Medicinski aspekti modernih WtE postrojenja

prof. dr. sc. Luka Traven, dipl. ing.
Katedra za zdravstvenu ekologiju
Medicinski fakultet
Sveučilište u Rijeci

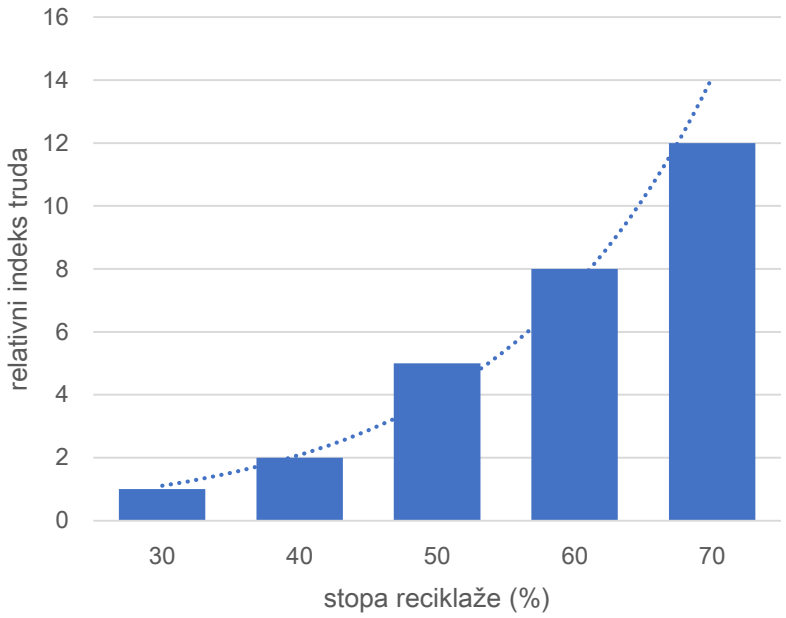
3. Waste2Energy konferencija
18. - 19.9.2025., Šibenik

EU-27
Ukupno proizvedeno 229 milijuna tona MKO
Količina MKO po glavi stanovnika: 511 kg
Stopa reciklaže: 49%
Trendovi: količina MKO koji se odlaže na odlagališta **se smanjuje**
Povećava se stopa reciklaže i količina MKO upućenog na energetsku oporabu

Hrvatska
Ukupno proizvedeno 1,83 (2023.) milijuna tona MKO
Količina MKO po glavi stanovnika: 474 kg
Stopa reciklaže: 34%
Trendovi: količina MKO koji se odlaže na odlagališta **se ne smanjuje bitno** (56%)
Povećala se stopa odvojeno prikupljenog otpada (reciklaže?), ne postoje kapaciteti za energetsku oporabu otpada

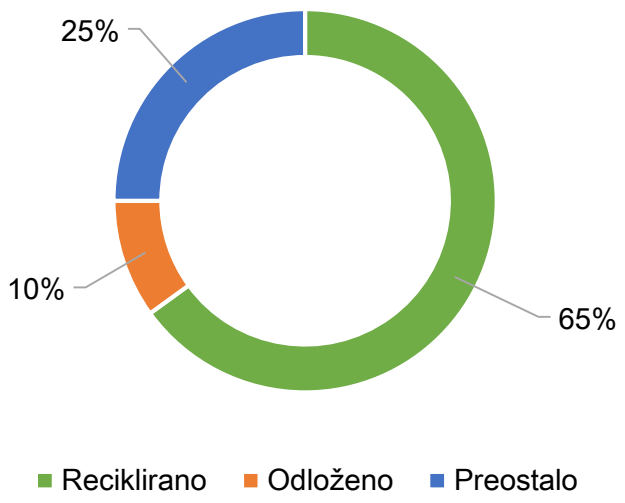
Izvori: *Eurostat. Municipal waste statistics. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics. Statista: Generation of municipal waste in the European Union (EU-27) from 2004 to 2023. https://www.statista.com/statistics/983592/municipal-waste-generation-european-union-eu-28/. Eurostat: Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen/default/table?lang=en&category=env.env_was.env_wasgt*

Reciklaža – što je realno?

