

PROIZVODI IZ POLISTIRENA IN MOŽNI VPLIVI NA ŽIVLJENJSKO OKOLJE

POLYSTYRENE PRODUCTS AND POSSIBLE IMPACTS ON LIVING ENVIRONMENT

Blaž Hribar, dipl. inž. grad.

Sveža Planina 8, Trbovlje

Mirjam Britovšek, univ. dipl. inž. kem. inž.

Mestna občina Velenje, Titov trg 1, 3320 Velenje

doc. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.

mdovjak@fgg.uni-lj.si

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 502/504:678.746.2

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana,

Povzetek | Polistiren je ena najbolj vsestransko uporabljenih plastik. Uporablja se v gradbeni, živilski avtomobilski, računalniški industriji in v drugih vejah. Zaradi tako pestre uporabe je odpadni polistiren velik onesnaževalec okolja in lahko vpliva na zdravje ljudi tako v grajenem kot širšem življenjskem okolju. Namen raziskave je s sistematičnim pregledom literature preučiti problematiko polistirena v naravnem in grajenem okolju ter raziskati možen negativen vpliv izpostavljenosti polistirenu oziroma osnovnemu gradniku stirenu. Zahtevane in/ali priporočene mejne vrednosti smo primerjali z izmerjenimi koncentracijami iz pregledanih raziskav. Na osnovi ugotovitev smo predlagali ukrepe, s katerimi lahko zmanjšamo možen vpliv polistirena v življenjskem okolju. Sistematičen pregled literature je pokazal, da je lahko polistiren problematičen tako v naravnem kot v grajenem okolju. Po navedbah International Agency for Research on Cancer spada stiren, ki je osnovni gradnik polistirena, v skupino 2B, kar pomeni, da je potencialno rakotvoren za človeka. Raziskave v delovnem okolju so pokazale, da se pri zaposlenih v tovarnah s proizvodnjo polistirena pogosto pojavijo povišane koncentracije stirena, ki lahko povzročijo negativen vpliv na zdravje delavcev. Polistiren je problematičen v celotnem življenjskem ciklu, tudi v ekstremnih razmerah, kot je požar. Je lahko vnetljiv material, ki pri gorenju pri nizkih temperaturah sprošča ogljikove saje in številne nevarne hlapne spojine, katerih tvorba je odvisna od temperature gorenja. Kot najpogosteje uporabljeni zaviralec gorenja v izolacijskem polistirenu se je v preteklosti uporabljal HBCD (heksabromociklododekan), ki je zelo strupena, obstojna in bioakumulativna kemikalija. Z njegovo prepovedjo v letu 2015 uporabljajo proizvajalci druge zaviralce gorenja, ki so lahko prav tako problematični za zdravje in okolje. Številne raziskave so se ukvarjale z vplivom stirena, ki migrira iz embalaže za živila v hrano in s tem na ljudi. Izsledki študij niso enotni o možnem vplivu na zdravje, predlagajo pa preprečevanje izpostavljenosti izdelkom iz stirena, ki so v stiku s hrano. Pregled raziskav je pokazal, da odpadni polistiren pomeni velik problem za okolje, saj se odpadna plastika kopiči v naravnem okolju, predvsem na obalah. Ti odpadki so nevarni za človeka in živali, ker predstavljajo leglo patogenih mikroorganizmov. Za ustrezno reševanje problemov, ki jih prinaša vsestranska uporaba polistirena, je treba poznati celoten življenjski cikel proizvoda in ustrezno ukrepati na vseh nivojih. V fazi proizvodnje je treba izvajati ukrepe za zaščito, varnost in zdravje zaposlenih ter zamenjati škodljive snovi z manj nevarnimi. Za izdelke, ki so v stiku s hrano, je treba

najti primerne alternative. Potrebna sta skrb za odpadke in povečana stopnja recikliranja. Vse skupaj pa bi moralo biti postavljeno v dobro pripravljen zakonodajni okvir.

Ključne besede: polistiren, stiren, proizvodi, zdravje, okolje, mejne vrednosti

Summary | Polystyrene is one of the most widely utilized plastics. It is used in construction, food industry, car industry, IT and other fields. Polystyrene is a big pollutant due to its wide use. It can represent a health hazard for people both in built and natural environment. The purpose of this research is to study the problems caused by polystyrene in built and natural environment and to determine the possible negative effects of exposure to polystyrene and its building block styrene. This is done by thoroughly reviewing existing literature on the matter. We compared the maximum allowed concentrations and recommended exposure limits with the concentrations, measured in the reviewed studies. We propose a set of measures to reduce the possible effect of polystyrene in living areas. The literature shows that polystyrene can indeed be the source of problems in built and natural environment. According to the International Agency for Research on Cancer, styrene, the building block of polystyrene, falls into the 2B group, which is classified as possibly carcinogenic to humans. Research carried out in work environment shows that workers in polystyrene production plants experience elevated styrene concentrations, which can have negative health effects. Polystyrene is problematic throughout its life cycle, including in the extreme circumstances such as fire. The material is highly flammable. The side products of its incineration at low temperatures are carbon soot and a complex mixture of volatile compounds, many of them hazardous to health. In the past, the most commonly used flame retardant in polystyrene was HBCD (hexabromocyclododecane), which is a substance with persistent bioaccumulative and toxic characteristics. Since the ban on its use in 2015, other flame retardants are utilized, many of which are also a hazard to health and environment. A lot of research has been done on polystyrene migrating from food containers to food and consequently to people. The results show that the concentrations present are small and do not present a health risk for humans. The overview of the research shows that the polystyrene waste represents a huge environmental problem because the plastics accumulate in the natural environment, especially on the shores. Plastic debris are reservoirs of pathogens, harmful to humans. To successfully solve the problems with polystyrene and its wide use cause, it is essential to take into account the whole polystyrene lifecycle and take action during all of the stages. During the production phase, the suitable protective measures must be taken to protect the health of the workers. The toxic substances should be replaced by less hazardous ones. The polystyrene food containers should be substituted by suitable alternatives. It is crucial to improve the ways the waste is handled and to increase the level of recycling. A better legislation on the matter would also be of great importance.

Key words: polystyrene, styrene, products, health, environment, exposure limits

1 • UVOD

1.1 Splošna predstavitev polistirena

Polistiren je aromatski polimer stirena, ki je derivat benzena. Pri sobni temperaturi je trdna brezbarvna plastika, če pa ga dovolj segrejemo, se njegovo agregatno stanje spremeni v tekoče, in ga lahko poljubno oblikujemo (ACC, 2012).

Polistiren je odkril nemški lekarnar Eduard Simon leta 1839. Njegova proizvodnja se je začela leta 1931 v Nemčiji v podjetju IG Farben. Že kmalu zatem je proizvodnja dosegla razcvet, ko so odkrili postopek za nastanek ekstrudiranega polistirena (Inventors.about, 2011). Danes se v svetovnem merilu proizvede več milijonov ton na leto. Leta 2004 se je na primer proizvedlo okoli 11,5 tone (Maul, 2007). Proizvodnja polistirena se iz leta v leto povečuje in tak trend (okoli 2-% rast na leto) se pričakuje tudi v prihodnosti (CEH, 2014). Glavni proizvajalec in porabnik polistirena je Kitajska, ki je leta 2014 proizvedla 50 % in porabila 46 % vsega polistirena na svetu (CEH, 2014).

Polistiren je ena najbolj vsestransko uporabljenih plastik in predstavlja več kot dve tretjini vse prodane plastike (Rosato, 2005). Uporablja se za različne embalaže, za ovitke CD-jev, plastični jedilni pribor, platenke, plastične modelčke in podobno. V gradbeni industriji sta najpogostejše uporabljeni obliki polistirena ekspandirani polistiren (EPS) in ekstrudirani polistiren (XPS), ki se uporabljata predvsem

za toplotno izolacijo stavb (ACC, 2012). Polistirenske plošče se pogosto uporabljajo tudi za zvočno izolacijo, predvsem za plavajoče pode. Takšne plošče je treba s posebnim postopkom v proizvodnem procesu elastificirati (elastificirani polistiren), da postanejo prožnejše in zato bolje absorbirajo udarni zvok (DID, 2007).

Polistiren se lahko oblikuje z brizganjem, vakuumskim oblikovanjem ali ekstrudiranjem. Proizvajajo se tudi kopolimeri, ki poleg stirena vsebujejo še enega ali več drugih monomerov. V zadnjih letih se proizvajajo tudi ekspandirani kompozitni polistireni s celulozo in škrobom. Uporablja se tudi pri nekaterih polimerno vezanih eksplozivih (PBX) ((Doroudiani, 2004), (Doroudiani, 2002), (Mihai, 2007)).

Pri proizvodnji polistirenske pene se uporabljajo plini za razpihovanje kroglic, kar je lahko nevarno za nastanek požara (Mazi, 1998). Zavrnjen polistiren se v naravi ne razgradi več sto let in je odporen proti fotolizi (Bandyopadhyay, 2007). Posledica široke uporabe je tudi velika količina odpadkov, ki lahko predstavljajo velik problem za naravo, živali in ljudi (Hofer, 2008). Večine izdelkov iz polistirena se trenutno ne reciklira, saj za to ni interesa. Ker ima polistirenska pena majhno gostoto, njeno zbiranje ni ekonomično (PPC, 2009). Polistiren se široko uporablja kot embalaža za hrano in pijačo. Stiren, ki je osnovni gradnik polistirena, pa je snov, ki lahko povzroči raka

(NTP, 2011). Oligomeri stirena v posodah iz polistirena lahko migrirajo v hrano (Sakamoto, 2000). Tako kot vse druge organske spojine je tudi polistiren gorljiv, ima oznako B3, kar pomeni, da je lahko vnetljiv. V gradbeništvu se zato ne sme uporabljati, če ni primerno zaščiten (DIN 4102, 1998).

Uporaba polistirena je v gradbeništvu zelo vsestranska, zato bomo ob pregledu relevantne literature preverili, ali je ta snov (oziroma gradbeni proizvodi iz polistirena) v svojem celotnem življenjskem ciklu kakorkoli nevarna za človeka, druga živa bitja in okolje. Namen raziskave je s sistematičnim pregledom literature preučiti problematiko polistirena v naravnem in grajenem okolju ter preveriti možen negativen vpliv izpostavljenosti polistirenu oziroma osnovnemu gradniku stirenu. Raziskali bomo njegovo kemijsko sestavo in fizikalne lastnosti. Analizirali bomo zakonske omejitve in priporočene mejne vrednosti izpostavljenosti stirenu. Vzporedno bomo poiskali in preučili obstoječe raziskave, ki so bile narejene na tem področju. Rezultate različnih raziskav bomo med seboj primerjali in jih ovrednotili. Na osnovi ugotovitev bomo predlagali nekaj ukrepov, s katerimi se lahko zavarujemo pred negativnimi vplivi polistirena, in nekaj ukrepov, ki bi zmanjšali vpliv polistirena na okolje.

Zahtevane ali priporočene mejne vrednosti koncentracij smo primerjali z izmerjenimi koncentracijami iz raziskav. Na osnovi ugotovitev smo predlagali ukrepe, s katerimi lahko zmanjšamo možen vpliv polistirena na življenjsko okolje.

