PODNEBNA KAVARNA · 14. 10. 2026

Kateri so glavni viri onesnaženja zraka v ljubljanski kotlini in kaj lahko naredimo za bolj čist zrak?

Kako nam pri skrbi za čist zrak lahko pomaga izgradnja nove naprave za toplotno obdelavo odpadkov?

dr. Anamarija Borštnik Bračić

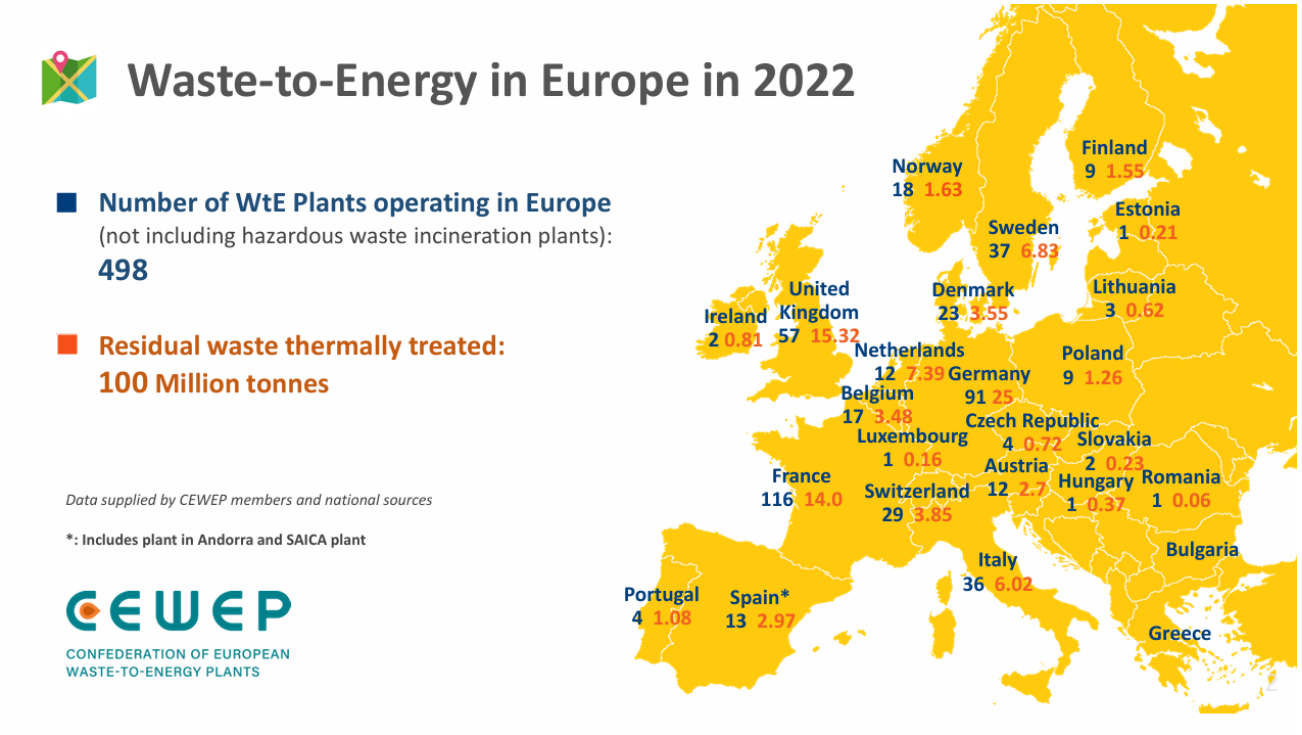


Fotografija: WtE Spittelau, Dunaj

Vsebina predavanja

01	**WtE naprave v Evropi**	Število in razporeditev naprav, potrebe v regiji
02	**Vplivi na okolje in zdravje**	Najnevarnejše snovi in kaj je treba meriti
03	**Standardi BAT**	Najboljše razpoložljive tehnike
04	**WtE Ljubljana in Spittelau**	Enak sistem čiščenja dimnih plinov
05	**WtE, promet in kurišča na les**	Primerjava letnih izpustov v Ljubljani
06	**Zaključek**	Kje so ukrepi za čistejši zrak res potrebni

WtE naprave v Evropi in potrebe v regiji



- **Severna in zahodna Evropa** sta gosto pokriti z WtE napravami, **na Balkanu** jih tako rekoč ni.
- Preostanek odpadkov je smiselno energetsko izrabiti lokalno, ne voziti v oddaljene države.