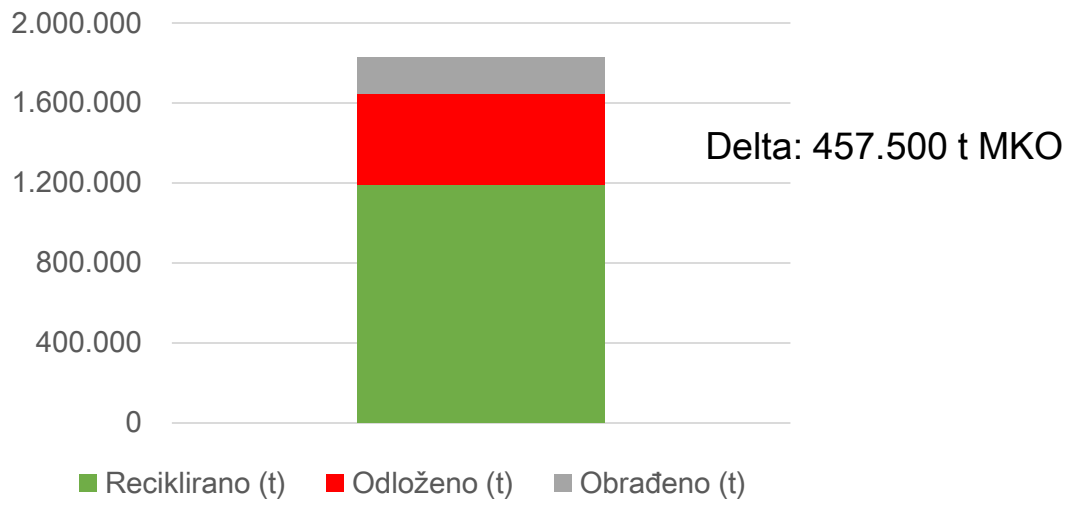


Godina	Stopa recikliranja EU-27	Narativ o trudu
2000.	7%	Početni napredak, mala ulaganja
2010.	39%	Velika ulaganja u infrastrukturu
2015.	45%	Poboljšanje odvojenog prikupljanja otpada
2020.	48%	Rješavanje teško reciklabilnih frakcija, povećan napor
2023.	50%	Značajna financijska ulaganja, tehnička ograničenja
2035.	65%	Nerazmjerno veći trud (prevencija, redizajn proizvoda, nove tehnologije)

Ciljevi EU (2035. godina)
Udio otpada koji se reciklira: min 65%
Udio otpada koji se odlaže: 10%
Preostali otpad: 25%



Normirano na količine otpada u RH za 2023. godinu.



Delta: 457.500 t MKO

Energetska oporaba otpada

Spalionice ≠ Energane na otpad

Spalionica
Smanjenje volumena otpada
Nema kontrole emisije dimnih plinova

Energana
Smanjenje volumena otpada
Proizvodnja toplinske energije
Proizvodnja električne energije
Reciklaža metala iz šljake
Kontrola emisije dimnih plinova

Spalionica otpada – Brno (početak 20. stoljeća)

Energana na otpad Copenhill (Danska)