2 • TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Fizikalne in kemične lastnosti polistirena

Kemijska sestava polistirena je $(C_8H_8)_n$. Vsebuje torej kemijska elementa ogljik in vodik. Nastane s polimerizacijo, ko se med seboj povežejo monomeri stirena. Pri polimerizaciji v vinilni skupini razpade dvojna ogljikova vez, t. i. pi vez, in nastane nova enojna ogljikova vez, t. i. sigma vez, ki veže novi monomer stirena na verigo. Novonastala sigma vez je veliko močnejša kot razpadla pi vez, zato je polistiren zelo težko depolimerizirati (EB, 2015). Lastnosti materiala so določene s kratkimi Van der Waalsovimi vezmi med verigami polimerov. Ker so molekule dolge verige ogljikovodikov, ki vsebujejo na tisoče atomov, je skupna privlačna sila med molekulami velika. Med segrevanjem so verige sposobne

Ime po IUPAC	poli(1-feniletan)
Kemijska formula	$(C_8H_8)_n$
CAS No.:	9003-53-6
Gostota	0,96–1,04 g/cm ³
Temperatura tališča	~ 240 °C (zmehča se že pri temperaturi okoli 95 °C)
Toplotna prevodnost	0,033 W/(mK) (pena z gostoto 0,05 g/cm ³)

Preglednica 1 • Fizikalno-kemične lastnosti polistirena ((PPD, 2015), (Wunsch, 2000), (Haynes, 2016))

prevzeti obliko višje stopnje in zdrsejše ena mimo druge. Ta medmolekularna šibkost daje materialu prožnost in elastičnost ((EB, 2015), (PPD, 2015)).

Polistiren je termoplast, kar pomeni, da ni odporen proti povišanim temperaturam. Pri sobni temperaturi je trdna brezbarvna plastika, ob segretju (nad 95 °C) najprej

postane plastičen, primeren za oblikovanje, nato pa tekoč, primeren za brizganje. Po ohlaiditvi talina otrdi in obdrži dano obliko. Procesi oblikovanja so reverzibilni, kar pomeni, da polistiren lahko recikliramo (ACC, 2012).

Polistiren je zelo lahek glede na svoj volumen, njegova gostota je okoli 1,0 g/cm³. Polistiren je kemično zelo inertna snov. Je odporen proti kislinam in bazam, je pa lahko raztopljiv s številnimi klorovimi in aromatskimi ogljikovodikovimi topili (PPD, 2015).

Če je sežiganje polistirena nepopolno (pri nizkih temperaturah), se izločajo ogljikove saje in številne zdravju škodljive hlapne spojine. Identificiranih je bilo že več kot 90 produktov gorenja polistirena (policiklični aromatski ogljikovodik (PAH), alkil benzen, benzoperilen, benzaldehid, naftalen, azulen in drugi), katerih tvorba je odvisna od temperature gorenja (BASF, 1989). Fizikalne in kemijske lastnosti so navedene v preglednici 1.

2.2 Vrste polistirena za proizvode

2.2.1 Uliti polistiren

Uliti polistiren se uporablja za proizvodnjo pribora za enkratno uporabo, ovitkov za CD-je, dimne detektorje, okvirje registrskih tablic, različnih plastičnih modelov in veliko drugih predmetov, kjer je zaželena poceni toga plastika. Proizvodne metode vključujejo tako vakuumsko oblikovanje kot tudi oblikovanje z brizganjem (Norton, 2008).

2.2.2 Penjeni polistiren

Polistirenske pene ali penjeni polistiren je zelo dober toplotni izolator, zato ga zelo pogosto srečamo kot toplotnoizolacijski gradbeni material. Čeprav imajo pene (EPS in XPS) zaprte celice, niso popolnoma vodoodporne ali paroneprepusne (Neotherm, 2016).

2.2.2.1 Ekspandirani polistiren (EPS)

Ekspandirani polistiren (stiropor) je toga, močna zaprtocelična pena. Po navadi je bel in narejen iz vnaprej ekspandiranih kroglic polistirena, ki se med seboj zlepijo pri visoki temperaturi. Lahko ga tudi vlijemo s posebnim postopkom. Zaradi svojih tehničnih lastnosti, kot so majhna teža, togost in lahka možnost oblikovanja, je EPS zelo vsestransko uporaben. Najpogosteje se uporablja kot toplotna izolacija stavbnega ovoja. Če v stiropor vgradimo grafit, aluminij ali ogljikova vlakna, še izboljšamo njegove izolacijske sposobnosti (Čavić, 2013). Stiropor se uporablja tudi pri cestogradnji kot jedro v nasipih ali pri nenosilnih in nosilnih gradbenih elementih, kot so ICF (ang. *Insulated Concrete Forms*) in SIPS (ang. *Structured Insulated Panel System*) (GPSM, 2012). Stiropor zelo dobro blaži udarce, zato se veliko uporablja za različne embalaže. Uporaba stiropora ni primerna na vlažnih območjih, saj lahko voda, kljub njegovi zaprtocelični sestavi, prodre med zaprte celice in s tem močno zmanjša toplotnoizolativne lastnosti stiropora (Gnip, 2007).

2.2.2.1 Ekstrudirani polistiren (XPS)

Ekstrudirani polistiren je zgrajen iz zaprtih celic, ki omogočajo izboljšano hrapavost površine, večjo togost in manjšo toplotno prevodnost v primerjavi z EPS-om. Ima večjo odpornost proti difuziji vodne pare kot EPS, zato je primernejši za uporabo v bolj namočenih okoljih. Zelo radi ga uporabljajo arhitekti za izdelovanje različnih predstavitvenih modelov (Fragmat, 2016).

2.2.3 Kopolimeri

Kopolimeri poleg stirena vsebujejo tudi enega ali več drugih monomerov. Te dodajamo zato, da izboljšamo določene lastnosti polistirena. Da se dodani monomeri uspešno vežejo na stiren, jih je treba dodati v času polimerizacije. Postopek se imenuje kopolimerizacija. Najpogosteje se dodajajo polibutadien (HIPS), akrilonitril in butadien (ABS) ter divinilbenzen ((Doroudiani, 2004), (Doroudiani, 2002), (Mihai, 2007)).

2.2.4 Usmerjeni polistiren

Usmerjeni polistiren (ang. *Oriented polistiren*, OPS) se izdeluje z raztezanjem ekstrudirane folije polistirena. S tem izboljšamo prosojnost materiala in povečamo togost. OPS se uporablja za različne embalaže, pri čemer proizvajalci želijo, da uporabniki vidijo izdelek skozi embalažo. Prednost OPS je, da je cenejši kot druge podobne plastike (PP, PET, HIPS), glavna pomanjkljivost pa, da je krhek in zato hitro razpoka (Multi-plastics, 2016).

Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, MAK Commission, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Environmental Protection Agency (EPA), World Health Organization (WHO) in Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHA).

S sistematičnim pregledom literature želimo:

1. preučiti zakonske zahteve in mejne vrednosti koncentracij izpostavljenosti,
2. preučiti problematiko polistirena v naravnem in grajenem okolju,
3. primerjati priporočene in zahtevane mejne vrednosti koncentracij z izmerjenimi koncentracijami iz raziskav,
4. preučiti možen negativen vpliv na zdravje ljudi, živali in okolje s pomočjo pregleda raziskav,
5. definirati ukrepe, s katerimi lahko zmanjšamo vpliv polistirena na grajeno in naravno okolje.

3 • METODA

Sistematičen pregled literature smo opravili v iskalnih bibliografskih, faktografskih in drugih bazah podatkov, kot so Science Direct, Pub Med, Cobiss, Dimdi, Eric, Biosis, Svarog, Espacenet, US Patent and Image Fulltext Database, Toxnet, Hazardous Chemicals Database in NIST Chemistry WebBookChemIDPlus. Relevantno literaturo smo iskali tudi na drugih spletnih naslovih tujih in domačih vladnih in nevladnih organizacij, kot so World Health Organization (WHO), European Commission, International Labour Organization (ILO), Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Eurostat, Statistični urad RS (SURS), Uradni list EU, Uradni list RS, Ministrstvo za zdravje RS, Ministrstvo za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti RS, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS in Min-

istrstvo za okolje in prostor RS. Iskalni niz smo izdelali v slovenščini in angleščini: »Polistiren« ter »Polistiren IN zdravje IN vpliv IN okolje«, angleško »Polystyrene« in »Polystyrene AND health AND impact AND environment«. Pregledali smo literaturo, objavljeno med letoma 1978 in 2016. Starejša literatura ni relevantna za ta članek. Vključitveni kriterij so bili recenzirani članki, monografije, pravni akti, priložniki in druga strokovna literatura, ki je obravnavala tematiko vpliva polistirena na okolje in zdravje ljudi. Zajeli smo celoten življenjski cikel. Izključitveni kriterij so bili nerecenzirani članki in področja, ki niso bila predmet našega preučevanja. Mejne vrednosti smo iskali na različnih spletnih naslovih, kot so American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), DFG Commission for the

4 • REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 Zakonodajni okvir

Uredba (EU) št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov navaja, da morajo biti vsi gradbeni objekti načrtovani in zgrajeni tako, da ne ogrožajo varnosti ljudi, živali ali imetja ter ne škodujejo okolju (Uredba (EU) št. 305/2011). Osnovni zahtevi številka 3 (Higiena, zdravje in okolje) in številka 7 (Trajnostna raba naravnih virov) Uredbe (EU) št. 305/2011 še podrobneje opredelita zahteve, ki jih morajo gradbeni proizvodi izpolnjevati med celotnim življenjskim ciklom. Predvsem pa ne sme biti ogrožena higiena ali zdravje v zaprtih prostorih. Poleg tega ta uredba določa uporabo oznake CE na gradbenih proizvodih. Oznaka CE se nameni na tiste gradbene proizvode, za katere je proizvajalec pripravil izjavo o zmogljivosti, ki vsebuje navedene lastnosti gradbenega proizvoda v zvezi z bistvenimi značilnostmi, vključno s podatki o vsebnosti nevarnih snovi. Informacije o vsebovanih nevarnih snoveh bi se morale na začetku omejevati na snovi iz REACH (31., 33. čl., Uredba ES 1907/2006) in CLP 1272/2008.

Polistiren sam po sebi ni nevaren za človeka, nevaren je stiren, ki je osnovni gradnik polistirena. Stiren pa preko izpostavljenosti človeka s polistrenom (embalaža za hrano, pri proizvodnji, s pitjem vode ...) lahko vstopi v človeško telo (WHO, 1996). Vpliv je odvisen od odmerka, časa izpostavljenosti, vrste snovi in individualnih značilnosti oseb (Yassi, 2001). Uživanje stirena lahko povzroči slabost in bruhanje (NIOSH, 2007) ter drugo nelagodje (NIOSH, 1978).

