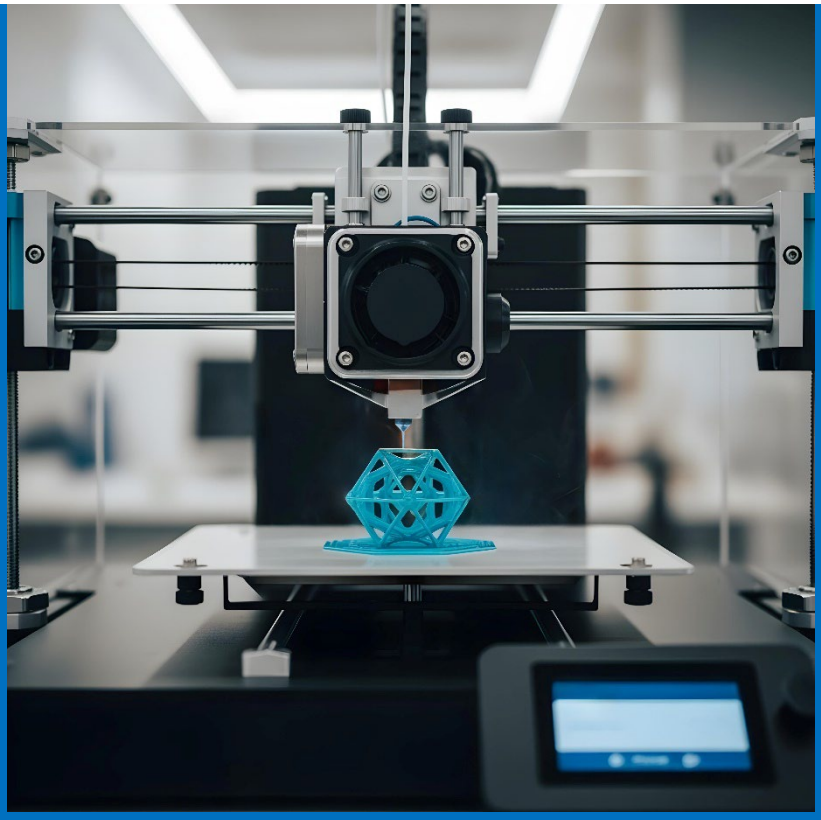
LUIZA CHOJNACKA-PUCHTA, DOROTA SAWICKA,
ELŻBIETA DOBRZYŃSKA



TOKSYCZNOŚĆ SUBSTANCJI EMITOWANYCH PODCZAS DRUKU 3D: MATERIAŁ INFORMACYJNY DLA BEZPIECZNEGO ŚRODOWISKA PRACY W KONCEPCJI "SAFE BY DESIGN"

CIOP PIB 75 LAT

Zrealizowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.
Zadanie nr: 3.ZS.05

pt.: Ocena zagrożeń chemicznych i pyłowych oraz działania toksycznego materiałów stosowanych w technologiach przyrostowych

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Autorzy: dr inż. Luiza Chojnacka-Puchta, dr inż. Dorota Swicka, dr Elżbieta Dobrzyńska – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Opracowanie redakcyjne: Dorota Marzec
Opracowanie graficzne: Jolanta Maj, Cezary Szymański
Zdjęcie na okładce: Freepik
DOI: 10.54215/Toksycznosc_substancji_emitowanych_podczas_druku_3D_material_informacyjny_dla_bezpiecznego_srodowiska_pracy_w_koncepcji_Safe_by_design_Chojnacka_Puchta_Sawicka_Dobrzynska

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2025

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16,
00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98,
www.ciop.pl

Materiał informacyjny dotyczy toksyczności substancji emitowanych podczas druku 3D. Celem tego opracowania jest dostarczenie wiedzy, która umożliwi świadome projektowanie bezpiecznych procesów pracy ("safe by design"), minimalizując narażenie pracowników na szkodliwe substancje chemiczne.