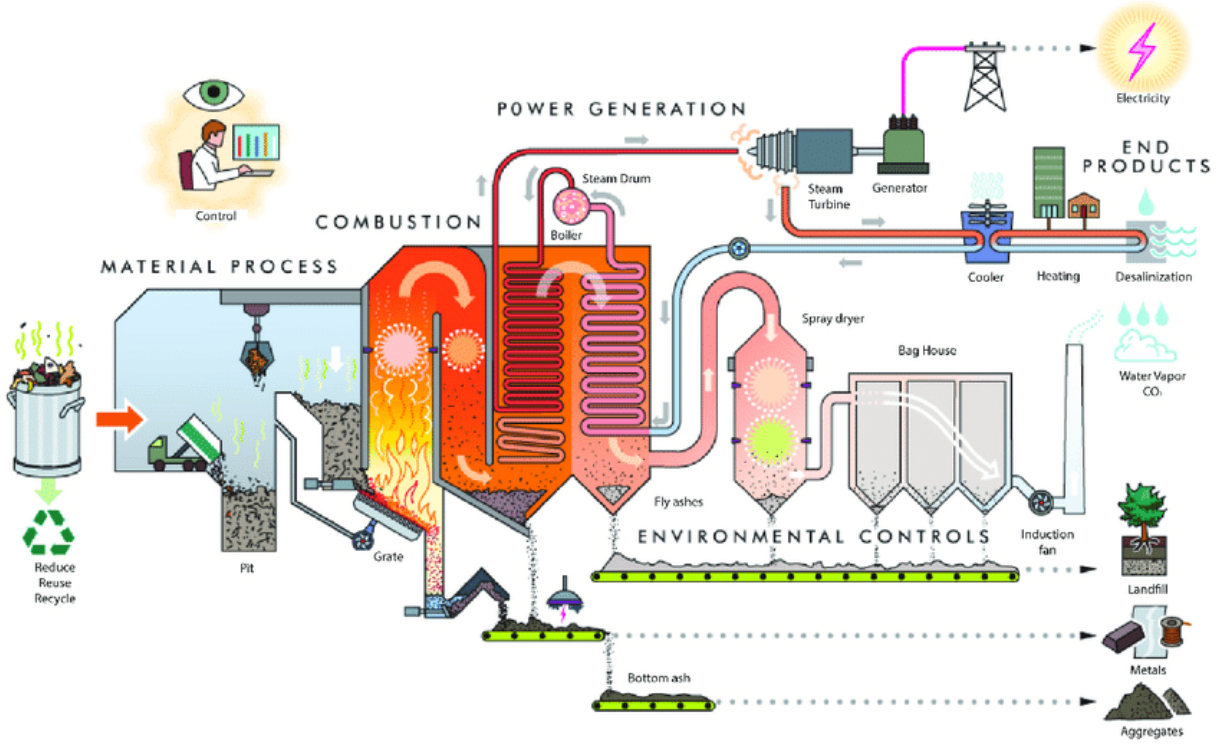
Zdravstveni aspekti modernih WtE postrojenja

Emisije u zrak

Dioksini i furani
Lebdeće čestice
Teški metali
Dušični oksidi
Sumporni dioksid

Percepcija rizika ≠ stvarni rizik!

Dioksini i furani



Zadržavanje dimnih plinova u ložištu: veće od 2 s
Temperatura izgaranja: 850°C – 1.200°C
Brzo hlađenje dimnih plinova (quenching)

	Referentna godina	Razina emisije	Smanjenje emisije
Država			
Njemačka	1990. - 2000.	1.000 x smanjenje	faktor 1.0000
SAD	1987 - danas	8.905 h - 84 f TEQ	više od 99%
EU (danas)	-	manje 0,2 % ukupne emisije	minimalni doprinos

European Suppliers of Waste-to-Energy Technology. Dioxins and Waste-to-Energy plants : New report on the State of the Art. https://eswet.eu/documents/dioxins-and-waste-to-energy-plants-new-report-on-the-state-of-the-art/?utm_source=chatgpt.com

Skruberi (mokri ili suhi)
Uklanjaju kisele plinove (HCl, HF, SO_2).

Vrećasti filteri (baghouse filters)
Hvataju prašinu, pepeo i čestice (tzv. leteći pepeo, odnosno „fly ash”).
Vrlo efikasni – mogu ukloniti > 99% čestica.
Često se koriste i za hvatanje sorbenata (vapno, aktivni ugljen) koji vežu plinovite zagađivače i teške metale.

Elektrostatički filteri/taložnici (ESP)
Uklanjaju prašinu i čvrste čestice pomoću električnog polja.
Manje se koriste u modernim spalionica jer su vrećasti filteri efikasniji za sitne čestice.