Omejiti porabo polistirenskih pen je prioriteta številnih mednarodnih okoljskih organizacij. Veliko je bilo vloženega truda, da bi našli alternativne materiale, predvsem za polistirenske pene, uporabljene v prehranski industriji. Leta 1988 je Suffolk County v New Yorku postal prvi kraj v Združenih državah Amerike, ki je prepovedal uporabo polistirena za predmete, ki prihajajo v stik z živili (NYT, 1988). V številnih državah so prepovedali uporabo polistirena v živilski industriji ((Herron, 2006), (Sanchez, 2013), (Ordinances, 2012)). Kitajska je leta 1999 prepovedala uporabo posode iz ekspaniranega polistirena (Sun, 2013). Podobno sta naredili tudi Indija in Tajvan leta 2007 (Quan, 2006). Od 1. januarja 2020 bo v Evropi prepovedan ekstrudirani polistiren, ki bo vseboval fluorirane ogljikovodike, ki imajo

Predpisane mejne vrednosti (ppm, mg/m ³) ¹	
Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, MAK ² (CIHCCWA, 2003)	20 ppm (86 mg/m ³) TWA ³
	600 mg/g kreatinina BAT ⁴
Priporočene mejne vrednosti (ppm, mg/m ³ , mg/L) ¹	
NIOSH ⁵ (NIOSH, 2016)	50 ppm (215 mg/m ³) TWA
	100 ppm (425 mg/m ³) ST ⁶
OSHA ⁷ (OSHA, 1994)	100 ppm (425 mg/m ³) TWA
	200 ppm (850 mg/m ³) C ⁸ (maksimalna vrednost),
	600 ppm (2550 mg/m ³), s 5-minutnim maksimumom vsake tri ure
OEHA ⁹ (OEHA, 1999)	90 ppm (21 mg/m ³) Akutna REL ¹⁰ v zraku
	3,9 ppm (0,9 mg/m ³) Kronično vdihavanje REL
	0,0005 mg/L Ciljna koncentracija v pitni vodi

Preglednica 1 • Predpisane in priporočene mejne vrednosti stirena v bivalnem in delovnem okolju (CIHCCWA, 2003), (NIOSH, 2016), (OSHA, 1994), (OEHA, 1999)

- 1 Pretvorba pri temperaturi 25 °C in tlaku 1 atm.
- 2 MAK – Maximum Workplace Concentration (maximale Arbeitsplatz-Konzentration), maksimalna dovoljena koncentracija na delovnem mestu.
- 3 TWA – Time Weighted Average, časovno uteženo povprečje za 8-urni delavnik in 40-urni delovni teden.
- 4 BAT – Biological Tolerance Value, biološka tolerančna vrednost.
- 5 NIOSH – The National Institute for Occupational Safety and Health, Nacionalni inštitut za zdravje in varnost pri delu.
- 6 ST – Short Term Exposure, kratkotrajna izpostavljenost.
- 7 OSHA – Occupation Safety and Health Administration, Administracija za zdravje in varnost pri delu.
- 8 C – Maksimalna vrednost.
- 9 OEHA – Office of Environmental Health Hazard Assessment, Urad za presojo vplivov na zdravje okolja.
- 10 REL – Recommended Exposure Limits, priporočena mejna vrednost izpostavljenosti.

potencial za globalno segrevanje, 150 ali več, razen če bo izpolnjeval zahteve v nacionalnem standardu za varnost (Direktiva 517/2014/EU).

Da bi preprečili negativen vpliv na zdravje, so svetovne zdravstvene organizacije določile predpisane in priporočene mejne vrednosti, v glavnem za delovna okolja, ki pri izpostavljeni populaciji povzročajo negativen vpliv na zdravje v odvisnosti od časa izpostavljenosti (vnos z inhalacijo) (preglednica 2).

Področje varovanja in zaščite delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti stirenu v fazi proizvodnje in obdelave obravnava Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu

(Ur. l. RS, št. 100/2001, 39/2005, 53/2007, 102/2010, 43/2011, 38/2015). V prilogi 3 Pravilnika je navedeno, da so prepovedane proizvodnja, izdelava ali uporaba kemičnih snovi in dejavnosti, ki vključujejo na seznamu navedene kemične snovi, na katerem je tudi stiren. Prepoved ne velja, če je kemična snov prisotna v drugi kemični snovi ali če je sestavni del odpadkov, kolikor je vsebnost posamične kemične snovi nižja od določenega masnega odstotka. Prepovedane kemične snovi se izjemoma lahko uporabljajo, ko sta edini namen uporabe znanstvena raziskava in preizkušanje, za dejavnosti, ki so namenjene odstranjevanju kemičnih snovi, prisotnih v obliki stranskih proizvodov ali odpadnih

proizvodov, in za proizvodnjo polizdelkov, ki predstavljajo tveganje za zdravje. Delodajalec mora preprečiti izpostavljenost delavcev kemičnim snovem (stirenu) tako, da se proizvodnja in čimprejšnja uporaba takih kemičnih snovi kot polizdelkov izvaja v zaprtem sistemu, iz katerega se lahko kemične snovi odstranijo samo, če je to potrebno za nadzorovanje procesa ali popravilo sistema (Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu, Ur. l. RS, št. 100/2001, 39/2005, 53/2007, 102/2010, 43/2011, 38/2015).

4.2 Pregled raziskav

4.2.1 Raziskanost področja

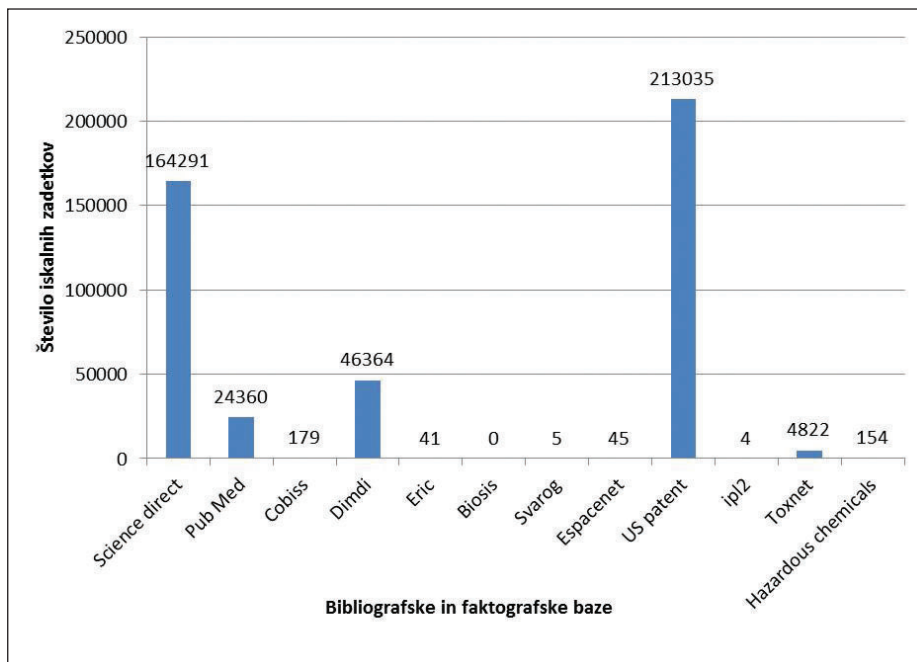
Pregled literature je pokazal, da sta vpliv polistirena na zdravje ljudi in vpliv na okolje v svetu relativno dobro raziskana. V Sloveniji je to področje slabo raziskano. Rezultati števila zadetkov po posameznih bazah (slika 1) so pokazali, da sta največ zadetkov dali spletni strani Science Direct (164.291 zadetkov) in US Patent (213.035 zadetkov), so pa tudi baze podatkov, ki niso dale nobenega rezultata (Biosis). Slika 2 prikazuje raziskanost področja v bazi Science Direct na dan 20. 10. 2016. Raziskave o polistirenu segajo v leto 1935, relevantne raziskave, ki smo jih preučili v sklopu tega članka, pa segajo v leto 1978. Z leti se je število raziskav povečevalo, kar pomeni, da je to področje še vedno zelo aktualno. V pregled je bilo vključenih več kot 40 raziskav.

4.2.2 Vplivi na okolje

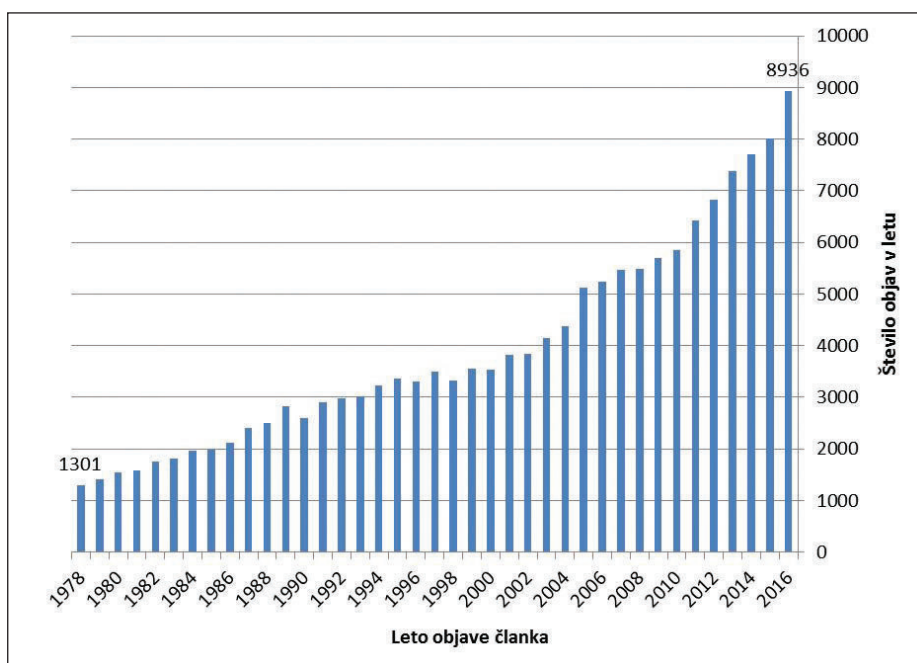
Svetovna produkcija in poraba plastike narašča eksponentno. Že leta 2014 je produkcija plastike preseгла 300 milijonov ton na leto (Crawford, 2017). Od tega predstavlja polistiren več kot dve tretjini vse prodane plastike (Rosato, 2005). Glavni trije svetovni proizvajalci plastike so Kitajska (26 %), Evropa (20 %) in Severna Amerika (19 %). V Evropi je na prvem mestu Nemčija (24,9 %), sledita ji Italija (14,3 %) in Francija (9,6 %) (Crawford, 2017). Polistiren se v naravi zelo počasi razgraja, zato pogosto sproža polemiko med okoljevarstveniki. V obliki odpadka oziroma smeti se vse pogosteje pojavlja v zunanjem okolju, še posebno ob obalah in vodnih poteh, najpogosteje v penjeni obliki, ki plava na vodi (Kwon, 2014). V oceanih letno konča kar 10 % vse proizvedene plastike (Crawford, 2017).

4.2.2.1 Proizvodnja

Pri proizvodnji polistirenske pene se uporabljajo plini za razpihovanje kroglic polis-



Slika 1 • Število zadetkov po bazah za iskalni profil: Polystyrene



Slika 2 • Časovni prikaz raziskanosti področja v bazi Science Direct na dan 20. 10. 2016.

tirena v peno. Pri ekspandiranih polistirenih se najpogosteje uporabljajo ogljikovodiki, na primer pentan. Ti lahko povzročijo požar v tovarni v času izdelave ali v skladišču s svežim (novim) stiroporom, vendar imajo relativno blag vpliv na okolje (Mazij, 1998). Pri izdelavi ekstrudiranega polistirena se najpogosteje uporabljajo fluorirani ogljikovodiki

(HFC-134a), ki imajo približno od 1000- do 1300-krat večji potencial za globalno segrevanje kot ogljikov dioksid ((Earth Resource Foundation, 2016), (EPA, 2016)). To se bo v prihodnosti spremenilo, saj so se 15. oktobra 2016 pogajalci iz 197 držav zbrali na srečanju Programa Združenih narodov za okolje (United Nations Environment Programme) v Kigaliju v

Ruandi in dosegli pravno zavezujoče soglasje o opustitvi fluoriranih ogljikovodikov. Postopek naj bi začele razvite države (Evropa, Amerika in druge) z letom 2019 (BBC News, 2016).