Ukryte zagrożenia w nowoczesnej produkcji

Technologie przyrostowe, a w szczególności druk 3D metodą FDM (Fused Deposition Modeling), stał się powszechnie stosowaną metodą wytwarzania przyrostowego. Proces ten, polegający na modelowaniu ciekłym tworzywem termoplastycznym (tzw. filament) i nakładaniu warstw materiału, zrewolucjonizował procesy prototypowania i produkcji małoseryjnej oraz stał się najpopularniejszą technologią druku 3D. Tworzywa wykorzystywane w technologii FDM, to głównie: kopolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy (ABS), poli(kwas mlekowy) (PLA), nylon, poliwęglan, politereftalan etylenu (PET), czy PET modyfikowany glikolem (PETG). Obecnie pojawiają się również filamenty, np. wzmocnione włóknem węglowym i są oznaczone skrótem CF, np. PLA-CF, PETG-CF itd. Wraz z rosnącym rynkiem konsumenckim tanich drukarek, rozwija się również rynek specjalistycznych filamentów z dodatkami, takimi jak nieorganiczne barwniki, cząstki metali i nanomateriały. Termiczne przetwarzanie polimerów wiąże się nieodłącznie z emisją złożonej mieszaniny zanieczyszczeń powietrza. Produktem ubocznym topnienia filamentu z tworzyw sztucznych w tej technologii jest odparowywanie substancji chemicznych, których dokładna ilość a przede wszystkich skład są trudne do oszacowania, ponieważ zależeć mogą od zastosowanych materiałów, jak i warunków prowadzenia procesu druku. Druk w technologii FDM może być źródłem szkodliwych dla zdrowia cząstek stałych o średnicy w zakresie od 1 do 100 nanometrów, lotnych związków organicznych (LZO ang. VOCs) i innych związków chemicznych, które mogą stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia pracowników. Zrozumienie natury tych emisji i ich wpływu na zdrowie jest kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i higieny pracy pracownikom, ale też opracowywania bezpieczniejszych technologii druku 3D.

Potencjalne zagrożenia dla zdrowia i drogi narażenia

Pracownicy obsługujący drukarki 3D są narażeni na wdychanie emitowanych substancji, a także na kontakt skórny oraz, w mniejszym stopniu, na narażenie drogą pokarmową (np. przez przeniesienie zanieczyszczeń z rąk do ust).

Układ oddechowy: to główna droga narażenia. Cząstki o średnicy poniżej 100 nm mogą przenikać głęboko do pęcherzyków płucnych, pokonywać barierę krew-powietrze i rozprzestrzeniać się po całym organizmie, docierając do układu sercowo-naczyniowego, nerwowego, a nawet pokonując barierę krew-mózg. LZO w postaci gazowej również są wdychane, co może powodować podrażnienia i efekty systemowe.

Skóra: bezpośredni kontakt z filamentami, gotowymi wydrukami, czy zanieczyszczonymi powierzchniami może prowadzić do wchłaniania niektórych substancji chemicznych, np. plastyfikatorów, oraz powodować reakcje skórne, takie jak podrażnienia czy alergiczny wyprysk kontaktowy.

Przykładowe związki chemiczne identyfikowane w próbkach pobranych podczas druku z filamentami ABS i PET-G

Nr CAS	Nazwa związku	Klasyfikacja wg Rozporządzenia CLP		Normatywy higieniczne [mg/m^3]		
				NDS	NDSCh	NDSP
50-00-0	Formaldehyd	Carc. 1B	H350	0,37	0,74	
		Muta. 2	H341			
		Acute Tox. 3	H301			
		Acute Tox. 3	H311			
		Acute Tox. 3	H331			
		Skin Corr. 1B	H314			
		Skin Sens. 1	H317			
75-07-0	Acetaldehyd	Flam. Liq. 1	H224			45
		Carc. 1B	H350			
		Muta. 2	H341			
		STOT SE 3	H335			
		Eye Irrit. 2	H319			
67-64-1	Aceton	Flam. Liq. 2	H225	600	1800	
		Eye Irrit. 2	H319			
		STOT SE 3	H336			
100-52-7	Benzaldehyd	Acute Tox. 4	H302	10	40	
110-62-3	Waleroaldehyd (pentanal)			118	300	