Adsorberi s aktivnim ugljem
Vezanje dioksina, furana, žive i drugih teških metala.
Aktivni ugljen se ubrizgava u tok dimnih plinova, a zatim se hvata u vrećastim filterima.

Denitrifikacija (DeNOx sistemi)
Smanjenje emisije dušikovih oksida (NOx).
Tehnologije:
SNCR (selektivna nekatalitička redukcija) – ubrizgavanje amonijaka pri 850–1100 °C.
SCR (selektivna katalitička redukcija) – prolazak gasova preko katalizatora na 250–450 °C.

Direktiva o industrijskim emisijama (Industrial Emissions Directive – IED, 2010/75/EU)

- Temeljni pravni okvir koji pokriva WtE i druga postrojenja s velikim emisijama.
- Propisuje integrirani pristup: kontrola emisija u zrak, vodu, tlo, otpad, buka, energetska učinkovitost.
- Za WtE (pogone za spaljivanje otpada i su-spaljivanje) direktiva propisuje vrlo niske granične vrijednosti emisija (GVE).
- Obvezuje operatere na kontinuirano mjerenje ključnih parametara (npr. NO_x, SO_2, CO, HCl, prašina, Hg).

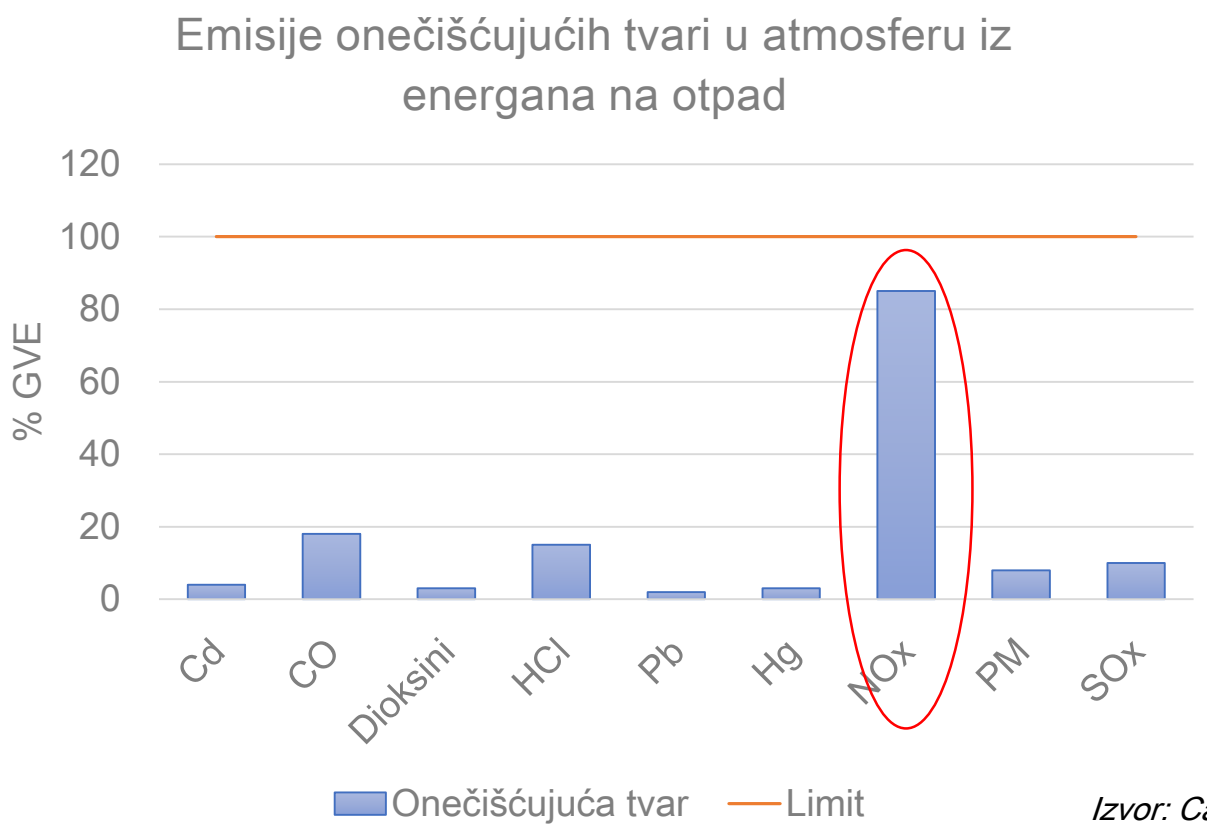
“Best Available Techniques Reference Document” za spaljivanje otpada.
Od 2019. BAT zaključci su pravno obvezujući – države članice moraju osigurati da sve WtE postrojenja budu usklađena.
Uvode još strože granične vrijednosti od onih u osnovnom tekstu IED-a.
Primjer: prašina (PM) < 2–5 mg/Nm³ (dok su npr. termoelektrane na ugljen dozvoljene i do 20–50 mg/Nm³).
Dioksini/furani < 0,01–0,04 ng TEQ/Nm³, što je među najstrožim svjetskim standardima.