KOLIKO NAPRAV BI POTREBOVALI?

Merilo: Nemčija in Avstrija – okoli 1 naprava na milijon prebivalcev; ena naprava obdela 100.000–200.000 t odpadkov letno.

Država	Prebivalci	Naprav
Slovenija	**2,1 mio**	**3–4**
Hrvaška	3,9 mio	**4–8**
Bosna in Hercegovina	3,3 mio	**3–6**
Srbija	6,6 mio	**10–12**

Skupaj okoli 20–30 naprav
manj izvoza gorljivih odpadkov in odlaganja na deponijah

Vir: CEWEP (2022), Waste-to-Energy in Europe in 2022 – 498 naprav v 23 državah, ~100 mio t odpadkov. Opomba: WtE Celje na zemljevidu ni prikazana.

Snovi z največjim vplivom na pljuča in nastanek raka

Onesnaževala iz sežiga odpadkov – med njimi snovi, ki jih IARC uvršča med dokazano rakotvorne (skupina 1).[1] V študiji smo obravnavali **tri najnevarnejše**.

1 **Trdni delci (prah, PM)**

PM2,5 in manjši prodrejo globoko v pljuča; IARC skupina 1.

2 **Dioksini in furani (PCDD/F), dioksinom podobni PCB**

Obstojni, bioakumulativni, zelo toksični; 2,3,7,8-TCDD je v skupini 1.

3 **Težke kovine in polkovine**

As, Cd, Ni in Cr^{6+} – dokazani karcinogeni; Hg je nevrotoksično.

obravnavano v študiji ↑

4 **Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH)**

Benzo(a)piren je dokazan karcinogen (skupina 1).

5 **Kisli plini in NOx**

SO_2, HCl, HF, NOx dražijo dihala, poslabšujejo pljučne bolezni.

KAJ JE TREBA MERITI

Zvezno (kontinuirano)

IED 2010/75/EU, Priloga VI

- prah, TOC, HCl, HF, SO_2, NOx, CO
- obratovalni parametri (temperatura, kisik, tlak, vodna para)
- **od BAT 2019:** skupno živo srebro (THg)

Periodično

najpogosteje vsakih šest mesecev

- dioksini in furani (PCDD/F)
- težke kovine
- **BAT:** možno dolgotrajno vzorčenje dioksinov

[1] *Oblak T, Carli T, Zadnik V, Samec N, Kukec A. Povezanost med rakom in onesnaževali, ki nastanejo v procesih sežiga in sosežiga odpadkov: krovni pregled literature. Onkologija 2023; 27(2): 26–38. doi:10.25670/oi2023-007on*

Kaj so BAT in BAT-AEL

Najboljše razpoložljive tehnike

BAT (Best Available Techniques) – zaključki BAT določajo mejne vrednosti emisij, ki jih je mogoče doseči s sodobno načrtovanimi napravami.

Optimalno zgorevanje in čiščenje

Pri optimalni temperaturi in vsebnosti kisika je škodljivih snovi (CO, NOx) najmanj. Naprave imajo tudi najsodobnejše čiščenje dimnih plinov.

Meje se nižajo

Zakonske mejne vrednosti so praviloma nekoliko višje od BAT. Z razvojem tehnologij se znižujejo tako vrednosti BAT kot zakonske meje.