100-41-4	Etylobenzen	Flam. Liq. 2	H225	100	400	
		Acute Tox. 4	H332			
		STOT RE 2	H373 (narządy słuchu)			
		Asp. Tox. 1	H304			
100-42-5	Styren	Flam. Liq. 3	H226	50	100	
		Repr. 2	H361d			
		Acute Tox. 4	H332			
		STOT RE 1	H372 (narządy słuchu)			
		Skin Irrit. 2	H315			
		Eye Irrit. 2	H319			
95-47-6	o-,	Flam. Liq. 3	H226	100	200	
108-38-3 106-42-3	m-,	Acute Tox. 4	H332			
	p-Ksylen	Acute Tox. 4	H312			
		Skin Irrit. 2	H315			
84-74-2	Dibutyloftalan	Repr. 1B	H360Df	5		
		Aquatic Acute 1	H400			
131-11-3	Dimetyloftalan			5		
84-66-2	Dietyloftalan			3		
117-81-7	Bis(2-Etyloheksylo) Ftalan	Repr. 1B	H360FD			

Obecność w powietrzu substancji o działaniu rakotwórczym i reprotoksycznym, a także tych dla których ustalone są wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS), wymaga zachowania czujności podczas druku z wybranym materiałem, a także przeprowadzenia i udokumentowania oceny ryzyka związanego z ich występowaniem w środowisku pracy.

Wykorzystanie filamentu ABS wymaga wyższych temperatur (250-280°C), co prowadzi do emisji większej ilości cząstek i LZO (głównie styrenu) niż w przypadku PLA. Badania wskazują na jego potencjał rakotwórczy, hepatotoksyczny i teratogenny. Nawet krótkie narażenie na emisje z ABS wywołuje wzrost markerów zapalnych w komórkach nabłonka oskrzeli. Toksyczność emitowanych cząstek jest najwyższa w początkowej fazie nagrzewania drukarki.

Uważany za bezpieczniejszą alternatywę jest filament PLA (kwas polimlekowy) ze względu na niższą temperaturę topnienia (200-220°C) i biodegradowalność. Mimo to, druk z PLA również emituje znaczne ilości ultradrobnych cząstek i LZO (głównie laktyd), które mogą negatywnie wpływać na przeżywalność komórek. Badania potwierdzają, że emisje z PLA mogą wywoływać stres oksydacyjny w komórkach.

Dodatki do filamentów poprawiające ich właściwości, również mogą wpływać na emisje substancji chemicznych, w tym m.in.:

- Estry kwasu ftalowego (ftalany), związki stosowane jako plastyfikatory w tworzywach sztucznych, które mogą być uwalniane podczas procesu drukowania. Badania wykazują obecność w powietrzu m.in. ftalanu dimetylu (DMP), ftalanu dietylu (DEP), ftalanu dibutylu (DBP) oraz ftalanu bis(2-etyloheksylu) (DEHP). Podczas druku z użyciem filamentu PETG wykryto również ftalan di-n-oktylu (DNOP).

