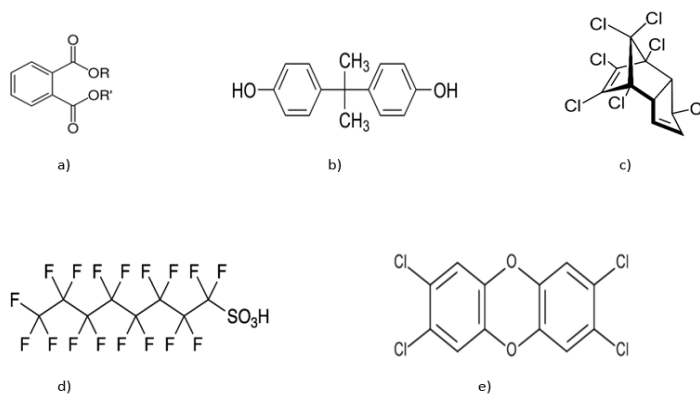
Pojam endokrini ometači obuhvata širok spektar hemijskih supstanci različitog porekla, strukture i biološkog delovanja. Kod brojnih supstanci prepoznaju se strukturni delovi molekula koji doprinose endokrinom delovanju, kao što su halogeni supstituenti (hlor, brom) kod dioksina i nekih polihlorovanih/polibromovanih jedinjenja, ili fenolne funkcionalne grupe koje mogu omogućiti vezivanje za receptore steroidnih hormona i izazvati agonističke ili antagonističke efekte. U nastavku je prikazan pregled najznačajnijih kategorija endokrinih ometača (Slika 1), relevantnih za izloženost opšte populacije i određenih profesionalnih grupa (3).

Ftalati su grupa široko korišćenih sintetičkih endokrinih ometača, koji se koriste kao plastifikatori u velikom broju proizvoda, poput sredstava za ličnu higijenu, medicinskih sredstava, plastične ambalaže, PVC proizvoda, plastičnih igračaka, štamparskih boja, lakova, tekstila, lekova i dr. Ftalati nisu vezani hemijskom vezom za polimer, već su samo inkorporirani u strukturu polimera, tako da pod određenim uslovima mogu da migriraju iz plastike, pri čemu dolazi do kontaminacije okolne sredine ovim jedinjenjima. Ftalati predstavljaju grupu jedinjenja sa sličnom hemijskom strukturom, pri čemu svako jedinjenje karakteriše jedinstvene osobine i specifična toksičnost. Ftalati su slabo rastvorljivi u vodi i dobro rastvorljivi u mastima. Rastvorljivost ftalata u vodi opada sa porastom molekulske mase, odnosno sa porastom dužine alkilnih lanaca. Navedene osobine ftalata utiču na raspodelu ftalata u životnoj sredini i određuju njihovu postojanost. Ftalati koji se unesu u organizam ne bivaju akumulirani, već se brzo eliminišu i to putem urina, fecesa i drugih telesnih tečnosti. U organizmu se brzo razlažu na svoje metabolite, koji su i odgovorni za toksični efekat ftalata. Iako se ne akumuliraju u masnom tkivu, problem nastaje zbog hronične izloženosti putem hrane, kozmetike i plastičnih predmeta.

Bisfenol A (BPA) je industrijska hemikalija koja se koristi za proizvodnju određenih vrsta plastike i smola. Prvenstveno se nalazi u polikarbonatnoj plastici, koja se često koristi za kontejnere za skladištenje hrane i pića, kao i u epoksidnim smolama koje oblažu unutrašnjost metalnih limenki. Takođe, termalni papir (fiskalni računi, karte i potvrde o plaćanju) često sadrže BPA. Bisfenol A se oslobađa iz epoksidnih smola i polikarbonatne plastike u hranu i vodu, posebno kada su izložene visokim temperaturama ili jakim deterdžentima koji menjaju pH vrednost. U pomenutim uslovima dolazi do raskidanja estarske veze koje povezuju BPA monomere, omogućavajući im da se akumuliraju u telu i deluju kao endokrini ometači (4).