4.2.2.2 Razgradljivost v naravi

Zavržen polistiren se v naravi ne razgradi več sto let in je odporen proti fotolizi (kemijski proces, kjer se snovi razgradijo pod vplivom ultravijolične svetlobe, v nekaterih primerih tudi vidne svetlobe, zaradi cepjenja vezi v molekulah) (Bandyopadhyay, 2007). Tega se zavedajo številni proizvajalci, ki že izdelujejo okolju prijaznejšo plastiko ((Singh, 2016), (Mehdi, 2016)).

4.2.2.3 Odpadki

Odpadni polistiren lahko povzroči velik problem. Količina mikroplastike v sedimentu narašča, prav tako količina v tekočih vodah in oceanih ((Saido, 2014), (Hong, 2016)). Več kot 80 odstotkov plastike v oceanih izvira s kopnega, ki priteče po rekah in se s stalnimi morskimi tokovi prenaša po vsem svetu (da Costa, 2016). Živali ne prepoznajo polistirena kot umetnega materiala in ga lahko celo zamenjajo za hrano. Kroglice polistirenske pene se zaradi svoje male teže lahko prenašajo z vetrom in plavajo na vodi. To lahko povzroči resne težave pri zdravju ptic in morskih živali, ki pogoltno velike količine kroglic stiropora ((Nasser, 2016), (Hofer, 2008)). Najpogostejša oblika odpadne plastike so majhni delčki in peleti, ki jih je zelo težko počistiti (Lozoya, 2016). Onesnaženje s plastiko je vseprisotno, vendar je to področje slabo raziskano (Driedger, 2015). Treba bi bilo uvesti enotne metode za spremljanje onesnaženja s plastiko ((Van Cauwenberghe, 2015), (Giacomo, 2016), (Kopper, 2010)).

4.2.2.4 Recikliranje

Na splošno polistiren ni sprejet v program ločenega zbiranja odpadkov in se ne ločuje posebej in ne reciklira, z izjemo Nemčije, kjer se. Večina izdelkov iz polistirena se trenutno ne reciklira, saj za to ni interesa. Ker ima polistirenska pena majhno gostoto, njeno zbiranje ni ekonomično, čeprav so stisnjeni odpadki polistirena zelo zaželeni pri proizvajalcih recikliranih plastičnih peletov (Zhen, 1997). Ostanke ekspaniranega polistirena se zlahka dodajajo k različnim materialom EPS (na primer izolacijske plošče EPS), ki se uporabljajo v gradbeništvu (Pol, 2010). Vendar kot je bilo že omenjeno, je problematično zbiranje odpadnega polistirena. Odpadni polistiren se uporablja za izdelavo različnih produktov, kot so

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Skладиščenje blokov iz ekspaniranega polistirena (Mazij, 1998)	Preveriti nevarnosti pri skladiščenju polistirena	Plini za razpihanje polistirena lahko povzročijo požar v skladišču s svežim polistirenom.
Plastics (Rosato, 2005)	Splošen pregled plastike	Obstaja več vrst plastik, polistiren predstavlja več kot dve tretjini vse prodane plastike.

Preglednica 3 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z vplivi polistirena na okolje v času proizvodnje

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Integrated Plastic Waste Management: Environmental and Improved Health Approaches (Singh, 2016)	Potreba po upravljanju plastičnih odpadkov	Zavedanje, da je treba upravljati odpadno plastiko in razvijati okolju prijazne plastične izdelke.
Biodegradation of Bioplastic in Natural Environments (Mehdi, 2016)	Razgradnja plastike v naravnem okolju	Plastika se v naravi zelo počasi razkroja, tega se zavedajo številni proizvajalci, ki izdelujejo okolju prijaznejšo plastiko.

Preglednica 4 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z razgradljivostjo polistirena v naravi

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
New analytical method for the determination of styrene oligomers formed from polystyrene decomposition and its application at the coastlines of the North-West Pacific Ocean (Saido, 2014)	Postaviti in preveriti novo analitično metodo za determinacijo oligomerov stirena, nastalih pri razgradnji polistirena	Oligomeri stirena lahko izvirajo iz kemijske razgradnje polistirena, koncentracije stirena so večje v pesku kot v morski vodi.
Are styrene oligomers in coastal sediments of an industrial area aryl hydrocarbon-receptor agonists? (Hong, 2016)	Ali so oligomeri stirena v obalnih sedimentih na industrijskem območju agonisti arila ogljikovodikovih receptorjev?	Najdene so bile velike koncentracije oligomerov stirena (SO) v celinskih potokih na industrijskih območjih, vzpostavljene so bile potencialne vrednosti SO.
Plastics in the Environment – Sources, fates, and Effects (da Costa, 2016)	Določiti vire, usodo in vpliv plastike na okolje	Število raziskav o usodi plastike hitro narašča, več kot 80 % plastike v oceanih izvira s kopnega, plastika pride v oceane po rekah in se s stalnimi tokovi prenaša po svetu.
Secreted protein eco-corona mediates uptake and impacts of polystyrene nanoparticles on <i>Daphnia magna</i> (Nasser, 2016)	Vpliv polistirena na plankton	Polistiren ima vpliv na plankton, vpliva na sproščanje beljakovin in sposobnost hranjenja.
Marine pollution: new research (Hofer, 2008)	Vpliv polistirena na morse in obmorske živali	Živali ne prepoznajo polistirena kot umetnega materiala in ga lahko zamenjajo za hrano.
Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este: Unseen critical residents? (Lozoya, 2016)	Plastika na obalah Urugvaja	Količina plastike v Urugvaju je primerljiva s količinami po vsem svetu, najpogostejše oblike so majhni delčki in peleti, vir onesnaženja sta kopno kot tudi morje, manjše delčke je težje počistiti kot večje.
Plastic debris in the Laurentian Great Lakes (Driedger, 2015)	Pregled in razvrstitev plastičnih odpadkov v Lavrencijevih Velikih jezerih	Plastični odpadki so velik okoljski izziv, veliko je še nejasnosti, saj je to področje slabo raziskano.
Microplastics in Sediments: A Review of Techniques, Occurrence and Effects (Van Cauwenberghe, 2015)	Splošni pregled problema mikroplastike v sedimentih	Količina mikroplastike v sedimentih po svetu, potreba po standardizaciji tehnik ekstrakcije.
Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat (Giacomo, 2016)	Pregled onesnaženosti oceanov s plastiko	Onesnaženje s plastiko je vseprisotno, vendar še vedno ni nobene kvantitativne ocene, treba bi bilo uvesti enotne metode za spremljanje onesnaževanja s plastiko.
Food packaging legislation: Sanitary aspects (Kopper, 2010)	Razprava o zakonodaji o materialih, ki so v stiku s hrano	Regulativa, ki jo je ustvaril Codex Alimentarius Commission, je dobra; med zakonodajo v ZDA in v EU so velike razlike.

Preglednica 5 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z odpadki polistirena

obešalniki za obleke, klopi v parkih, cvetlični lončki, igrače, ravnila, ogrodja spenjačev, posode sadik, okvirji slik, arhitekturni ulitki ... (PPC, 2009). Uporablja se tudi kot dodatek v betonu, s čimer se izboljšajo toplotnoizolativne lastnosti (Saikia, 2012). Trenutno se v Veliki Britaniji reciklira 100 ton ekspaniranega polistirena vsak mesec (Eccleston and Hart Polystyrene, 2016). Raziskava Arvanitoyannisa, 2013, opozarja, da biorazgradljivi polimeri niso najboljša zamenjava klasičnih polimerov, saj je njihova razgradnja zelo odvisna od okolja razgradnje in pripadajočih pogojev (Arvanitoyannis, 2013).

4.2.2.5 Sežiganje

Če polistiren pravilno sežigamo (temperature do 1000 °C, veliko zraka), so produkt pri gorenju voda, ogljikov dioksid in morda majhne količine ostankov halogenskih spojin, ki so bile dodane kot zaviralci gorenja. Če pa je sežiganje nepopolno (pri nizkih temperaturah), se izločajo ogljikove saje in mešanica hlapnih spojin. Identificiranih je bilo že več kot 90 produktov gorenja (polciklični aromatski ogljikovodik (PAH), alkil benzen, benzoperilen, benzaldehid, naftalen, azulen in drugi), katerih tvorba je odvisna od temperature gorenja ((BASF, 1989), (Argonne, 2011), (ACC, 2009), (Hawley-Fedder, 1984)). Sežiganje plastike bi lahko zamenjala piroliza (Verma, 2016).

4.3. Vpliv na zdravje človeka

Izsledki raziskav o uporabi polistirena v živilski industriji in možnem vplivu na zdravje niso enotni. Na strani *Plastic Food Service Products*, American Chemistry Council (ACC, 2010-2011), je navedeno, da so na podlagi epidemioloških raziskav, ki so potekale več kot petdeset let (ACC, 2010-2011), vladne organizacije za zdravje določile, da uporaba polistirena v živilski industriji ni nevarna. Med letoma 1999 in 2002 je 12 znanstvenikov z različnih področij (toksikologije, medicine, analize tveganj, farmakokinetike ...) naredilo celovit pregled morebitnih zdravstvenih tveganj zaradi izpostavljenosti stirenu (ACC, 2010-2011). Raziskava je pokazala, da je stiren v naravi prisoten v hrani, kot so jagode, govedina, začimbe, in se naravno proizvaja v pridelavi izdelkov (na primer vino ali sir). Preverili smo vse objavljene podatke o količini stirena, ki se lahko pojavi v prehrani, in ugotovili, da je treba preprečiti izpostavljenost izdelkom iz stirena, ki so v stiku s hrano (embalaže in posoda iz polistirena), še posebno če so ti izdelki namenjeni grelju v mikrovalovni pečici (Cohen, 2002). Miranda

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Reclamation of styrene monomer from waste polystyrene plastics by catalytic degradation (Zhen, 1997)	Pridobivanje stirena iz odpadnega polistirena	V laboratorijskem stanju znaša donos tekočega proizvoda, ki vsebuje 55,5% stirena, 97,6%; predelava odpadne plastike je torej lahko dobičkonosna
Upcycling: converting waste plastics into paramagnetic, conducting, solid, pure carbon microspheres (Pol, 2010)	Recikiranje plastike	Predstavitev okolju prijaznega postopka (brez uporabe topil), ki pretvarja različno odpadno plastiko v kroglice ogljika, ta pa ima veliko industrijsko vrednost.
Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation (Saikia, 2012)	Uporabnost plastike v betonu	Plastiko lahko uporabimo kot nadomestni del agregata v betonu, tako dobimo lažji beton, njegova tlačna trdnost se le malo zmanjša, tak beton je bolj odporen v kemijsko zahtevnih območjih, ima večjo odpornost proti zmrzal (+EPS).
Waste management for polymers in food packaging industries (Arvanitoyannis, 2013)	Pregled in predstavitev biorazgradljivih polimerov za embalažo za živila	Biorazgradljivi polimeri niso najboljša zamenjava klasičnih polimerov, njihova razgradnja je zelo odvisna od primernosti okolja razgradnje.