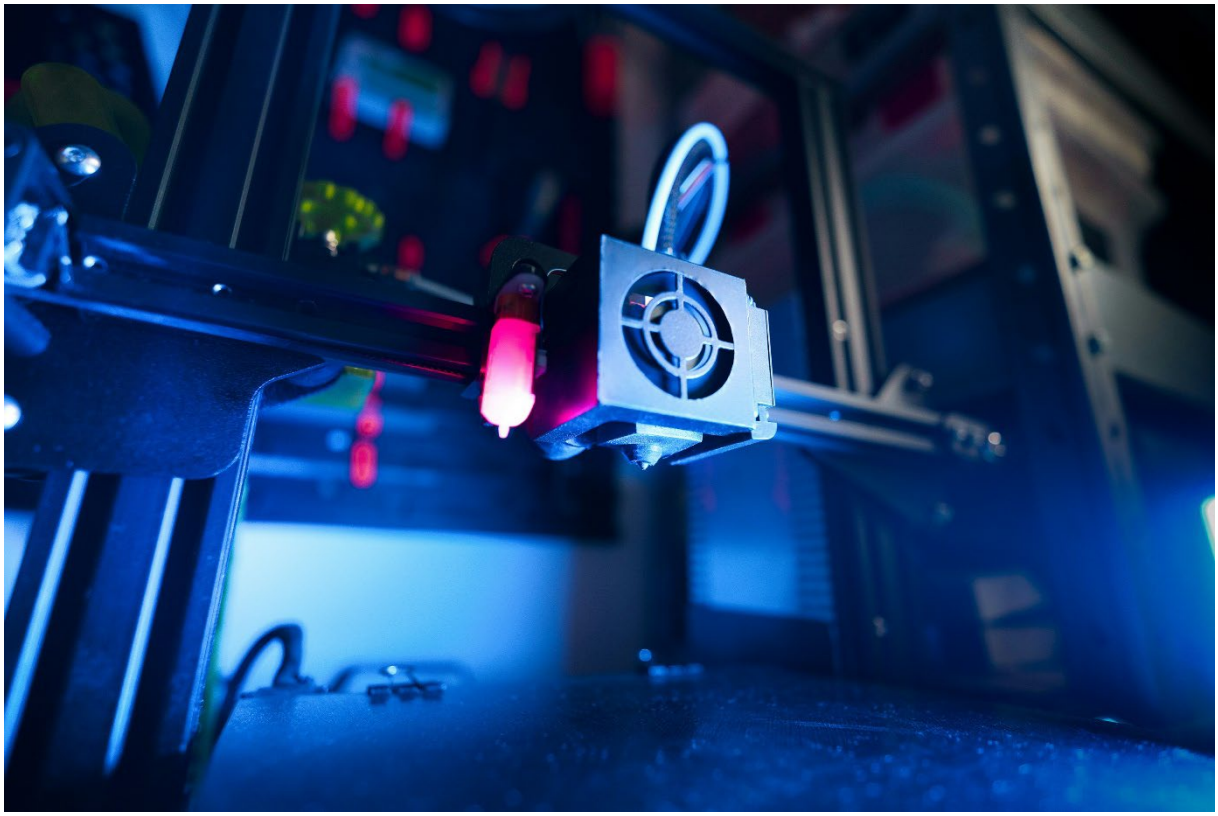
Narażenie na ftalany wiąże się z obniżeniem płodności, zarówno u mężczyzn, jak i u kobiet. DBP, BBP i DEHP są to substancje o działaniu reprotoksycznym kat. 1B (Repr 1B). Ftalan dibutylu (DBP) i ftalan bis(2-etyloheksylu (DEHP) zaliczane są do grupy 1 substancji endokrynnie aktywnych (EDC) zaburzające funkcjonowanie układu hormonalnego. Obecność związków endokrynnie aktywnych świadczy o konieczności podjęcia działań ukierunkowanych na zapewnienie użytkownikom druku odpowiednich działań profilaktycznych i ochronnych.

- Nanomateriały zawierające tlenki żelaza (Fe_2O_3-NPs lub Fe_3O_4-NPs < 50 nm), nanocząstki metali (Co, Cr, Ni, Cu) często stosowane jako dodatki funkcjonalne w filamentach i barwniki do filamentów, mogą być emitowane w trakcie druku. Ze względu na swój rozmiar, mogą one przenikać głęboko do układu oddechowego, pokonując barierę powietrze-płuca i dostając się do krwiobiegu. Mogą pochodzić z dodatków do filamentów (np. w materiałach kompozytowych) lub z elementów samej drukarki (dysza, elementy grzejne). Karty charakterystyki często nie zawierają informacji o tych dodatkach.

- Nanocząstki polimerowe, powstające w wyniku kondensacji par polimerów podczas ochładzania. Ich toksyczność jest związana z ogromną powierzchnią właściwą i reaktywnością chemiczną.

Toksyczność substancji chemicznych można oceniać w testach krótkiego narażenia in vitro, które jest kluczowym narzędziem w toksykologii, umożliwiającym ocenę bezpieczeństwa substancji chemicznych. Testy cytotoksyczności in vitro odnoszą się do zdolności danej substancji do uszkadzania lub zabijania komórek. Pozwalają określić, w jakim stopniu substancja chemiczna wpływa na żywotność, wzrost i morfologię komórek w pełni monitorowanym środowisku laboratoryjnym. Dzięki różnorodnym metodom badawczym, takim jak testy MTT, ocena indukcji apoptozy (programowanej śmierci komórki) czy ocena proliferacji (namnażania)

komórek, możliwe jest precyzyjne określenie potencjalnych zagrożeń na wczesnym etapie badań.



Potencjalne skutki narażenia na wybrane substancje – przykłady badań własnych

Ftalany (DEHP, DNOP, DBP)

Badania *in vitro* przeprowadzone w CIOP-PIB wykazały, że ftalany mogą indukować apoptozę w ludzkich komórkach płuc (A549) oraz hamować ich proliferację. Zarówno DOP, jak i DEHT, są zdolne do wywoływania odpowiedzi zapalnej w komórkach płuc i oka.