Pesticidi su proizvodi hemijskog ili biološkog porekla koji se koriste za otklanjanje, suzbijanje i uništavanje biljnih i drugih štetočina. Prema nameni se dele na više grupa: herbicide (za uništavanje korova), insecticide (za

suzbijanje insekata), fungicide (za suzbijanje gljivica), akaricide (za suzbijanje štetnih grinja), rodenticide (za suzbijanje glodara), moluscide (za suzbijanje puževa i puževa golača) i dr. Prema hemijskom sastavu svi pesticidi se mogu podeliti na neorganska, organska i jedinjenja prirodnog porekla. Najveća grupa pesticidnih supstanci su organska jedinjenja, pri čemu ovoj grupi pripadaju i pesticidi koji imaju veliku fiziološku aktivnost. Najznačajniji predstavnici pripadaju organohlornim (DDT, endosulfan, lindan, dieldrin, hlordan) i organofosfornim jedinjenjima (malation, paration), karbamatima (karbaril, karbofuran, aminokarb), piretroidima (cipermetrin, permetrin) i triazinima (atrazin). Iako sve klase pesticida mogu uticati štetno na zdravlje ljudi, organohlorni pesticidi predstavljaju najveći rizik, jer spadaju u grupu endokrinih ometača, poseduju izrazita lipofilna svojstva i samim tim visok potencijal bioakumulacije (5). Takođe, organohlorni pesticidi spadaju među perzistentne organske zagađujuće supstance. Osim njih, i organofosforni pesticidi i piretroidi, su u brojnim studijama povezani sa endokrinim efektima. U proceni rizika od izloženosti pesticidima posebno treba imati u vidu činjenicu da pesticidi ne deluju izolovano, već kao smeše jedinjenja, što otežava predviđanje ukupnog toksičnog efekta (5).



SLIKA 1 –HEMIJSKE STRUKTURE ODABRANIH ENDOKRINIH OMETAČA

- a) ftalati; b) bisfenol A; c) heptahlor (organohlorni pesticid); d) perfluorooktansulfonska kiselina;
b) e) 2,3,7,8-tetrahlorodibenzo-p-dioksin

Perfluoroalkilne i polifluoroalkilne supstance (PFAS) poseduje izuzetnu otpornost na vodu, ulje i toplotu zbog svojih jedinstvenih hidrofobnih i lipofilnih svojstava. Preko 600 per- i polifluoroalkilnih supstanci nalazi se u komercijalnoj upotrebi. PFAS se koriste u brojnim industrijskim i potrošačkim proizvodima, uključujući vatrogasne pene, ambalažu za hranu i premaze otporne na toplotu/vodu/masti, voodoporne tekstilne materijale, medicinsku opremu i dr. Međutim, zbog njihovih osobina kao što su perzistentnost (vrlo su stabilni u životnoj sredini zbog jačine veza ugljik – fluor), sposobnost da se akumuliraju u živim organizmima i životnoj sredini, otpornost na biorazgradnju, fotooksidaciju, direktnu fotolizu i hidrolizu, PFAS su postali predmet zabrinutosti za životnu sredinu i zdravlje ljudi (6).

PFAS u životnu sredinu mogu dospeti direktnom emisijom kao posledica proizvodnih i industrijskih procesa ili indirektno, upotrebom proizvoda koje sadrže ove supstance, kao i njihovim neadekvatnim odlaganjem. Zbog rastuće zabrinutosti od potencijalnih štetnih efekata PFAS, veliki broj zemalja je počelo da uvode strože regulative i mere kontrole kako bi smanjile izloženost ovim supstancama.

Dioksini su grupa polihlorovanih aromatičnih jedinjenja sličnih fizičko-hemijskih osobina, poznati kao izuzetno toksične i perzistentne supstance. Vrlo su stabilni, otporni su na hemijsku i mikrobiološku degradaciju zbog čega su vrlo postojani u životnoj sredini. Od 210 mogućih kongenera, 75 pripada polihlorovanim dibenzo-p-dioksinima (PCDD), a 135 polihlorovanim dibenzofuranima (PCDF). Važno je napomenuti da se samo 17 kongenera smatra značajno toksičnima za ljude, pri čemu je najopasniji 2,3,7,8-tetrahlorodibenzo-p-dioksin (2,3,7,8-TCDD). Zbog izrazite lipofilnosti, oni se ne rastvaraju u vodi već se akumuliraju u masnom tkivu životinja i ljudi, prenoseći

se kroz lanac ishrane. Najčešće nastaju kao neželjeni nusprodukti pri nepotpunom sagorevanju (spalionice otpada, šumski požari) i u specifičnim industrijskim procesima poput beljenja celuloze hlorom.