Preglednica 6 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z recikiranjem polistirena

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Products obtained during combustion of polymers under simulated incinerator conditions II. Polystyrene (Hawley-Fedder, 1984)	Definirati produkte gorenja polistirena	Identificirani produkti gorenja polistirena v odvisnosti od temperature gorenja.
Toxic pollutants from plastic waste (Verma, 2016)	Pregled strupenih polutantov iz plastičnih odpadkov	Pri gorenju plastike se v ozračje sproščajo strupene snovi, sežiganje plastike bi lahko zamenjala piroliza.

Preglednica 7 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo s sežiganjem polistirena

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
A comprehensive evaluation of the potential health risks associated with occupational and environmental exposure to styrene (Cohen, 2002)	Ocena tveganja zdravja zaradi izpostavljenosti stirenu	Migracija stirena iz plastične embalaže v hrano je večja, če so bili izdelki v mikrovalovni pečici.
Are we eating plastic-ingesting fish? (de A. Miranda, 2016)	Mikroplastika, ki jo zaužijejo ribe, s katerimi se prehranjujemo	Plastični peleti so bili najdeni v 22 % rib v pristanišču, kraljeva skuša 62,5 %, ostronosi morski pes 33 %, plastika se bioakumulira in biomagnificira po prehranjevalni verigi.

Preglednica 8 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo s polistirenom (stirenom) v hrani

(de A. Miranda, 2016) je v svoji raziskavi našel plastične pelete v kar 22 % pristaniških rib (ostronosi morski pes 33 %, kraljeva skuša 62,5 %). Plastika se v živalih biološko kopiči (bioakumulacija) in koncentracija poveča po prehranjevalni verigi (biomagnifikacija) (de A. Miranda, 2016). Glede na neenotnost raziskav

so potrebne dodatne raziskave o možnih vplivih stirena na zdravje ljudi, poleg tega je treba izvesti ukrepe za preprečevanje izpostavljenosti stirenu.

Kot je bilo omenjeno, se polistiren veliko uporablja kot embalaža za hrano in pijačo. Po navedbah IARC (International Agency for

Research on Cancer) spada stiren, ki je osnovni gradnik polistirena, v skupino 2B (IARC, 2002), kar pomeni, da je potencialno rakotvoren za človeka. Uredba (ES) št. 1272/2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi razvršča stiren v naslednje razrede nevarnosti: vnetljiva tekočina kategorije 3 (plamenišče ≥ 23 °C in ≤ 60 °C), akutna strupenost kategorije 4 (kjer je ocena akutne strupenosti (ATE): $300 < ATE \leq 2000$ za oralen način izpostavljenosti (mg/kg telesne teže), $1000 < ATE \leq 2000$ za dermalen način izpostavljenosti (mg/kg telesne teže), $2500 < ATE \leq 20000$ za izpostavljenost plinom (ppmv), $10 < ATE \leq 20$ za izpostavljenost hlapom (mg/l) in $1 < ATE \leq 5$ za izpostavljenost prahu in meglicam (mg/l)), dražilno za oči kategorije 2 (snov po nanosu na oči živali povzroči vsaj pri dveh testnih živalih od treh pozitiven učinek na motnost roženice, iritis, pordelost veznice ali edem veznice, izračunan kot srednji rezultat po ocenjevanju 24, 48 in 72 ur po namestitvi testne snovi in ki se v celoti popravi med opazovanjem 21 dni) in jedko za kožo kategorije 2 (Uredba GHS, 2008). Skrb ostaja, čeprav količina stirena v potrošniških izdelkih ne sme presegati enega odstotka (0,5 % za maščobna živila) ((Gardiner, 2011), (FDA, 2014), (Genualdi, 2014)). Bilo je namreč ugotovljeno, da oligomeri stirena v posodah iz polistirena lahko migrirajo v hrano (Sakamoto, 2000). V raziskavi Sakamate so bile uporabljene različne komercialne embalaže za živila, za topilo, ki stimulira hrano, pa je bilo uporabljeno rastlinsko olje. Stiren je migriral v hrano (olje) po uporabi embalaže v mikrovalovni pečici (3 min.) in tudi, če je bila embalaža samo skladiščena (1 dan pri 20 °C). Količina stirena v hrani narašča s kvadratom časa izpostavljenosti (Murphy, 2006). V tej raziskavi je bilo opazovano migriranje stirena v olje za kuhanje. Japonska raziskava Yanagibe (2008) je na miših pokazala, da lahko stiren, ki je v embalaži hrane za hitro pripravo, poveča raven hormonov v ščitnici (Yanagiba, 2008). Miši so bile 4 dni hranjene z različnimi količinami stirena (0, 32 ali 64 $\mu\text{mol/kg}$). Raziskava Marchettija (2014) je pokazala, da zadostna količina nanodelcev polistirena (uporabljeni sta bili velikosti 50 nm in 100 nm) vpliva na absorpcijo vitamina D, katerega glavna naloga je imunska obramba (zlasti proti inhalacijskim mikrobov), v pljučni tekočini (Marchetti, 2014). Venet (2015) je v svoji raziskavi iz leta 2015 ugotovil, da stiren okrepi negativne učinke impulznega hrupa na organizem. Raziskava je bila opravljena na podganah, ki so bile izpostavljene 600 ppm

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition (Lithner, 2011)	Identificirati nevarne kemikalije v proizvodnji polimerov	Klasifikacija 55 polimerov; stiren je eden najnevarnejših kopolimerov, čeprav se vsestransko uporablja in je rakotvoren.
Updated evaluation of the migration of styrene monomer and oligomers from polystyrene food contact material to foods and food simulants (Genualdi, 2014)	Količina stirena v hrani, ki je v stiku s polistirenom	Koncentracija monomera stirena je bila določena v 24 izdelkih iz polistirena, koncentracije monomera stirena v hrani so bile 2,66 do 163 ng/g, vse vrednosti so bile pod mejnimi (USFDA).
Quantitative Analysis of Styrene Dimer and Trimers Migrated from Disposable Lunch Boxes (Sakamoto, 2000)	Analiza migracije stirena iz embalaže za živila	Oligomeri stirena v posodah za živila iz polistirena lahko migrirajo v hrano.
Styrene migration from general-purpose and high-impact polystyrene into food-simulating solvents (Murphy, 2006)	Migracija stirena v živila	Več ko je stirena v polistirenu, več ga migrira v hrano, količina stirena v hrani narašča s kvadratom časa izpostavljenosti.
Styrene Trimer May Increase Thyroid Hormone Levels via Down-Regulation of the Aryl Hydrocarbon Receptor (AhR) Target Gene UDP-Glucuronosyl-transferase (Yanagiba, 2008)	Vpliv stirena na raven hormonov	Stiren, ki je v embalaži hrane za hitro pripravo, lahko zviša raven hormonov v ščitnici.
Adsorption of surfactant protein D from human respiratory secretions by carbon nanotubes and polystyrene nanoparticles depends on nanomaterial surface modification and size (Marchetti, 2014)	Vpliv polistireniovih nanodelcev na adsorpcijo vitamina D v pljučih	Velikost in koncentracija nanodelcev polistirena vplivata na adsorpcijo vitamina D v pljučni tekočini.
The tonotopicity of styrene-induced hearing loss depends on the associated noise spectrum (Venet, 2015)	Vpliv izgube sluha zaradi stirena v povezavi s spektrom hrupa	Impulzni hrup je bolj škodljiv kot trajajoči hrup, stiren okrepi učinke impulznega hrupa.

Preglednica 9 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z vplivi stirena na zdravje pri splošni populaciji

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Monitoring of workers exposure to low levels of airborne monomers in a polystyrene production plant (Samimi, 1982)	Izpostavljenost delavcev polistirenu	Največja koncentracija stirena je bila 14,8 ppm, kar je pod mejnimi vrednostmi (časovno uteženo povprečje 50 ppm).
Determinating of styrene in the urine of workers manufacturing polystyrene plastics (Dolara, 1984)	Koncentracije stirena v urinu delavcev v proizvodnji polistirena	Koncentracije stirena v urinu so bile med 0,7 in 4,1 mg/l, opaziti ni bilo nobenih znakov mutagenega dejavnika.
Health status of styrene-polystyrene polymerization workers (Lorimer, 1978)	Zdravstveno stanje delavcev s polistirenom	Rezultati so pokazali, da ni bistvenih sprememb v izpostavljeni skupini.
Monitoring of workers exposure to low levels of airborne monomers in a polystyrene production plant (Samimi, 1982)	Izpostavljenost delavcev polistirenu	Največja koncentracija stirena je bila 19,8 ppm, kar je pod mejnimi vrednostmi (časovno uteženo povprečje 50 ppm).

Preglednica 10 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z vplivi stirena na zdravje delavcev v tovarnah s proizvodnjo polistirena

stirena v zraku in hrupu širine ene oktave s središčem pri 8 kHz ter ekvivalentno stalno ravno hrupa 80 dB povprečno na 8 ur.

Po navedbah (Samimi, 1982) je približno 90.000 delavcev v različnih tovarnah po svetu s proizvodnjo polistirena izpostavljenih stirenu. Izpostavljenost stirenu pa lahko povzroči glavobole, utrujenost, omotičnost, zmedenost, zaspanost, splošno slabo počutje, težave pri koncentraciji in občutek zastripitve (OSHA, 2016). Številne raziskave so se ukvarjale s količino vdihanega stirena delavcev v tovarnah s polistirenom ((Samimi, 1982), (Dolara, 1984), (Lorimer, 1978), (Samimi, 1982)). Vse raziskave so merile dejansko koncentracijo stirena na vzorcu izpostavljenih delavcev (preglednica 10). Koncentracije vdihanega stirena delavcev so bile povišane, vendar vse pod mejnimi vrednostmi, določenimi pri zdravstvenih organizacijah (50 ppm glede na celoten delavnik) (NIOSH, 2016). Z namenom zaščite zaposleni, bi bilo treba opraviti dodatne raziskave na tem področju in spodbuditi preventivne ukrepe.

Velika onesnaženost okolja z odpadno plastiko ima vpliv tudi na ljudi. Plastični odpadki so potencialno leglo človeku nevarnih patogenov. Ker ima plastika zelo dolgo dobo uporabnosti, zelo dolgo lahko potuje po naravnem okolju in tako prenaša povzročitelje bolezni tudi pri daljših razdaljah. Mikrobi, povezani s plastiko, so na onesnaženih plažah lahko škodljivi za kopalce ((Keswani, 2016), (Turner, 2016)). Prav tako onesnaženost na obalnih območjih vpliva na upad turizma (Williams, 2016).