Wykazano, że DEHP i DNOP indukują uszkodzenia mitochondriów i stres oksydacyjny w komórkach wątroby (HepG2). Związki te powodowały stres oksydacyjny za pośrednictwem mitochondriów, następowało hamowanie szlaku Nrf2 (jądrowy czynnik transkrypcyjny Nrf2, jest regulatorem mitochondriów, reguluje mitochondrialny sygnał redoks i inicjację śmierci komórki), mechanizmu biogenezy mitochondriów, co prowadziło do nadmiernej autofagii komórek i w efekcie do ich obumierania.

Badania epidemiologiczne wskazują na związek między narażeniem na plastyfikatory a zwiększonym ryzykiem rozwoju nadciśnienia, miażdżycy oraz śmiertelnością z powodu chorób sercowo-naczyniowych.

Nanomateriały z Tlenkami Żelaza (Fe_2O_3-NPs, Fe_3O_4-NPs < 50 nm)

Badania przeprowadzone w CIOP-PIB wykazały, że nanocząstki tlenków żelaza są znacznie bardziej toksyczne dla komórek płuc A549 niż badane plastyfikatory. Ocenę przeprowadzono w teście kolorymetrycznym EZ4U określającym aktywność metaboliczną komórek. Test opiera się na zdolności żywych komórek do redukcji soli tetrazolu w mitochondriach do intensywnie zabarwionych pochodnych formazanu.

Indukcja apoptozy i hamowanie proliferacji. Nanocząstki tlenków żelaza powodują programowaną śmierć komórek (apoptozę) w sposób zależny od dawki i czasu ekspozycji. Istotnie hamują również namnażanie się komórek płuc i oka. Fe_3O_4-NPs wykazały przy tym większy potencjał toksyczny niż Fe_2O_3-NPs.

Silne działanie prozapalne. W komórkach płuc A549 i komórkach oka ARPE-19 nanocząstki tlenków żelaza indukowały silną odpowiedź zapalną, mierzoną poziomem cytokin (IL-1β, IL-6, IL-8). Przewlekły stan zapalny w płucach może prowadzić do poważnych chorób, w tym zwłóknienia.

Środki ograniczające narażenie – zasada "safe by design" w hierarchii postępowania

Stosowanie zasady **„safe by design”**, czyli "bezpieczeństwa w fazie projektowania", to podejście, w którym od początku tworzenia uwzględniane jest bezpieczeństwo w produkcie, w systemie lub procesie. Takie podejście pozwala skupić się na zapobieganiu zagrożeniom poprzez stosowanie zabezpieczeń już na etapie projektowania. Zgodnie z zasadami bhp, należy stosować hierarchię środków ograniczania ryzyka, od najbardziej do najmniej skutecznych.

Zastąpienie (Eliminacja / Substytucja)

Zgodnie z zasadą **"safe by design"** podstawową zasadą powinno być wybieranie materiałów o jak najniższej udokumentowanej toksyczności i emisji.

Na podstawie dostępnych danych, należy unikać lub ograniczać stosowanie ABS ze względu na wysoką emisję cząstek i ich toksyczność.

Rozważenie użycia filamentów takich jak PLA, które topią się w niższej temperaturze i emitują mniej cząstek, może być bezpieczniejszą alternatywą, choć i one nie są w pełni obojętne dla zdrowia. Zamiast ABS należy w miarę możliwości stosować PLA lub PETG, które emitują mniej szkodliwych substancji. Należy również zachować szczególną ostrożność przy pracy z filamentami zawierającymi dodatki metali, unikać filamentów z nieznanymi dodatkami lub pochodzących od niesprawdzonych dostawców. Najlepiej wybierać filamenty, dla których producent dostarcza szczegółowe dane dotyczące emisji.