IZLOŽENOST LJUDI ENDOKRINIM OMETAČIMA

Ljudi su svakodnevno i neizbežno izloženi endokrinim ometačima putem hrane, plastične ambalaže, kozmetike i svih medijuma životne sredine. Putevi unosa ovih supstanci u organizam su oralni (dominantan), inhalacioni, dermalni, kao i transplacentarni prenos. Zbog njihove hemijske stabilnosti, mnoga od ovih jedinjenja teško se razgrađuju, a organizam ih često ne može efikasno metabolisati. U nekim slučajevima nastali metaboliti su toksičniji od izvornog jedinjenja. Iako su mnoga od ovih jedinjenja zabranjena, i dalje se u velikim količinama zadržavaju u životnoj sredini. Posebno zabrinjava činjenica da su endokrini disruptori otkriveni čak i na lokacijama veoma udaljenim od mesta njihove proizvodnje ili upotrebe, zbog prenosa vazduhom, vodom i migracijama životinja.

Profesionalna izloženost endokrinim ometačima

Profesionalna izloženost endokrinim ometačima predstavlja značajan rizik na radnom mestu jer ove supstance, čak i u malim dozama, ometaju prirodni rad hormonskog sistema. Profesionalna izloženost ovim supstancama zastupljena je kod radnika koji su direktno uključeni u proizvodnju, transport, rukovanje ili upotrebu proizvoda koji ih sadrže. Najugroženije profesije su poljoprivrednici zbog upotrebe različitih grupa pesticida, radnici u građevinarstvu i industriji plastike (upotreba materijala koji sadrže bisfenol A, ftalate i polibromovane difenil etre), radnici u hemijskoj industriji, usled proizvodnje i manipulacije industrijskim rastvaračima i aditivima, tekstilni radnici, kao i zaposleni u industriji kozmetičkih proizvoda (izloženost parabenima, perfluorovanim jedinjenjima i određenim bojama).

Izloženost ftalatima je česta u industrijama koje koriste PVC i druge vrste plastika (proizvodnja i prerada plastike, kablova, podova, folije, ambalaže), kao i pri skladištenju, sečenju, termo-obrađi plastificiranih materijala. Pored toga, izloženost se javlja i u zdravstvu, jer se ftalati (npr. DEHP) mogu naći u delovima medicinskih sistema od fleksibilne plastike, što je važno kako za osoblje koje rukuje potrošnim materijalom i otpadom, tako i za pacijente. Najčešći putevi unosa ftalata su udisanje prašine/aerosola, kontakt kože sa materijalima i nenamerno oralno unošenje preko kontaminiranih ruku (7).

Profesionalna izloženost pesticidima najznačajnija je kod poljoprivrednika i aplikatora, naročito tokom mešanja/pripreme rastvora, punjenja opreme i prskanja. U ovu grupu spadaju i radnici u profesionalnoj kontroli štetočina i delatnostima gde se pesticidi rutinski koriste (npr. održavanje zelenih površina), jer se izlaganje ponavlja i često uključuje direktan kontakt sa preparatima. Ključni putevi unosa su dermalni i inhalacioni. Dermalni unos je značajan kod prskanja, prosipanja i drifta aerosola, dok je udisanje značajan put unosa tokom aplikacije i rada sa aerosolima ili parama pesticida. Oralni unos se obično smatra sekundarnim i vezuje se za unos kontaminiranim rukama usled loših higijenskih navika (npr. jedenje ili pušenje bez adekvatne prethodne higijene) (8).

Perfluoroalkilnim i polifluoroalkilnim supstancama su posebno izloženi vatrogasci, kod kojih je izloženost PFAS jedinjenjima postala jedan od vodećih zdravstvenih prioriteta. Vatrogasci, zbog upotrebe AFFF pene (*Aqueous Film Forming Foam*), kontakta sa zaštitnom opremom čiji su spoljni slojevi tretirani PFAS jedinjenjima radi odbijanja vode i ulja (studije pokazuju da se ove supstance mogu degradirati i apsorbovati kroz kožu) kao i zbog kontaminacije vazduha u stanicama i na mestu intervencije, predstavljaju veoma ugroženu profesiju. Zbog perzistentnosti, PFAS mogu doprineti dugotrajnijem opterećenju organizma, pa se u studijama često prate serumski nivoi kao indikator kumulativnog efekta (9).

Prisustvo bisfenola A u radnoj sredini je posebno izraženo u sektorima gde se proizvode ili koriste polikarbonatne plastike, epoksidne smole i termalni papir, pa se kao rizične grupe izdvajaju radnici u industriji plastike/epoksida i u proizvodnji ili rukovanju termalnim papirom i fiskalnim računima. BPA u termalnom papiru često nije hemijski vezan u polimer, što povećava značaj dermalne izloženosti pri čestom dodiru, dok se kod profesionalno izloženih ne sme zanemariti ni inhalaciona izloženost (10).