4.4 Požarna nevarnost

Tako kot vse druge organske spojine je tudi polistiren gorljiv. Polistiren ima oznako B3, kar pomeni, da je lahko vnetljiv (DIN 4102, 1998). V gradbeništvu se zato ne sme uporabljati, če ni primerno zaščiten. Pri fasadah ga na primer zaščitimo s cementnim lepilom in zaključnim slojem, dodani so tudi zaviralci gorenja. Vnetje polistirena lahko povzroči požar, kar se je v preteklosti že zgodilo. Na primer na letališču v Düsseldorfu in v predoru pod Rokavskim prelivom, kjer se je vnel vlak, ki je prevažal polistiren (Bistra, 2016). Obstajajo primeri, ko so se vnele fasade iz polistirena, čeprav so bile zaščitene, in povzročile veliko materialne škode (Monte Carlo, 2008, Palace Station, 1998, hotel Eldorado, 1997) (Evans, 2014). Poznamo primere, ko so se vnele polistirenske obloge v nočnih klubih, na primer v Kiss Night Clubu (Brazilija, 2013, 242 žrtev), Station Night Clubu (Rhode Island, 2003, 100 žrtev), Argentine Night Clubu (Argentina, 2004,

Naslov raziskave	Namen/cilj	Rezultat
Microbial Hitchhikers on Marine Plastic Debris: Human Exposure Risks at Bathing Waters and Beach Environmets (Keswani, 2016)	Ali so plastični odpadki v pristaniščih človeku nevarni?	Plastični odpadki so potencialno leglo človeku nevarnih patogenov, plastika zaradi svoje dolge dobe trajnosti lahko prenaša povzročitelje bolezni pri daljših razdaljah, mikrobi, povezani s plastiko, so lahko škodljivi za kopalce, to področje je slabo raziskano.
The Environmental Impacts and Health Hazard of Abandoned Boats in Estuaries (Turner, 2016)	Vpliv zapuščenih čolnov in ladij v izlivih na zdravje in okolje	Problem zapuščenih ladij se poglablja, poleg plastike so prisotni še drugi škodljivi materiali (elektronika, gume, plinske cisterne, kovine ...), zapuščeni čolni so vir onesnaženja, ki predstavlja nevarnost za ljudi in živali.
Litter Impacts on Scenery and Tourism on the Colombian North Caribbean coast (Williams, 2016)	Vpliv odpadkov na videz obale in turizem	Obiskovalci imajo zelo radi lepe in očiščene plaže, te pa v resnici velikokrat niso take.

Preglednica 11 • Pregled raziskav, ki se ukvarjajo z vplivom odpadkov polistirena na zdravje človeka

194 žrtev), in terjale številne žrtve (Evans, 2014).

Da polistiren, ki se uporablja za toplotno izolacijo, izpolni stroge požarnovarnostne zahteve po zaščiti stavb in njihovih uporabnikov, se dodajajo zaviralci gorenja (EPA, 2014). Najpogosteje uporabljeni zaviralec gorenja v izolacijskem polistirenu je HBCD (heksabromociklododekan) (XPSA, 2012). HBCD je zelo strupena, obstojna in bioakumulativna kemikalija (Pharos Project, 2013). Pogosto je najdena v ljudeh, živalih in okolju, je strupena za vodne organizme in nevarna za zdravje ljudi (Stamm, 2015). O toksičnosti HBCD in njegovem ogrožanju okolja se je v preteklosti veliko razpravljalo. Zaradi tega se je 28. oktobra 2008 Evropska komisija za kemikalije (European Chemicals Agency) odločila, da HBCD uvrsti na seznam s snovmi SVHC (Substances of Very High Concern), ki vzbujajo veliko zaskrbljenost (ECHA, 2011). 18. februarja 2011 je bil HBCD uvrščen v prilogo XIV k uredbi REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals). Snovi, ki so navedene v prilogi XIV, ni mogoče uporabljati ali ponuditi na trgu, razen če je bilo izdano dovoljenje za posebno uporabo. Prepoved HBCD je bila v celoti uvedena 21. avgusta 2015. Proizvajalci zdaj uporabljajo druge zaviralce gorenja, nekaj najprimernejših

je identificirala EPA v poročilu z naslovom Flame Retardant Alternatives for HBCD, ki je bilo objavljeno junija 2014 (benzen, etenil-1, polimer z 1,3 butadienom, bromiran, benzen, 1,1-(1-metiletiliden) in tetrabromobisfenol A bis (2,3-dibromopropil) eter) (EPA, 2014). Glede na to, da je bila prepoved HBCD uvedena šele pred nekaj leti, predvidevamo, da je HBCD še vedno v večini že vgrajenih gradbenih proizvodih!

Če je gradbeni proizvod zajet v harmoniziranem standardu ali ustreza evropski tehnični oceni, ki je bila zanj izdana, mora proizvajalec v skladu z Uredbo (EU) št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov pripraviti izjavo o lastnostih za proizvod (EPD – *Environmental Product Declaration*), ki vsebuje predvsem podatke o tipu proizvoda, o referenčni številki in datumu izdaje harmoniziranega standarda ali evropske tehnične ocene, ki sta bila uporabljena pri ocenjevanju posamezne bistvene značilnosti, ter o sistemu ocenjevanja in preverjanju nespremenljivosti lastnosti gradbenega proizvoda, ko je ta ponujen trgu (Uredba (EU) št. 305/2011). V spodnji preglednici 12 je prikazanih nekaj izjav o vplivu proizvodov iz polistirena na okolje. Predstavljeni so trije različni proizvodi iz polistirena (EPS, XPS in NEOPOR) treh različnih proizvajalcev.

Proizvod in proizvajalec	Vpliv na zdravje ljudi in okolje med proizvodnjo	Vpliv na zdravje ljudi in okolje med uporabo	Požarna varnost	Emisije VOC-ov
EPS, Industrieverband Hartschaum e.V (EPS EPD, 2009)	Nobeni posebni dodatni ukrepi poleg splošnih ukrepov za zdravje in varnost pri delu niso potrebni.	Negativnih vplivov na ljudi, živali in okolje ni; brez CF-C ¹ -jev.	Razred E po EN 13501-1, izdelki vsebujejo od 1 do 2 % HBCD ² zaviralca gorenja.	Po 28 dneh (pri 23 °C) ni bilo zaznanih nobenih rakotvornih snovi, emisije hlapnih organskih spojin so bile pod mejnimi (TVOC ³ < 50 µg/m ³ , SVOC ⁴ < 5 µg/m ³), HBCD ni bil zaznan.
XPS, EXIBA – European Extruded Polystyrene Insulation Board Association (XPS EPD, 2014)	Ni potrebne po nobenih dodatnih ukrepih poleg predpisanih za proizvodna podjetja.	V vsej dobi trajnosti se iz produkta ne sprošča veliko snovi.	Razred E po EN 13501-1, izdelek ne vsebuje HBCD.	Po 28 dneh ni bilo zaznanih nobenih rakotvornih snovi, emisije hlapnih organskih spojin so bile pod mejnimi (TVOC 0–1000 µg/m ³ , SVOC 0–100 µg/m ³).
NEOPOR (EPS z infrardečimi absorberji), EUMEPS – Expanded Polystyrene Foam Insulation (NEOPOR EPD, 2014)	Ni potrebe po nobenih dodatnih ukrepih za proizvodna podjetja; za razpihovanje ni uporabljena nobena ozonu škodljiva snov, kot sta CFC ali HCFC ⁵ .	Proizvodi so po navadi vgrajeni tako, da niso v neposrednem stiku z okoljem ali z notranjim zrakom.	Izdelki običajno dosegajo požarni razred E po EN 13501-1, vsebuje HBCD	Emisije VOC-ov so bile pod mejnimi, emisije HBCD v času dobe trajnosti so zanemarljive.

Preglednica 12 • EPD treh različnih proizvodov iz polistirena

- ¹ CFC – chlorofluorocarbon, klorofluorogljiki (tudi freoni)
- ² HBCD – hexabromocyclododecane, heksabromociklododekan
- ³ TVOC – total volatile organic compounds, skupne lahke hlapne organske spojine
- ⁴ SVOC – semi volatile organic compounds, polhlapne organske spojine
- ⁵ HCFC – hydrochlorofluorocarbons, halogenirani fluoroklorogljikovodiki

5 • SKLEP

Sistematičen pregled literature je pokazal, da zakonodaja to področje zelo slabo obravnava. Večinoma so na voljo le priporočila, ki podajajo mejne vrednosti koncentracij izpostavljenosti stirenu v delovnem okolju.

Pregled raziskav je pokazal, da problem polistirena in rezultate raziskav lahko razvrstimo v tri skupine. Glavne skupine so povečane koncentracije stirena v delavcih v tovarnah s polistirenom, migriranje stirena iz embalaže za živila iz polistirena v hrano in možen vpliv na ljudi ter problem plastičnih odpadkov na okolje.

Nekaj relevantnih raziskav se je ukvarjalo s koncentracijo stirena, ki ga zaužijejo delavci v tovarnah s polistirenom. Vse raziskave so merile dejansko koncentracijo na vzorcu izpostavljenih delavcev ((Samimi, 1982), (Dolara, 1984), (Lorimer, 1978), (Samimi, 1982)). Vrednosti koncentracije vdihanega stirena so se minimalno spreminjale, vendar so bile vse izmerjene vrednosti pod mejnimi dovoljenimi, ki znašajo 50 ppm, gledano na časovno uteženo povprečje (celoten delavnik) (NIOSH, 2016). Kljub temu so potrebne dodatne

raziskave in celoviti ukrepi za obvladovanje kemijskih dejavnikov tveganja izpostavljenosti stirenu. Ukrepe je treba izvesti hierarhično in naj zajamejo celoten življenjski cikel proizvoda. Za zaščito zaposlenih je treba izvajati vse ukrepe varstva pred kemijskimi tveganji, ki vključujejo tudi zamenjavo škodljivih kemikalij za neškodljive, učinkovit sistem prezračevanja, hermetično zaprte procese z odsesavanjem in drugo.

Po navedbah IARC (International Agency for Research on Cancer) spada stiren, ki je osnovni gradnik polistirena in ga uporabljamo za proizvodnjo embalaže za živila, v skupino 2B (IARC, 2002), kar pomeni, da je potencialno rakotvoren za človeka. Uredba (ES) št. 1272/2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi razvršča stiren v naslednje razrede nevarnosti: vnetljiva tekočina kategorije 3, akutna strupenost kategorije 4, dražilno za oči kategorije 2 in jedko za kožo kategorije 2 (Uredba GHS, 2008). Raziskave kažejo ((Sakamoto, 2000), (Murphy, 2006), (Yanagiba, 2008), (Marchetti, 2014), (Venet, 2015)), da stiren v stiku s hrano lahko mi-

grira iz embalaže v živila. Izsledki raziskav niso enotni, poudarjen je vidik preprečevanja izpostavljenosti stirenu.