Środki Inżynieryjno-Techniczne

Obudowy i wentylacja. Już na etapie planowania prac należy uwzględnić że drukarki 3D powinny być umieszczone w dedykowanych, wentylowanych obudowach lub w osobnych pomieszczeniach z zapewnioną skuteczną wentylacją mechaniczną ogólną i miejscową (odciągi), tak aby usuwać zanieczyszczenia u źródła ich powstawania. Szczególną uwagę należy zwrócić na fazę wstępnego nagrzewania, kiedy emisja cząstek jest największa, co podkreśla konieczność uruchamiania wentylacji przed rozpoczęciem druku. Stosowanie drukarek z zamkniętą i filtrowaną komorą roboczą może znacząco ograniczyć emisję szkodliwych substancji do środowiska pracy. Stosowanie filtrów HEPA (do usuwania cząstek stałych) w połączeniu z filtrami z węglem aktywnym (do usuwania LZO) w systemach wentylacyjnych lub bezpośrednio w obudowach drukarek jest wysoce zalecane.

Środki Administracyjno-Organizacyjne

Ograniczenie czasu narażenia: należy minimalizować czas przebywania pracowników w bezpośrednim sąsiedztwie pracujących drukarek.

Szkolenia i procedury: należy informować pracowników o potencjalnych zagrożeniach, przeszkolić ich w zakresie identyfikacji zagrożeń, bezpiecznej obsługi urządzeń oraz procedur postępowania awaryjnego.

Biomonitoring: należy monitorować stężenia LZO i cząstek stałych w środowisku pracy oraz w uzasadnionych przypadkach, prowadzić biomonitoring (np. metabolitów ftalanów w moczu) co pozwoli ocenić skuteczność podjętych działań.

Karty charakterystyki: należy pamiętać, że karty charakterystyki filamentów nie zawsze uwzględniają wszystkie dodatki, takie jak nanocząstki metali.

Konserwacja: należy prowadzić regularne przeglądy i konserwacja drukarek oraz systemów wentylacyjnych ponieważ są niezbędne do utrzymania ich sprawności i efektywności.

Środki Ochrony Indywidualnej

Ochrona dróg oddechowych i skóry. W sytuacjach, gdy nie można uniknąć narażenia (np. podczas konserwacji, czyszczenia), należy stosować półmaski z odpowiednimi filtropochłaniaczami (np. typu ABEKP3) chroniącymi jednocześnie przed parami organicznymi i cząstkami stałymi. Zalecane jest stosowanie rękawic ochronnych (np. nitrylowych) podczas obsługi filamentów i czyszczenia drukarki, aby uniknąć kontaktu skórnego (np. z filamentami i potencjalnie zanieczyszczonymi powierzchniami).

Technologie druku 3D oferują ogromne możliwości, ale ich bezpieczne wdrożenie wymaga świadomości i proaktywnego zarządzania ryzykiem. Opierając się na przedstawionych danych, zarówno z przeprowadzonych w CIOP-PIB badań, jak i literatury naukowej, kluczowe jest podejście "safe by design". Oznacza to nie tylko wybór bezpieczniejszych materiałów, ale także projektowanie całego procesu pracy – od lokalizacji drukarek, przez systemy wentylacji, po procedury i szkolenia pracowników – w sposób, który minimalizuje narażenie u samego źródła. Ciągły

rozwój materiałów i technologii druku wymaga stałego monitorowania nowo pojawiających się zagrożeń i aktualizowania strategii prewencyjnych.

Podsumowując, świadomy wybór materiałów do druku 3D, oparty na wiedzy o ich potencjalnej toksyczności, w połączeniu z kompleksowym zastosowaniem środków ochrony zbiorowej i indywidualnej, jest fundamentem dla zapewnienia bezpiecznych i higienicznych warunków pracy.

Bibliografia

1. Liu H, Han W, Zhu S, Li Z, Liu C. Effect of DEHP and DnOP on mitochondrial damage and related pathways of Nrf2 and SIRT1/PGC-1α in HepG2 cells. Food Chem Toxicol. 2021;158:112696,

   https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112696

2. Karwasz A, Osinski F. Literature review on emissions from additive manufacturing by FDM method and their impact on human health. Management and Production Engineering Review. MPER. 2020;11(3):65–73,

   http://dx.doi.org/10.24425/mper.2020.134933

3. Callaghan MA, Alatorre-Hinojosa S, Connors LT, Singh RD, Thompson JA. Plasticizers and Cardiovascular Health: Role of Adipose Tissue Dysfunction. Front Pharmacol. 2021 Feb 25;11:626448. doi: 10.3389/fphar.2020.626448. PMID: 33716730; PMCID: PMC7947604.