UTICAJ ENDOKRINIH OMETAČA NA ZDRAVLJE LJUDI

Efekti endokrinih ometača na zdravlje ljudi su brojni i poslednjih godina su u porastu. Zbog svoje postojanosti se, u većini slučajeva, bioakumuliraju u telesnim tkivima. Distribucija ovih jedinjenja u tkivima je različita, najviše koncentracije su u jetri, bubrezima i plućima, a manje u mozgu i slezini. Iz organizma se izlučuju nepromenjeni ili podležu metabolizmu. Prvenstveno se izlučuju putem urina. Biološki faktori koji utiču na prisustvo i ponašanje endokrinih ometača u organizmu su uzras, pol, reproduktivni faktori i sl.

TABELA 1 –SAŽETAK NAZNAČAJNIJIH PUTEVA UNOSA ENDOKRINIH OMETAČA I ZDRAVSTENIH EFEKATA

Grupa EDC	Prisustvo u životnoj sredini	Profesionalna izloženost	Najčešći putevi unosa	Najčešći efekti
Ftalati	PVC, ambalaža, sredstva za ličnu higijenu, kućna prašina	Proizvodnja/prerada plastike, PVC industrija, rukovanje plastificiranim materijalima, zdravstveni sistemi	Dermalno, inhalaciono (prašina, aerosoli), oralno, sekundarno (ruke)	Reproduktivno-razvojni ishodi
Pesticidi	Ostaci u hrani; medijumi životne sredine (voda/tlo)	Poljoprivreda, staklenici, dezinfekcija/deratizacija, održavanje zelenih površina	Dermalno tokom pripreme i aplikacije; inhalaciono tokom prskanja; oralno, sekundarno	Endokrini poremećaji i reproduktivni rizici
PFAS	Potrošački/industrijski premazi; kontaminacija vode	Vatrogasci (AFFF, oprema), radna mesta sa PFAS-materijalima i kontaminiranom prašinom	Dermalno + inhalaciono (prašina); oralno preko kontaminirane vode/okruženja	Povezanost sa promenama muških reproduktivnih hormona
BPA	Plastika, epoksidne smole, termalni papir	Maloprodaja (kasiri, termalni računari); industrije sa BPA-materijalima	Dermalno (termalni papir); oralno i inhalaciono zavisno od procesa	Endokrini efekti; efekti na razvoj placente (rani razvoj)

Izloženost endokrinim ometačima može da uzrokuje različite poremećaje i bolesti. *Reproduktivni poremećaji* povezani sa ovim supstancama uključuju pad broja i pokretljivosti spermatozoida, pad nivoa testosterona i pojavu benignih tumora testisa, povećan rizik od endometrioze, mioma materice i sindroma policističnih jajnika, rani pubertet. Endokrini ometači mogu proći kroz placentu i uticati na razvoj polnih organa fetusa, što može imati posledice decenijama kasnije ili čak na buduće generacije (transgeneracijski efekti).

Takođe, mogu uticati na povećan rizik od niske porođajne težine i gestacijskog dijabetesa. Endokrini ometači, kao supstance koje ometaju prirodan rad hormonskog sistema, direktno utiču na razvoj i napredovanje *hormonski zavisnih tumora*.

Naučna istraživanja ukazuju na povezanost između izloženosti endokrinim ometačima i sledećih *neuroloških poremećaja*: neurorazvojni poremećaji (povećan rizik od autizma, poteškoće u učenju i smanjeni koeficijent inteligencije); neurodegenerativne bolesti (Alchajmerova bolest, Parkinsonova bolest i amiotrofična lateralna skleroza); psihijatrijski i emocionalni poremećaji (depresija, anksioznost, šizofrenija i bipolarni poremećaj).

Štitna žlezda je posebno osetljiva na ove supstance jer one direktno ometaju sintezu njenih hormona (T3 i T4), njihovu regulaciju i metabolizam. Izloženost ovim hemikalijama može doprineti razvoju hipotireoze, autoimunih bolesti, povećanoj incidenciji tumora štitne žlezde, poremećaju u razvoju (izloženost tokom trudnoće može trajno oštetiti neurokognitivni razvoj deteta jer su tiroidni hormoni ključni za razvoj mozga).

Endokrini ometači direktno doprinose *metaboličkim poremećajima* (gojaznost, dijabetes tipa 2) oponašajući ili blokirajući hormone (poput insulina i hormona štitne žlezde) koji regulišu telesnu težinu i energetske balans. Sažetak najznačajnijih puteva unosa endokrinih ometača i zdravstvenih efekata prikazan je u Tabeli 1.