Praksa v Evropi: vsakih 20–30 let temeljita rekonstrukcija WtE naprav – tehnologijo zgorevanja in čiščenja dimnih plinov nadomestijo s sodobnejšo, ki ima bistveno nižje emisije.

WtE Ljubljana bo čistila dimne pline kot Spittelau



WtE Spittelau, Dunaj (Wien Energie)

Načrtovana naprava WtE v Ljubljani bo imela **enak sistem čiščenja dimnih plinov** kot WtE Spittelau na Dunaju – ena najsodobnejših naprav v Evropi.

PRENOVA 2012–2015

- optimizirano zgorevanje
- zamenjani kotli
- SCR za odstranjevanje dušikovih oksidov
- vrečasti filter namesto elektrostatičnega

Večstopenjsko čiščenje dimnih plinov (Spittelau, WtE Ljubljana)

01

Prah

Pred vrečastim filtrom se dodaja aktivno oglje; filter zadrži prah, leteči pepel, težke kovine, dioksine in furane.

PRAHOVO: PRED → PO

Prah 27.400 → **< 1** mg/Nm³

02

Mokro pranje

1. stopnja HCl in HF, 2. stopnja SO_2 (z apnom/NaOH), skupaj z aerosoli in kovinami.

PRAHOVO: PRED → PO

HCl 2.340 → **< 1** mg/Nm³

SO_2 2.309 → **< 20** mg/Nm³

03

Aktivno oglje / koks

Adsorbira zadnje sledi dioksinov, furanov, živega srebra in drugih težkih kovin.

PRAHOVO: PRED → PO

Hg 600 → **< 20** µg/Nm³

04

Katalitsko razdušikanje (SCR)

Po dodajanju amoniaka se NOx v katalizatorju pretvorijo v dušik in vodno paro.

PRAHOVO: PRED → PO

NOx 200 → **< 30** mg/Nm³

Podatki v okvirjih: referenčni projekt WtE Elixir Prahovo.

Vhodni podatki za primerjalni izračun

WtE Ljubljana

- 130.000 t preostanka odpadkov letno
- 99.650 Nm³/h dimnih plinov = 797.184.000 Nm³/leto
- računsko: emisije na **zgornji meji BAT**

Osebna vozila

- > 100.000 vozil iz okolice, ki dnevno prevozijo vsaj 60 km
- 100.000 vozil prebivalcev Ljubljane, 13.000 km na leto
- **samo osebna vozila** – brez tovornega prometa in avtobusov
- izpusti po mejah EURO (optimistično)

Kurišča na les

- individualna kurišča v MOL
- 117 GWh toplote letno iz lesne biomase
- emisijski faktorji EMEP/EEA 2023

Viri: *WtE Ljubljana – načrtovani podatki naprave (letna količina odpadkov, pretok dimnih plinov) in zgornje meje BAT-AEL; osebna vozila – podatki.gov.si (PLDP – karte prometnih obremenitev), SURS (starost vozil), standardi EURO; kurišča – Lokalni energetski koncept MOL (2022), EMEP/EEA guidebook 2023 (posodobitev 2025).*

Izpušne emisije osebnih vozil po standardih EURO

VOZNI PARK V LJUBLJANI (OCENA)

Razred	Delež
EURO 6 (od 2015)	~45–55 %
EURO 5 (2011–2015)	~20–25 %
EURO 4 (2006–2010)	~12–18 %
EURO 3 (2001–2005)	~6–10 %
pred EURO 3, nerazvrščeno, EV	~5–8 %

MEJNE VREDNOSTI (DIZEL / BENCIN), g/km

Standard	Prah (PM)	CO	NOx
EURO 6	0,005 / 0,005	0,50 / 1,0	0,08 / 0,06
EURO 5	0,005 / 0,005*	0,50 / 1,0	0,18 / 0,06
EURO 4	0,025 / –	0,50 / 1,0	0,25 / 0,08
EURO 3	0,050 / –	0,64 / 2,3	0,50 / 0,15

** samo neposredni vbrizg; – ni omejitve. Vir: Wikipedia (standardi EURO); SURS.*

10-krat manj prahu dovoljuje EURO 5 kot EURO 3. Tudi NOx so se bistveno zmanjšali – nova vozila imajo filter delcev in doziranje AdBlue.