Vse raziskave ((Bandyopadhyay, 2007), (Saido, 2014), (Hong, 2016), (da Costa, 2016), (Nasser, 2016), (Hofer, 2008)), ki so se ukvarjale z odpadno plastiko, so prišle do podobnih zaključkov o kopičenju odpadne plastike v naravnem okolju (predvsem na obalah). Njen izvor je na kopnem in v morju. Ti odpadki so nevarni za človeka in živali, saj so leglo patogenih mikroorganizmov. Morske živali, ki lahko zaužijejo manjše koščke polistirena, so del naše vsakodnevne prehrane. Količina zaužitega polistirena se v morskih živalih veča s procesi bioakumulacije in biomagnifikacije. Raziskave so potekale predvsem na obalah, na različnih koncih sveta. Problem z odpadno plastiko je prisoten povsod, saj stalni tokovi v oceanih prenašajo odpadke, ki se zelo počasi razgrajujejo, po vsem svetu. Avtorji raziskav so si edini, da bi bilo treba odpadno plastiko zbirati in reciklirati. Z aktivnim iskanjem novih načinov uporabe odpadne plastike bi lahko pomembno pripomogli k zmanjšanju količine odpadkov. O problemu odpadne plastike bi morali ozaveščati že otroke v šoli. Na plažah in tudi drugje bi moralo biti nameščenih

več smetnjakov, lahko bi se najeli delavci, ki bi pobirali odpadno plastiko, ali pa bi vsak dobil plačilo, če bi prinesel na primer kilogram odpadne plastike (podobno kot imajo organizirano na Hrvaškem s povratno embalažo). Lahko bi uveljavili tudi stroge kazni za onesnaževanje ali celo prepovedali uporabo vrst plastik, ki imajo zelo negativen vpliv na okolje. Potrebne so dodatne raziskave, ki bi preučevale možne vplive stirena na ljudi na

vseh področjih njegove uporabe. Upoštevajoč načela trajnostnega razvoja, bi bilo treba analizirati tako gradbene proizvode kot tudi celotne konstrukcijske skope v življenjskem ciklu ((Krainer, 2008), (Hudobivnik, 2016)) z vidika zdravlja in okolja.

Vzpostavljena in implementirana zakonodaja bi morala obravnavati celoten življenjski cikel vseh materialov in zajeti tako čas proizvodnje in uporabe kot tudi zbiranje, ločevanje,

reciklažo in ponovno uporabo odpadkov. Treba bi bilo vzpostaviti zahteve, ki bi se nanašale na recikliranje odpadnega polistirena ter iskanje zdravju in okolju prijaznejših alternativ, ki se v praksi že pojavljajo. Čeprav se splošna in strokovna javnost načeloma zavedata problemov, povezanih s polistrenom, v praksi ni konkretnih sistemskih ukrepov, ki bi učinkovito vključevali nadzor nad izdelki v celotnem življenjskem ciklu.

6 • LITERATURA

- ACC, American Chemistry Council, Inc., Common Plastic Resins Used in Packaging. Introduction to Plastics Science Teaching Resources, povzeto 20. 10. 2016 po: <https://plastics.americanchemistry.com/Education-Resources/Hands-on-Plastics/Introduction-to-Plastics-Science-Teaching-Resources/History-of-Polymers-Plastics-for-Teachers.html>, 2012.
- ACC, American Chemistry Council, Inc., Ease of Disposal, povzeto 20. 11. 2016 po: https://www.americanchemistry.com/PageNotFound/?404;https://www.americanchemistry.com:443/s_plastics/sec_pfpag.asp?CID=1434&did=5226, 2009.
- ACC, American Chemistry Council, Inc., Q and A on the Safety of Polystyrene Foodservice Products, povzeto 24. 10. 2016 po: <https://plasticfoodservicefacts.com/main/Safety/Californias-Proposition-65/Q-A-on-the-Safety-of-Polystyrene-Foodservice-Products.GMEditor.html>, 2010–2011.
- Argonne, Polystyrene Foam Burning Danger, Newton.dep.anl.gov., povzeto 2. 11. 2016, po: <http://www.anl.gov/education/learning-center/classroom-resources>, 2011.
- Arvanitoyannis, S. I., Waste management for polymers in food packaging industries, *Plastic Films in Food Packaging*, str. 249–310, 2013.
- Bandyopadhyay, A., Chandra, B., Studies on photocatalytic degradation of polystyrene. *Materials Science and Technology*, št. 23, str. 307–317, 2007.
- BASF Technische Information, Verwertungs- und Beseitigungsverfahren gebrauchter Schaumstoff-Verpackungen aus Styropor, 1989.
- BBC News, Climate change: Monumental deal to cut HFCs, fastest growing greenhouse gases, povzeto 10. 4. 2017 po: <http://www.bbc.com/news/science-environment-37665529>, 2016.
- Bistra, povzeto 28. 10. 2016 po: http://www.bistra.com.tr/eng_kdetay.asp?ha=121, 2016.
- Boh, 2002, Boolovi operatorji, povzeto 22. 10. 2016 po: <http://ucilnica1617.fgg.uni-lj.si/mod/resource/view.php?id=2839>, 2002.
- CEH, Chemical Economics Handbook, Polystyrene, povzeto 5. 4. 2017 po: <https://www.ihs.com/products/polystyrene-chemical-economics-handbook.html>, 2014.
- CIHHCCWA, Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, List of MAK and BAT Values 2012, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527666034.oth01/pdf>, 2012.
- Cohen, J. T., Carlson, G., Charnley, G., Coggon, D., Delzell, E., Graham, J. D., Greim, H., Krewski, D., Medinsky, M., Monson, R., Paustenbach, D., Petersen, B., Rappaport, S., Rhomberg, L., Ryan, P. B., Thompson, K., A comprehensive evaluation of the potential health risks associated with occupational and environmental exposure to styrene, *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B: Critical Reviews*, št. 5, str. 1–265, 2002.
- Crawford, C. B., Quinn, B., Plastic production, waste and legislation, *Microplastic Pollutants*, str. 39–56, 2017.
- da Costa, P. J., S.M. Santos, P., C. Duarte, A., Rocha-Santos, T., *Plastics in the Environment – Sources, fates, and Effects*, *Science of The Total Environment*, str. 566-567, str. 15–26, 2016.
- Čavić, D., Uporaba ekspandiranega polistirena pri geotehničnih gradnjah, *Diplomska naloga*, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Čavić): 97 f., 2013.
- DID, Deloindom.si, Za toplotno in zvočno izolacijo, povzeto 6. 4. 2017 po: <http://www.deloindom.si/enostanovanjske-hise/za-toplotno-zvocno-izolacijo>, 2007.
- DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, 1998.
- Direktiva 517/2014/EU Evropskega parlamenta in sveta z dne 16. aprila 2014 o fluoriranih toplogradnih plinih in razveljavitvi regulative (EC) 842/2006. Uradni list Evropske unije, 22. 10. 2016.
- Dolara P., Caderni G., Santoni Mlodovici G., Salvadori M., Baroni A., Determinating of styrene in the urine of workwrs manufacturing polystyrene plastics, *Annals of Occupational Hygiene* št. 28, str. 195–199, 1984.
- Doroudiani, S., Chaffey, C. E., Kortschot, M. T., Sorption and diffusion of carbon dioxide in wood-fiber/polystyrene composites, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, št. 40, str. 723–735, 2002.

- Doroudiani, S., Kortschot M. T., Expanded Wood Fiber Polystyrene Composites: Processing-Structure-Mechanical Properties Relationships, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, št. 17, str. 13–30, 2004.
- Driedger, G. J. A., Duerr, H. H., Mitchell, K., Van Cappellen, P., Plastic debris in the Laurentian Great Lakes, *Journal of Great Lakes Research* št. 41, str. 9–19, 2015.
- Earth Resource Foundation, Polystyrene Foam Report, povzeto 22. 10. 2016 po: <http://www.earthresource.org/campaigns/capp/capp-styrofoam.html>, 2016.
- EB, Enciclopedia Britannica, Polymerization, povzeto 10. 11. 2016 po: <https://www.britannica.com/science/polymerization>, 2015.
- Eccleston and Hart Polystyrene, EPS recycling, povzeto 1. 11. 2016 po: <http://ecclestons.com/expanded-polystyrene-recycling.htm>, 2016.
- ECHA, European Chemicals Agency, povzeto 2. 11. 2016 po: https://echa.europa.eu/chem_data/candidate_list_table_en.asp, 2011.
- EPA, Environmental Protection Agency, Flame Retardant Alternatives for Hexabromocyclododecane (HBCD), povzeto 2. 11. 2016 po: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/hbcd_report.pdf, 2014.
- EPA, Environmental Protection Agency, Global Warming Potentials of ODS Substitutes, povzeto 30. 10. 2016 po: <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection>, 2016.
- EPS EPD, Expanded Polystyrene Foam Insulation, Environmental Product Declaration according to ISO 14025, povzeto 16. 4. 2017 po: http://styropor.basf.us/files/pdf/NEOPOR_EPS-EPD-IVH-2009211-EN.pdf, 2009.
- Evans, D. H., Hirschler, M. M., Foam Plastics in Building Construction, 2014 NFPA Conference and Expo, povzeto 28. 10. 2016 po: www.nfpa.org/~media/6722c1b139ce4597a962c5696ceaf697.pdf, 2014.
- FDA, U.S. Food and Drug Administration, Food and Drugs, Food for Human Consumption, povzeto 2. 11. 2016 po: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=177.1640>, 2014.
- Fragmat, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.fragmat.si/si/gradbni-program/izdelki>, 2016.
- Gardiner, H., Government Says 2 Common Materials Pose Risk of Cancer, *New York Times*, povzeto 22. 10. 2016 po: <http://www.nytimes.com/2011/06/11/health/11cancer.html>, 2011.
- Genualdi S., Nyman P., Begley T., Updated evaluation of the migration of styrene monomer and oligomers from polystyrene food contact material to foods and food simulants, Food additives and Contaminants, povzeto 1. 11. 2016 po: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?/~temp/~lqm1pT:7:@od@/cgi-bin/sis/search2/d?./temp/~ziAOtu:0@>, 2014.
- Giacomo A. C., Gorbi, S., Regoli, F., Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat, *Marine Environmental Research*, 2016.
- Gnip, I., Long-term water absorption of expanded polystyrene boards, Institute of Thermal Insulation of Vilnius Gediminas Technical University, 2007.
- GPMS, Green Passive Solar Magazine, How Styrofoam is Used in Building, povzeto 30. 10. 2016 po: <https://greenpassivesolar.com/2012/10/how-styrofoam-is-used-in-building/>, 2012.
- Hawley-Fedder, R. A., Parsons, M. L., Karasek, F. W., Products obtained during combustion of polymers under simulated incinerator conditions II. Polystyrene, št. 315, str. 201–210, 1984.
- Haynes, str. 12-214, povzeto 10. 11. 2016 po: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>, 2016.
- Herron, Z. J., Styrofoam food packaging banned in Oakland, *San Francisco Chronicle*, povzeto 21. 10. 2016 po: <http://www.sfgate.com/news/article/Styrofoam-food-packaging-banned-in-Oakland-2516522.php>, 2012.
- Hofer, T. N., *Marine pollution: new research*. New York: Nova Science Publisher, str. 59, 2008.
- Hong, S., Lee, J., Lee, C., Joon Yoon, S., Jeon, S., Kwon, B., Lee, J., P. Giesy, J., Seong Khim, J., Are styrene oligomers in coastal sediments of an industrial area aryl hydrocarbon-receptor agonists?, *Environmental Pollution* št. 213, str. 913–921, 2016.
- Hudobivnik, B., Pajek, L., Kunič, R., Košir, M. FEM thermal performance analysis of multi-layer external walls during typical summer conditions considering high intensity passive cooling, *Applied energy*, št. 178, str. 363–375, 2016.
- IARC, International Agency for Research on Cancer, List of Classifications, volumes 1-117, povzeto 4. 4. 2017 po: http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php, 2002.
- Inventors.about.com, The history of plastics, povzeto 21. 10. 2016 po: <http://inventors.about.com/od/pstartinvtions/a/plastics.htm>, 2011.
- Keswani, A., M. Oliver, D., Gutierrez, T., S. Quilliam, R., Microbial Hitchhikers on Marine Plastic Debris: Human Exposure Risks at Bathing Waters and Beach Environments, *Marine Environmental Research* št. 118, str. 10–19, 2016.
- Kopper, G., Ariosti, A., Ensuring Global Food Safety, str. 227–261, 2010.
- Krainer, A. Passivhaus contra bioclimatic design = Dedicated to em. Univ.-Prof. Dr. Ing. habil. Dr.h.c. mult. Karl Gertis on the occasion of his 70th birthday. *Bauphysik*, št. 30, 6: str. 393–404, 2008.
- Kwon, B. G., Regional distribution of styrene analogues generated from polystyrene degradation along the coastlines of the North-East Pacific Ocean and Hawaii, *Environmental Pollution*, št. 188, str. 45–49, 2014.
- Lithner, D., Larsson, A., Dave, G., Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition, *Science of The Total Environment* št. 409, str. 3309–3324, 2011.