EU WtE postrojenja rade pod najstrožim emisijskim kriterijima u industriji, strožim od većine termoenergetskih postrojenja.
Zahvaljujući BAT zaključcima iz 2019., emisije su redovito ispod zakonskih limita, često i ispod granice detekcije mjernih instrumenata.
Ova regulativa je glavni razlog zašto su danas emisije dioksina i drugih onečišćujućih tvari zanemarive u usporedbi s razinom iz 80-ih i 90-ih.

Usporedba emisija po sektorima

Zagađivač	WtE (EU BAT 2019)	TE na ugljen (EU IED/LCP BREF)	Cementara (EU BAT 2013)
Lebdeće čestice (PM)	2–5 mg/Nm³	10–20 (novi), do 50 (stari)	10–20 mg/Nm³
NO_x	50–120 mg/Nm³	150–200 (novi), do 450 (stari)	200–500 mg/Nm³
SO_2	< 40 mg/Nm³	130–200 (novi), do 400 (stari)	50–400 mg/Nm³
HCl	< 2–6 mg/Nm³	–	–
Hg (živa)	0.01–0.02 mg/Nm³	0.01–0.05 mg/Nm³	0.05 mg/Nm³
Dioksini/furani	0.01–0.04 ng TEQ/Nm³	–	–