Pnevmatike, cestišče in zavore: prah in težke kovine

Vir obrabe (g/km)	TSP	PM10	PM2,5
Pnevmatike	0,0107	0,0064	0,0045
Cestišče (asfalt)	0,015	0,0075	0,0041
Skupaj	**0,0257**	**0,0139**	**0,0086**

Vir: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 (posodobitev 2025), NFR 1.A.3.b.vi in 1.A.3.b.vii.

Kovina	Pnevmatike (µg/km)	Zavore (µg/km)
Zn	80	123
Cu	1,9	726
Pb	1,9	86
Cr	0,25	33
Ni	0,32	4,6
Cd	0,05	0,32

Vir: EMEP/EEA guidebook 2023 (posodobitev 2025), pogl. 1.A.3.b.vi/vii.

5×

EURO 6: več prahu iz pnevmatik in cestišča kot iz izpuha motorja z notranjim izgorevanjem pri optimalnem delovanju.

Veliko onesnaženje zraka s prašnimi delci in težkimi kovinami tudi pri električnih vozilih.

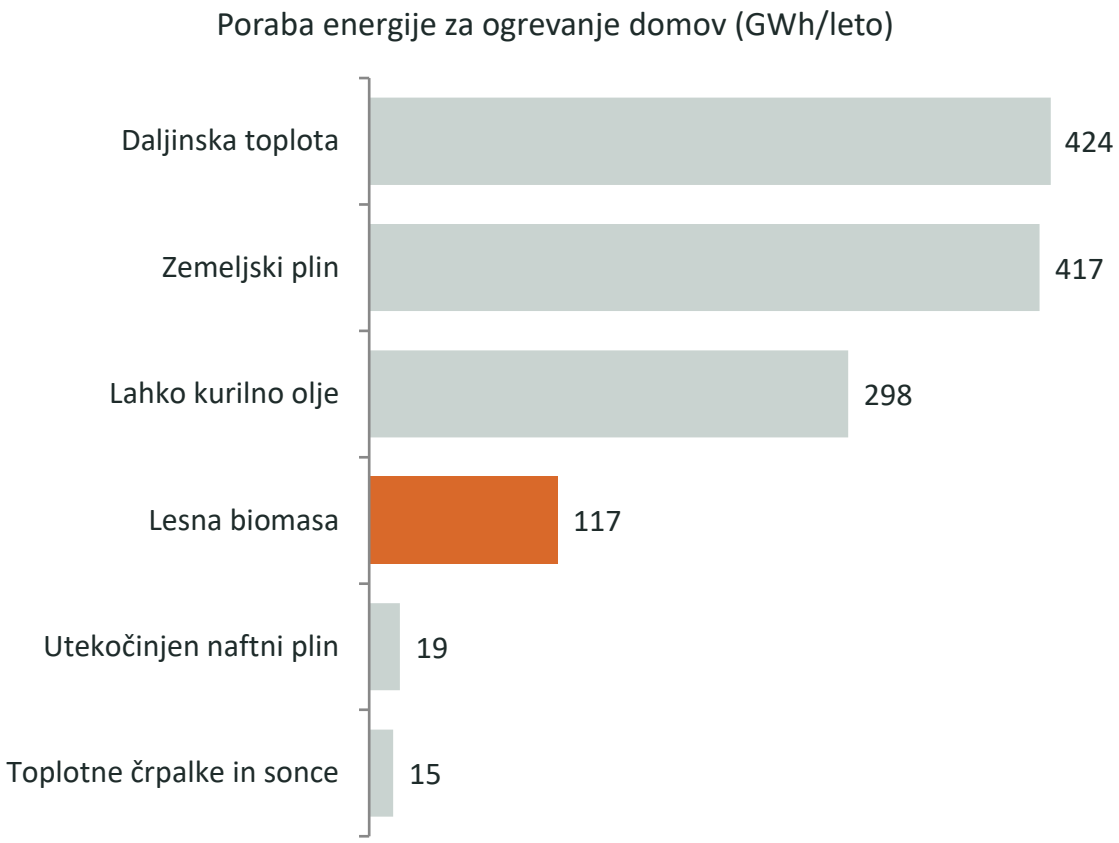
DELEŽ NEIZPUŠNIH VIROV V PROMETNEM PM

30–45 %
2010

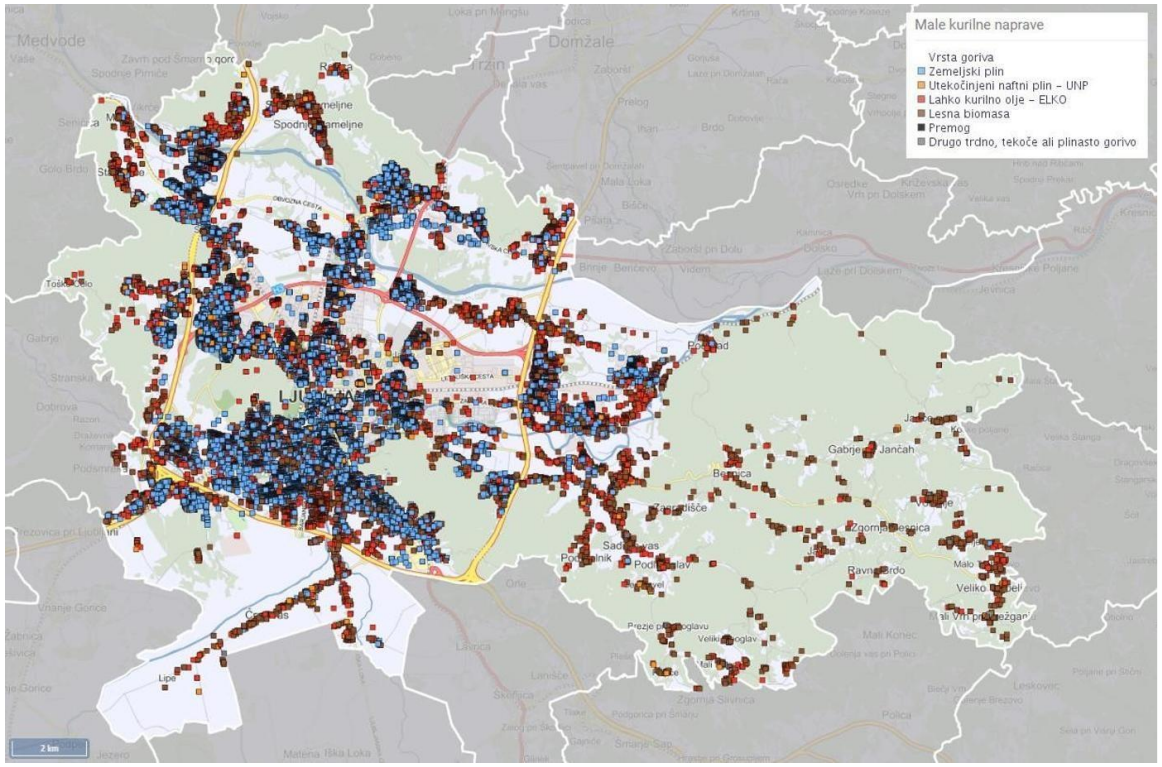
54–69 %
2020

> 90 %
2040 (brez ukrepov)

Ogrevanje domov v MOL



Vir: Lokalni energetski koncept MOL, marec 2022.