ZAKLJUČAK

Endokrini ometači, zbog široke rasprostranjenosti i sposobnosti da, i pri nižim dozama, remete hormonsku regulaciju, predstavljaju značajan rizik sa aspekta zdravlja, kako opšte populacije, tako i profesionano izloženih osoba. Profesionalna izloženost hemikalijama koje ometaju endokrini sistem značajno povećava rizik od reproduktivnih poremećaja, hormonski zavisnih karcinoma, metaboličkih poremećaja i dr. Profesije sa visokim rizikom od izloženosti endokrinim omatačima uključuju direktno rukovanje pesticidima, industrijskim hemikalijama ili proizvodima za ličnu negu koji sadrže ftalate i parabene. Imajući u vidu značajne zdravstvene probleme uzrokovane endokrinim omatačima i procenjene godišnje troškove nameće se hitna potreba za strožim, proaktivnim regulatornim okvirima kako bi se izloženost ovim jedinjenjima svela na minimum.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije na osnovu sporazuma br. 451-03-137/2025-03/200148 g13 sa Univerzitetom u Nišu, Fakultetom zaštite na radu u Nišu.

LITERATURA

1. Pizent A, Developmental toxicity of endocrine-disrupting chemicals: Challenges and future directions. Analytical Toxicology and Mineral Metabolism Unit, Institute for Medical Research and Occupational Health, Ksaverska cesta 2, HR-10000 Zagreb, Croatia DOI: <https://doi.org/10.5937/arhfarm71-34457>
2. Yilmaz B, Terekci H, Sandal S, Kelestimur F., Endocrine disrupting chemicals: exposure, effects on human health, mechanism of action, models for testing and strategies for prevention. Rev Endocr Metab Disord. 2020 Mar;21(1):127-147. doi: 10.1007/s11154-019-09521-z. PMID: 31792807.
3. Cvetić L, ENDOKRINI DISRUPTORI. SVEUČILIŠTE U RIJECI, MEDICINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠNI INTEGRIRANI PRIJEDIPLOMSKI I DIPLOMSKI, STUDIJ MEDICINA
4. Adu-Gyamfi E.A., C.S. Rosenfeld , G. Tuteja, The impact of bisphenol A on the placenta. Biology of Reproduction, Volume 106, Issue 5, May 2022, Pages 826–834, DOI <https://doi.org/10.1093/biolre/ioac001>
5. Hilz EN, Gore AC. Endocrine-Disrupting Chemicals: Science and Policy. Policy Insights Behav Brain Sci. 2023 Oct;10(2):142-150. doi: 10.1177/23727322231196794. Epub 2023 Oct 26. PMID: 39758979; PMCID: PMC11698485.
6. Cui Q, Pan Y, Wang J, Liu H, Yao B, Dai J. Exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in serum versus semen and their association with male reproductive hormones. Environ Pollut. 2020 Nov;266(Pt 2):115330. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115330. Epub 2020 Aug 6. PMID: 32781340.
7. Nadine Fréry, Tiina Santonen, Simo P. Porras, Aleksandra Fucic, Veruscka Leso, Radia Bousoumah, Radu Corneliu Duca, Mounia El Yamani, Marika Kolossa-Gehring, Sophie Ndaw, Susana Viegas, Ivo Iavicoli, Biomonitoring of occupational exposure to phthalates: A systematic review, International Journal of Hygiene and Environmental Health, Volume 229, 2020, 113548, ISSN 1438-4639, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113548>
8. Tudi M, Li H, Li H, Wang L, Lyu J, Yang L, Tong S, Yu QJ, Ruan HD, Atabila A, Phung DT, Sadler R, Connell D. Exposure Routes and Health Risks Associated with Pesticide Application. Toxics. 2022 Jun 19;10(6):335. doi: 10.3390/toxics10060335. PMID: 35736943; PMCID: PMC9231402.
9. Mazumder NU, Hossain MT, Jahura FT, Girase A, Hall AS, Lu J, Ormond RB. Firefighters' exposure to per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) as an occupational hazard: A review. Front Mater. 2023;10:10.3389/fmats.2023.1143411. doi: 10.3389/fmats.2023.1143411. Epub 2023 Mar 23. PMID: 38074949; PMCID: PMC10698640.
10. Ribeiro E, Ladeira C, Viegas S. Occupational Exposure to Bisphenol A (BPA): A Reality That Still Needs to Be Unveiled. Toxics. 2017 Sep 13;5(3):22. doi: 10.3390/toxics5030022. PMID: 29051454; PMCID: PMC5634705.