4. Fang R, Mohammed AN, Yadav JS, Wang J. Cytotoxicity and Characterization of Ultrafine Particles from Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments. Toxics 2023;11(9):720,

   https://doi.org/10.3390/toxics11090720

5. Wojnowski W, Kalinowska K, Majchrzak T, Zabiegała B. Real-time monitoring of the emission of volatile organic compounds from polylactide 3D printing filaments. Sci Total Environ. 2022;805:150181,

   https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150181

6. Dobrzyńska E, Chojnacka-Puchta L, Sawicka D, et al. Risk assessment and toxicity effects of materials used during additive manufacturing with FDM technology. Med Pr Work Health Saf. 2024;75(2):159-171,

   https://doi:10.13075/mp.5893.01486

7. Additive technologies in the context of industrial applicationsof 3D printing, Luiza Chojnacka-Puchta*, Dorota Sawicka, Elżbieta Dobrzyńska, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2024,

   https://doi.org/10.15199/62.2025.2.8

8. Weiheng Xu, Sayli Jambhulkar, Yuxiang Zhu, Dharneedar Ravichandran, Mounika Kakarla, Brent Vernon, David G. Lott, Jeffrey L. Cornella, Orit Shefi, Guillaume Miquelard-Garnier, Yang Yang, Kenan Song, 3D printing for polymer/particle-based processing: A review, Composites Part B: Engineering, Volume 223, 2021, 109102,

https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109102.

9. Schumacher P, Fischer F, Sann J, Walter D, Hartwig A. Impact of Nano- and Micro-Sized Chromium(III) Particles on Cytotoxicity and Gene Expression Profiles Related to Genomic Stability in Human Keratinocytes and Alveolar Epithelial Cells. Nanomaterials (Basel). 2022;12(8):1294.

   https://doi.org/10.3390/nano12081294

10. Dobrzyńska E, Kondej D, Kowalska J, Szewczyńska M. State of the art in additive manufacturing and its possible chemical and particle hazards-review. Indoor Air. 2021 Nov;31(6):1733-1758. doi: 10.1111/ina.12853. Epub 2021 Jun 3. PMID: 34081372; PMCID: PMC8596642.

11. Potter PM, Al-Abed SR, Hasan F, Lomnicki SM. Influence of polymer additives on gas-phase emissions from 3D printer filaments. Chemosphere. 2021 Sep;279:130543. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130543. Epub 2021 Apr 15. PMID: 33901889; PMCID: PMC8521456.

12. Ke Min, Yong Li, Dingyi Wang, Bo Chen, Ming Ma, Ligang Hu, Qian Liu, and Guibin Jiang, D Printing-Induced Fine Particle and Volatile Organic Compound Emission: An Emerging Health Risk, Environmental Science & Technology Letters 2021 8 (8), 616-625,

    https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.estlett.1c00311

13. Stefaniak AB, Bowers LN, Cottrell G, Erdem E, Knepp AK, Martin S, Pretty J, Duling MG, Arnold ED, Wilson Z, Krider B, LeBouf RF, Virji MA, Sirinterlikci A. Use of 3-Dimensional Printers in Educational Settings: The Need for Awareness of the Effects of Printer Temperature and Filament Type on Contaminant Releases. J Chem Health Saf. 2021 Aug 31;28(6):444-456,

    https://doi.org/10.1021/acs.chas.1c00041

14. Wei-Chung Su, Yi Chen, Jinxiang Xi, Estimation of the deposition of ultrafine 3D printing particles in human tracheobronchial airways, Journal of Aerosol Science, 149, 2020, 105605,

    https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105605

15. Antić J., Ž. Mišković, R. Mitrović, Z. Stamenić, J. Antelj, The Risk assessment of 3D printing FDM technology, Procedia Structural Integrity, 48, 2023, 274-279, https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.07.132

16. Esteras N, Abramov AY. Nrf2 as a regulator of mitochondrial function: Energy metabolism and beyond. Free Radic Biol Med. Epub 2022 Jul 30. PMID: 35918014. 2022 Aug 20;189:136-153,

    https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.07.013

17. Poitou K, Rogez-Florent T, Dirninger A, Corbière C, Monteil C. Effects of DEHP, DEHT and DINP Alone or in a Mixture on Cell Viability and Mitochondrial Metabolism of Endothelial Cells In Vitro. Toxics. 2022 Jul 4;10(7):373.

    https://doi.org/10.3390/toxics10070373