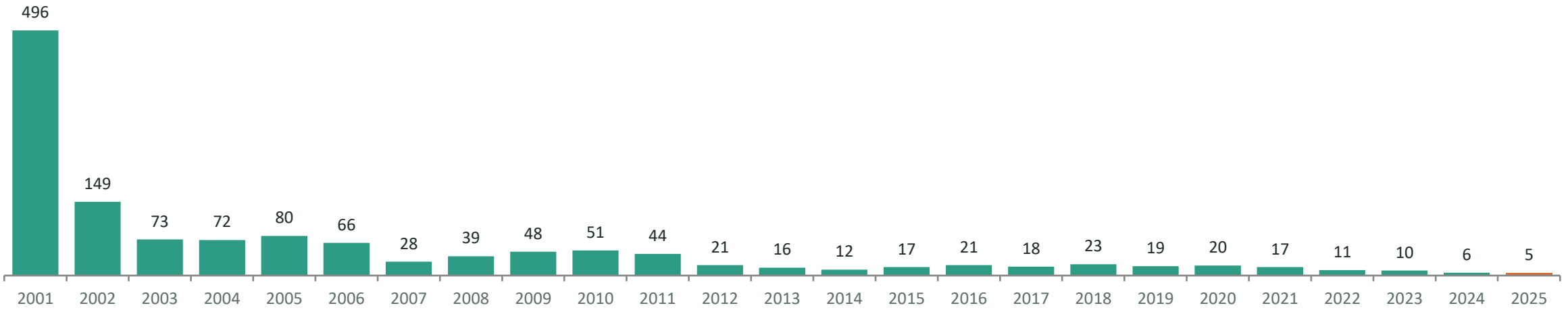
Male kurilne naprave za ogrevanje domov v MOL, 2018–2022. Vir: G. Golja, TEO Ljubljana in kakovost zraka v Ljubljani, Moravske Toplice, april 2026.

117 GWh toplote letno iz lesne biomase v individualnih kuriščih.

Letni izpusti: kurišča na les, WtE Ljubljana in TE-TOL

Onesnaževalo	Kurišča na les MOL letno (117 GWh)	WtE Ljubljana letno	TE-TOL (premog + biomasa) 2025
Prah – TSP	**400 t**	**0,8 t**	**5,4 t**
Dioksini in furani (PCDD/F)	**350 mg**	**1,6 mg**	brez navedbe podatka
Hlapne kovine skupaj (Zn+Cd+Hg+As)	**200 kg**	**40 kg**	brez navedbe podatka

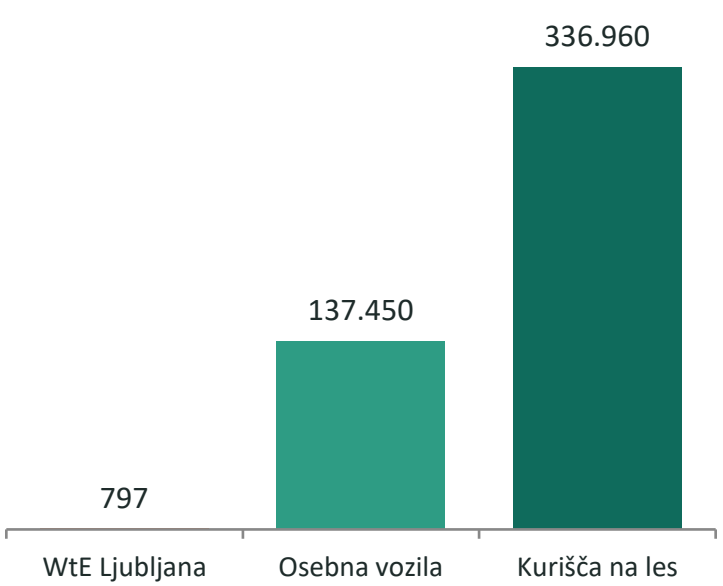
Emisije prahu (GPO) TE-TOL, t/leto: z 496 t (2001) na 5,4 t (2025)



Viri: TE-TOL – energetska poročila Energetika Ljubljana; kurišča – EMEP/EEA guidebook 2023 (posodobitev 2025), pogl. 1.A.4 × 117 GWh (LEK MOL 2022); WtE – tabela 9 študije (zgornja meja BAT).