Emisije u atmosferu iz energana na otpad



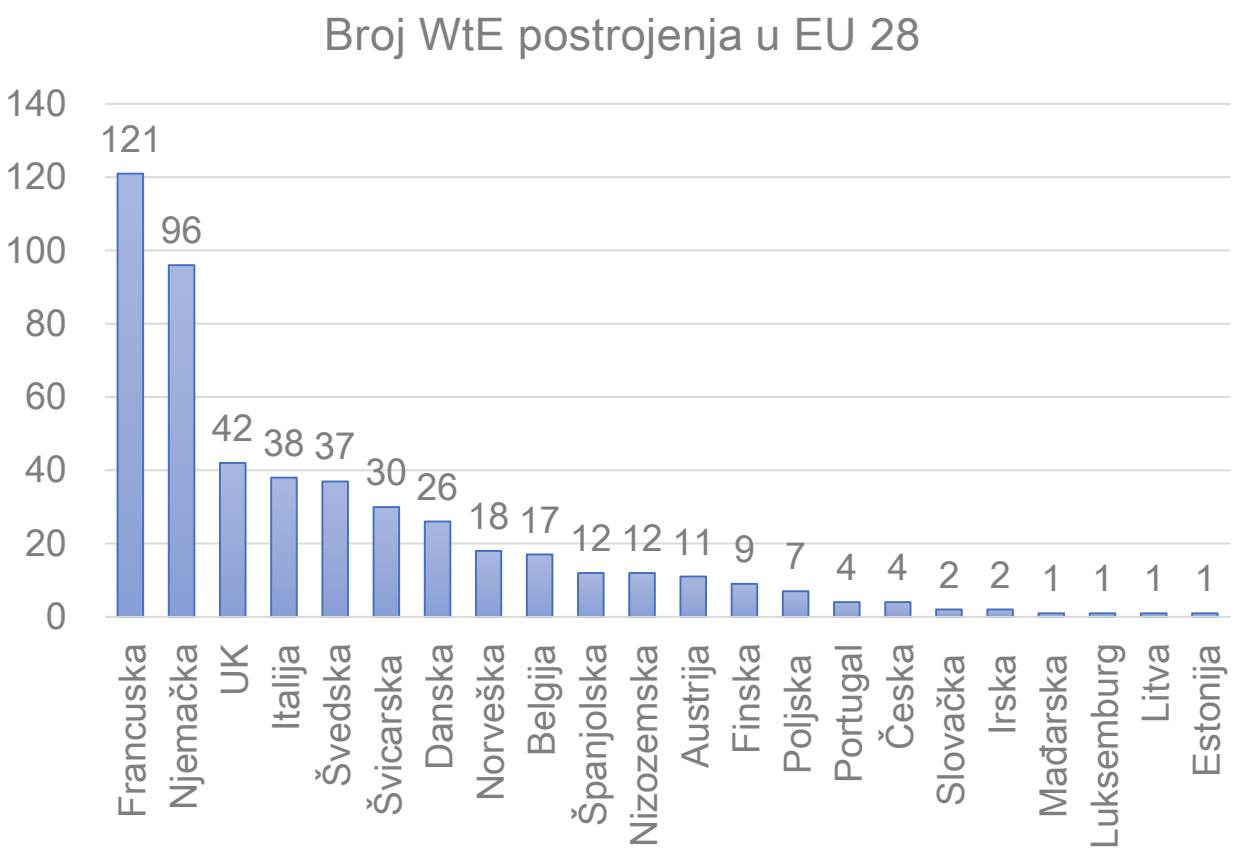
MKO sadrži 63% ugljika biogenog podrijetla

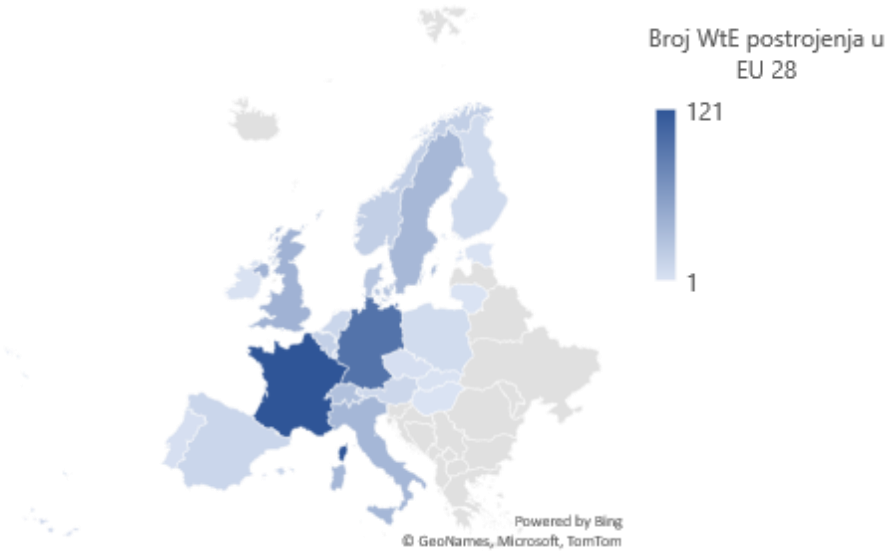
Spaljivanjem MKO smanjuje se emisija CO_2 u atmosferu!