- Lorimer, W. V., Lillis, R., Fischbein, A., Daum, S., Anderson, H., Wolff, M. S., Selikoff, I. J., Health status of styrene-polystyrene polymerization workers, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, povzeto 25. 10. 201 po: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?/temp/~Wmt7mD:7>, 1978.
- Lozoya, J. P., Teixeira de Mello, F., Carrizo, D., Weinstein, F., Olivera, Y., Cedres, F., Pereira, M., Fossati, M., Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este: Unseen critical residents?, *Environmental Pollution*, št. 218, str. 931–941, 2016.
- Marchetti M., Shaffer M.S., Zambianchi M., Chen S., Superti F., Schwander S., Gow A., Zhang J.J., Chung K.F., Ryan M.P., Porter A.E., Tetley T.D., Adsorption of surfactant protein D from human respiratory secretions by carbon nanotubes and polystyrene nanoparticles depends on nano-material surface modification and size, *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, povzeto 12. 11. po: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25533095>, 2014.
- Maul, J., Frushour, B. G., Kontoff, J. R., Eichenauer, H., Ott, K. H., Schade, C., Polystyrene and Styrene Copolymers, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Wiley-VCH, Weinheim*, 2007.
- Mazij, A., Skladiščenje blokov iz ekspaniranega polistirena, *Diplomska naloga*, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo (samozaložba A. Mazij): 101 f., 1998.
- Mehdi, S. E., Biodegradation of Bioplastic in Natural Environments. *Waste Management*, št. 11, 2016.
- Mihai, M., Huneault, M. A., Favis, B. D., Foaming of Polystyrene/Thermoplastic Starch Blends, *Journal of Cellular Plastics*, št. 43, str. 215–236, 2007.
- Miranda, de A. D., de Carvalho-Souza, F. G., Are we eating plastic-ingesting fish?, *Marine Pollution Bulletin*, št. 103, str. 109–114, 2016.
- Multi-plastics, povzeto 20. 10. 2016 po: <http://www.multi-plastics.com/ops-sheet-oriented-polystyrene/>, 2016.
- Murphy P.G., Mac Donald D.A., Lickly T.D., Styrene migration from general-purpose and high-impact polystyrene into food-simulating solvents, *Food and Chemical Toxicology*, povzeto 2. 11. 2016 po: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?/temp/~lqm1pT:11:@od@@/cgi-bin/sis/search2/d?/temp/~ziAOtu:0@>, 2006.
- Nasser, F., Secreted protein eco-corona mediates uptake and impacts of polystyrene nanoparticles on *Daphnia magna*, *Journal of Proteomics*, št. 137, str. 45–51, 2016.
- NEOPOR EPD, Extruded Polystyrene Foam Insulation with infra red absorbers, *Environmental Product Declaration according to ISO 14025*, povzeto 16. 4. 2017 po: http://www.neopor.basf.us/files/pdf/neopor_EPD_20kg.pdf, 2014.
- Neotherm Ltd., povzeto 22. 10. 2016 po: http://www.neotherm.ie/neographite_031_graphite_enhanced_polystyrene.html, 2016.
- NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0571.html>, 2016.
- NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health, Occupational Health Guideline for Styrene, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0571.pdf>, 1978.
- NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health, Styrene, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0073.html>, 2007.
- Norton, J., Blue Foam, Pink Foam and Foam Board, *Antenociti's Workshop*, 2008.
- NTP, National Toxicology Program, 12th Report on Carcinogens, povzeto 29. 10. 2016 po: <https://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/roc/index.html>, 2011.
- NYT, The New York Times, Suffolk Votes A Bill to Ban Plastic Bags, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.nytimes.com/1988/03/30/nyregion/suffolk-votes-a-bill-to-ban-plastic-bags.html>, 1988.
- OEHHA, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Styrene, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://oehha.ca.gov/chemicals/styrene>, 1999.
- Ordinances, Chapter 33 styrofoam ordinances, povzeto 22. 10. 2016 po: http://www.freeportmaine.com/inc/scripts/file.php?file_id=1060, 2012.
- OSHA, Occupational Safety and Health Administration, Styrene, povzeto 24. 10. 2016 po: <https://www.osha.gov/SLTC/styrene/index.html>, 2016.
- OSHA, Occupational Safety and Health Administration, Styrene, povzeto 27. 10. 2016 po: <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/100425.html>, 1994.
- Pharos Project, Hexabromocyclododecane, povzeto 3. 11. 2016 po: <https://www.pharosproject.net/material/show/2004475>, 2013.
- Pol V.G., Upcycling: converting waste plastics into paramagnetic, conducting, solid, pure carbon microspheres, *Environmental Science and Technology*, 2010.
- PPC, Polystyrene packaging council, Polystyrene recycling, povzeto 26. 10. 2016 po: <http://pspc.intoweb.co.za/index.php?page=recycle1>, 2009.
- PPD, Polymer Properties Database, Polystyrenes, povzeto 10. 11. 2016 po: <http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polystyrene%20type.html>, 2015.
- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu, *Ur. l. RS*, št. 100/2001, 39/2005, 53/2007, 102/2010, 43/2011, 38/2015.
- Rosato, V. D., Rosato, V. D., *Plastics, Reinforced Plastics Handbook*, str. 109–211, 2005Quan, J., Letter to Public Works Committee, povzeto 28. 10. 2016 po: <http://clerkwebsvr1.oaklandnet.com/attachments/13659.pdf>, 2006.

- Saido, K., Koizumi, K., Sato, H., Ogawa, N., Bum Gun Kwon, Cung, Y., Kusui, T., Nishimura, M., Kodera, Y., New analytical method for the determination of styrene oligomers formed from polystyrene decomposition and its application at the coastlines of the North-West Pacific Ocean, *Science of The Total Environment*, str. 473–474, str. 490–495, 2014.
- Saikia, N., de Brito, J., Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation, *Construction and Building Materials*, št. 34, str. 385–401, 2012.
- Sakamoto, H., Matsuzawa, A., Itoh, R., Tohyama, Y., Quantitative Analysis of Styrene Dimer and Trimers Migrated from Disposable Lunch Boxes, *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, št. 41, str. 200–205, 2000.
- Samimi, B., Falbo, L., Monitoring of workers exposure to low levels of airborne monomers in a polystyrene production plant, *American Industrial Hygiene Association Journal*, št. 43, str. 858–862, 1982.
- Samimi B., Falbo L., Monitoring of workers exposure to low levels of airborne monomers in a polystyrene production plant, *American Industrial Hygiene Association Journal*, povzeto 21. 10. 2016 po: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~Wmt7mD:1>, 1982.
- Sanchez, K., San Jose Approves Styrofoam Ban, NBC, povzeto 21. 10. 2016 po: <http://www.nbcbayarea.com/news/local/San-Jose-Set-to-Ban-Styrofoam-221354051.html>, 2013.
- Schröter, W., Lautenschläger, K. H., Bibrack, H., Schnabel, A., Kemija splošni priročnik, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 1993.
- Singh, P., Sharma, V. P., Integrated Plastic Waste Management: Environmental and Improved health Approaches, *Procedia Environmental Science*, št. 35, str. 692–700, 2016.
- Sun, Y., Toloken, N., Chona moves to end its ban on PS food packaging, *Plastic News*, povzeto 26. 10. 2016 po: <http://www.plasticsnews.com/article/20130321/NEWS/130329979/china-moves-to-end-its-ban-on-ps-food-packaging>, 2013.
- Stamm, R., More Impending Changes in the Insulation Market, povzeto 3. 11. 2016 po: <https://www.pharosproject.net/blog/show/203/polystyrene-changes>, 2015.
- Turner, A., Rees, A., The Environmental Impacts and Health Hazard of Abandoned Boats in Estuaries, *Regional Studies in Marine Science* št. 6, str. 75–82, 2016.
- Uredba (EU) št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS.
- Uredba GHS, Uredba (ES) št. 1272/2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi, o spremembi in razveljavitvi direktiv 67/548/EGS in 1999/45/ES ter spremembi Uredbe (ES) št. 1907/2006.
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., R. Janssen, C., Microplastics in Sediments: A Review of Techniques, Occurrence and Effects, *Marine Environmental Research*, št. 111, str. 5–17, 2015.
- Venet, T., Campo, P., Thomas, A., Cour, C., Rieger, B., Cosnier, F., The tonotopicity of styrene-induced hearing loss depends on the associated noise spectrum, *Neurotoxicology and Teratology* št. 48, str. 56–63, 2015.
- Verma, R., Vinoda, K. S., Papireddy, M., Gowda, A. N. S., Toxic pollutants from plastic waste, *Procedia Environmental Science* št. 35, str. 701–708, 2016.
- WHO, World Health Organisation, povzeto 28. 10. 2016 po: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/styrene/en/, 1996.
- Williams, T. A., G. Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G., Cervantes, O., M. Botero, C., Litter Impacts on Scenery and Tourism on the Colombian North Caribbean coast, *Tourism Management*, št. 55, str. 209–224, 2016.
- Wunsch, J. R., Polystyrene – Synthesis, Production and Applications, iSmithers Rapra Publishing, str. 15, 2012.
- XPSA, Extruded Polystyrene Foam Association, Q and A on flame retardants and XPS foam insulation, povzeto 3. 11. 2016, po: http://www.xpsa.com/pdf/XPSA_QA_on_HBCD_and_DfE_Report_Final.pdf, 2012.
- XPS EPD, Extruded Polystyrene Foam Insulation, Environmental Product Declaration according to ISO 14025 and EN 15804, povzeto 16. 4. 2017 po: http://italy.ediltec.com/upload/pdf/EXIBA_EPD_XPS.pdf, 2014.
- Yanagiba, Y., Ito, Y., Yamanoshita, O., Zhang, S. Y., Watanabe, G., Taya, K., Li, C. M., Inotsume, Y., Kamijima, M., Gonzalez, F. J., Nakajima, T., Styrene Trimer May Increase Thyroid Hormone Levels via Down-Regulation of the Aryl Hydrocarbon Receptor (AhR) Target Gene UDP-Glucuronosyl-transferase, *Environmental Health Perspectives*, št. 116, str. 740–5, 2008.
- Yassi, A., Kjellström, T., de Kok, T., Guidotti, T., Basic Environmental Health, Oxford, Oxford University Press, 2001.
- Zhen, Y., Yong, J., Songting, G., Huizhu, Z., Reclamation of styrene monomer from waste polystyrene plastics by catalytic degradation, *Huanjing Kexue*, str. 43–45, str. 93–94, 1997.