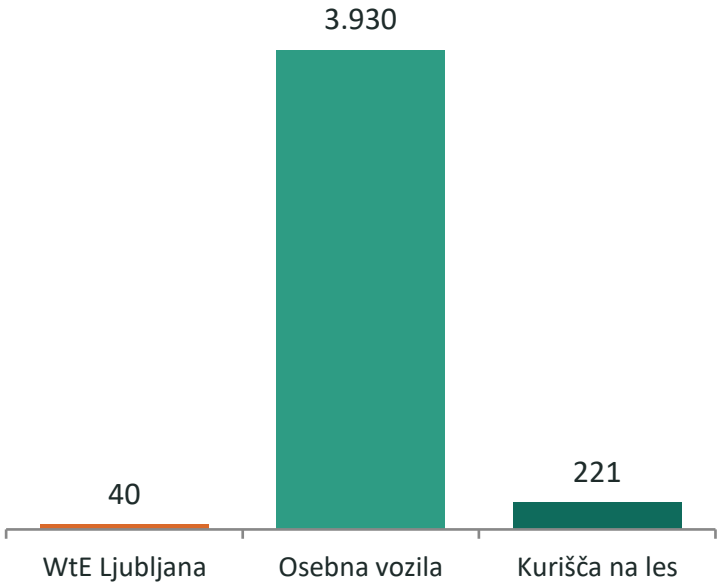
Letni izpusti: WtE Ljubljana, osebna vozila in kurišča na les

Prah (kg/leto)



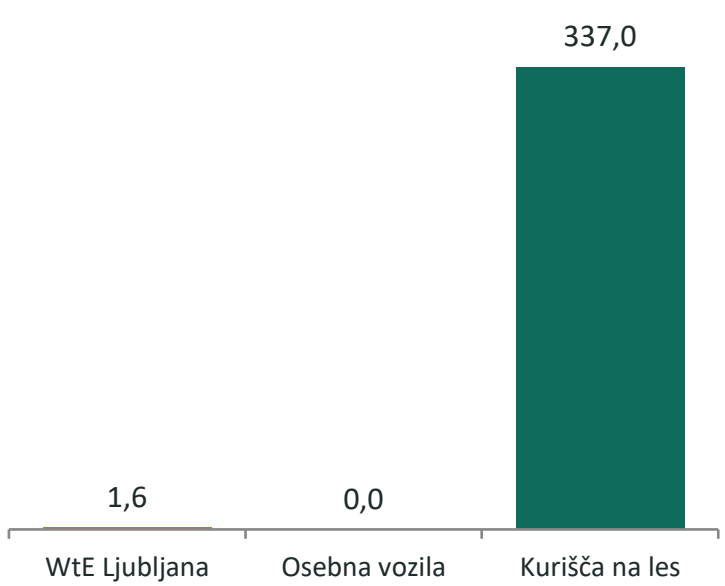
423× manj prahu kot kurišča na les (797 proti 336.960 kg/leto)
172× manj prahu kot osebni promet (137.450 kg/leto)

Hlapne težke kovine (kg/leto)



Prevladuje promet (3.930 kg/leto) – pretežno cink iz obrabe pnevmatik, zavor in cestišča; kurišča 221 kg, WtE 40 kg. Cr, Ni in Cu (vrelišča nad 2.500 °C) večinoma ostanejo v pepelu.

Dioksini in furani (mg/leto)



210× manj dioksinov in furanov kot kurišča na les (1,6 proti 337 mg/leto).
Osebna vozila jih praktično ne proizvajajo – niso produkt zgorevanja rafiniranih goriv.

WtE na zgornji meji BAT · promet brez avtobusov in tovornjakov · kurišča samo MOL, brez kaminov · upoštevane le hlapne kovine (Hg, As, Cd, Zn).