Iz pepela i šljake moguće je oporabiti željezo aluminij i bakar. Npr. energana koja spaljuje 660 t otpada dnevno oparabljuje godišnje **6.300 t Fe, 3.400 t Al i 440 t Cu**

Izvor: Castaldi, M. J. Scientific Truth about Waste-to-Energy, Chemical Engineering Department, The City College of New York, City University of New York. 2021.

Postrojenja za energetsku oporabu otpada (WtE) u EU





Izvor: Confederation of Europaean WtE plants. Waste to Energy in Europe 2018. https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2021/02/EU-Map-2018.pdf

Ukupno obrađeno u 2018.: **96 milijuna tona komunalnog otpada**

Epidemiološke studije

Ishod	Relativni rizik (95% CI)	Zaključak	Izvor (sist. pregled)
Rak (opći)	1.02 (0.97–1.08)	Nema povećanog rizika kod modernih postrojenja	BMC Public Health 2025; UK Review 2025
Rak dojke	1.01 (0.95–1.07)	Nema povezanosti	BMC Public Health 2025
Rak pluća	0.99 (0.92–1.06)	Nema povezanosti	BMC Public Health 2025
Perinatalni ishodi – prijevremeni porod	1.00 (0.98–1.03)	Nema povezanosti; postoji povećani rizik kod starijih postrojenja	Ghosh et al. 2019; BMC 2025
Perinatalni ishodi – mala porođajna masa	1.01 (0.99–1.04)	Nema povezanosti	Ghosh et al. 2019; UK Review 2025
Kongenitalne anomalije	1.05 (0.97–1.13)	Mali, nekonzistentni veza (šum?) u starijim postrojenjima	Negri et al. 2020; BMC 2025
Respiratorni simptomi (djeca)	1.00 (0.96–1.05)	Nema povećanog rizika	WHO Europe 2023; BMC 2025

Trendovi u EU i Hrvatskoj

U EU količina komunalnog otpada koji se odlaže na odlagališta opada, raste reciklaža i energetska oporaba otpada.
Hrvatska još uvijek odlaže previše otpada (56%), reciklaža je niska (34%), a kapaciteti za energetsku oporabu uopće ne postoje.

EU ciljevi do 2035. godine

Reciklirati najmanje 65% otpada.
Odložiti maksimalno 10%.
Preostali otpad (oko 25%) treba obraditi – a tu ključnu ulogu imaju WtE postrojenja.

RH

Ako se primijene ciljevi EU, Hrvatska će imati oko 457.500 tona preostalog otpada godišnje koji se ne može ni reciklirati ni odložiti → mora se riješiti putem energetske oporabe.

RDF ili „mass burn”

Nema jednoznačnog odgovora – pretičak zraka kod sagorijevanja otpada veći nego kada je u pitanju sagorijevanje RDF/GIO (100% više od stehiometrijskog omjera). Veća količina dimnih plinova, skuplji sustav za pročišćavanje dimnih plinova,
RDF/GIO: manji pretičak zraka (50% više stehiometrijskog omjera). Kapitalni i operativni troškovi MBO/RDF postrojenja.

Zdravstveni aspekti

Moderna WtE postrojenja imaju stroge EU regulative (WID/IED), kontrolu emisija i napredne sustave filtracije (skruberi, vrećasti filteri, adsorberi).

Epidemiološki dokazi za moderna postrojenja ne pokazuju povećani rizik za rak ili perinatalne ishode; potencijalni mali učinci ne mogu se u potpunosti isključiti.

Najveći rizici dolazili su od starih spalionica bez adekvatne kontrole emisija.

Percepcija rizika ≠ stvarni rizik!

Copenhill, Kopenhagen

Sysav, Malmo

Zaključna poruka

WtE postrojenja su **nužna karika u kružnom gospodarstvu**: smanjuju odlaganje otpada, proizvode energiju i toplinu, a **uz suvremene tehnologije ne predstavljaju značajnu prijetnju zdravlju zajednice**.

Za Hrvatsku, **izgradnja takvih kapaciteta bit će presudna za ispunjenje EU ciljeva** i smanjenje ovisnosti o odlagalištima.