Ocena je namenoma previdna – v škodo sežigalnice

WtE Ljubljana – zgornja meja BAT

Dejanske emisije bodo bistveno nižje (Spittelau obratuje globoko pod mejnimi vrednostmi). Številke za WtE so najslabši možni scenarij.

Promet – brez avtobusov in tovornjakov

Upoštevana so le osebna vozila, zato je dejanski prispevek prometa še višji.

Kurišča – brez zaledja in kaminov

Niso upoštevana kurišča v občinah zunaj MOL v isti kotlini, niti pomožna kurišča (kamini).

Sežigalnica ni podcenjena, drugi viri niso precenjeni.

ZAKLJUČEK

Za čistejši zrak v ljubljanski kotlini moramo ukrepati tam, kjer so viri, ki dejansko prevladujejo.

Individualna kurišča na les

največji vir prahu ter dioksinov in furanov

Osebni in tovorni promet

velik vir prahu in hlapnih težkih kovin

WtE Ljubljana

obroben prispevek – tudi v najslabšem scenariju

Hvala za pozornost!

Vprašanja in razprava

dr. Anamarija Borštnik Bračić



Viri

- CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants (2022): Waste-to-Energy in Europe in 2022, cewep.eu.
- Direktiva 2010/75/EU o industrijskih emisijah (IED), Priloga VI; zaključki BAT za sežiganje odpadkov (2019).
- Wien Energie: emisijske vrednosti naprav Spittelau in Flötzersteig, wienenergie.at.
- A2A: termovalorizzatori Brescia in Milano – Silla 2, gruppoa2a.it.
- SIG: Rapport d’exploitation valorisation des déchets 2024 – L’air, Site des Cheneviers.
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 (posodobitev 2025), Evropska agencija za okolje.
- Lokalni energetski koncept MOL, marec 2022.
- Energetika Ljubljana: energetska poročila (emisije prahu TE-TOL 2001–2025).
- Oblak T, Carli T, Zadnik V, Samec N, Kukec A.: Povezanost med rakom in onesnaževali, ki nastanejo v procesih sežiga in sosežiga odpadkov – krovni pregled literature, Onkologija 27(2), 2023.
- G. Golja: TEO Ljubljana in kakovost zraka v Ljubljani, 29. strokovno posvetovanje, Moravske Toplice, april 2026.
- SURS – podatki o voznem parku; podatki.gov.si – karte prometnih obremenitev; standardi EURO (Wikipedia).

Zakaj so individualna kurišča na les tako problematična

Temperatura zgorevanja

Velika kurišča (daljinsko ogrevanje na biomaso, WtE) obratujejo pri optimalni, visoki in stabilni temperaturi – popolno izgorevanje in minimalni produkti nepopolnega zgorevanja.

V malih pečeh se količina goriva s časom spreminja, pogosto je izgorevanje pri prenizki temperaturi, z vlažnimi drvmi ali celo z odpadki.

Čiščenje dimnih plinov

Velika kurišča imajo večstopenjsko čiščenje, ki pri prahu prepusti le okoli 1 : 30.000 vstopne mase delcev.

Individualne peči nimajo praktično nobenega čiščenja.

Posledica: posamezno gospodinjsko kurišče na enoto toplote odda nesorazmerno veliko onesnaževal.

Ponazoritev: koliko je to v resnici?

Celotna WtE Ljubljana odda letno toliko kot …

PRAH

24

avtomobilov

ki neprekinjeno 24 ur na dan vozijo po obvoznici s 100 km/h

TEŽKE KOVINE

43

vozil

ki neprekinjeno vozijo po obvoznici s 100 km/h

PRAH

18

kurišč na les

individualnih gospodinjskih kurišč

DIOKSINI IN FURANI

37

kurišč na les

individualnih gospodinjskih kurišč

Nekaj deset kurišč ali avtomobilov – v primerjavi z več tisoč kurišči in stotisoči vozil zanemarljivo.