Predstavlja nova naprava za toplotno obdelavo odpadkov v Ljubljani nevarnost za zdravje meščanov?

Vpliv naprave na okolje in primerjava z drugimi napravami za toplotno obdelavo odpadkov v Evropi

dr. Anamarija Borštnik Bračić, GP sistemi

Ljubljana, 8.6.2026

Kazalo:

1. Uvod....2
2. WtE naprave v Evropi....2
3. Katere vplive na okolje ima Wte....4
4. BAT standardi za emisije v zrak (BAT-AEL)....5
5. Primerjava izpustov, ki jih bo dosegala Sežigalnica z najbolj naprednimi WtE napravami v Evropi 6
6. Specifične emisije Wte Ljubljana, osebnih vozil in individualnih kurišča....9
7. Primerjava emisij WtE Ljubljana z emisijami prometa in individualnih kurišč....14
8. Zaključek....16

1. Uvod

Sodobno ravnanje z odpadki v Evropski uniji temelji na ustaljeni hierarhiji, ki določa prednostni vrstni red ukrepov glede na njihovo okoljsko sprejemljivost. Na vrhu te hierarhije je preprečevanje nastajanja odpadkov, takoj za njim pa ponovna uporaba: kadar je material še uporaben, ga je smiselno najprej ponovno uporabiti. Šele ko to ni več mogoče, sledi snovna predelava oziroma recikliranje, s katerim materiale, ki jih v dani obliki ne potrebujemo več, vrnemo v snovni krogotok. Kadar pa odpadkov ni mogoče niti ponovno uporabiti niti snovno predelati, je z okoljskega vidika manj obremenjujoče, da jih termično obdelamo v napravah za soproizvodnjo elektrike in toplote, kot pa da jih odložimo na deponije. Naprave za energetsko izrabo odpadkov (angl. waste-to-energy, **WtE**) tako predstavljajo predzadnjo stopnjo v hierarhiji, tik nad odlaganjem: po eni strani zmanjšajo prostornino in nevarnost preostalih odpadkov, po drugi pa iz njih pridobijo energijo v obliki elektrike in toplote, pri čemer odpadki nadomestijo druge, pogosto fosilne vire energije.

Sežiganje odpadkov ima v Evropi dolgo tradicijo. Razvoj sodobne tehnologije termične obdelave odpadkov se je začel v sedemdesetih letih 19. stoletja v Angliji, kjer je bila prva sežigalnica zgrajena leta 1874 v Nottinghamu; na evropsko celino se je tehnologija razširila kmalu zatem, saj je bila prva celinska naprava zgrajena in zagnana med letoma 1893 in 1896 v Hamburgu. Danes je sežiganje s sočasno energetsko izrabo uveljavljen del evropskega sistema ravnanja z odpadki. Po podatkih združenja CEWEP je v letu 2022 v 23 evropskih državah obratovalo 498 naprav za energetsko izrabo odpadkov (brez sežigalnic nevarnih odpadkov), ki so letno termično obdelale približno 100 milijonov ton preostalih odpadkov. Odpadki, ki jih ni mogoče snovno predelati, tako predstavljajo pomemben lokalni vir energije: namesto da bi končali na deponiji, v teh napravah nadomestijo druge energente in prek soproizvodnje napajajo lokalna omrežja z elektriko in toploto, zlasti v sistemih daljinskega ogrevanja.

Ob upoštevanju dejstva, da je v Evropi v obratovanju že blizu petsto naprav za energetsko izrabo odpadkov, se zastavlja vprašanje, kako so te naprave umeščene in zasnovane v različnih državah ter kako se med seboj razlikujejo po energetskih izkoristkih, tehnologijah obdelave dimnih plinov in učinkovitosti soproizvodnje elektrike in toplote. Pričujoča primerjalna študija sežigalnic odpadkov v Evropi obravnava prav ta vprašanja in si prizadeva osvetliti, v kolikšni meri obstoječa praksa dejansko uresničuje načela hierarhije ravnanja z odpadki.

2. WtE naprave v Evropi

Razmestitev obstoječih naprav nazorno prikazuje Slika 1, povzeta po zbirnem zemljevidu združenja CEWEP za leto 2022 (CEWEP, 2022). Z zemljevida je razvidno, da sta severna in zahodna Evropa gosto pokriti z napravami za energetsko izrabo odpadkov, medtem ko na območju Balkana takšnih objektov tako rekoč ni. Ker pa preostanek odpadkov, ki ga ni mogoče snovno predelati, nastaja tudi na tem območju, je smiselno naprave za energetsko izrabo zgraditi tudi tukaj — tako bi se gorljivi del odpadkov energetsko izrabil lokalno, namesto da ga vozimo v oddaljene države.

Okvirno oceno potrebnega števila naprav lahko izpeljemo glede na število prebivalcev, izhajajoč iz pokritosti v gosto pokritih državah srednje Evrope (Nemčija in Avstrija obratujeta približno eno napravo na milijon prebivalcev). Ob tem merilu bi bilo na obravnavanem območju smiselno zgraditi naslednje število naprav za termično obdelavo odpadkov ob predpostavki, da ena naprava WtE letno termično obdela med 100.000 in 200.000 ton odpadkov:

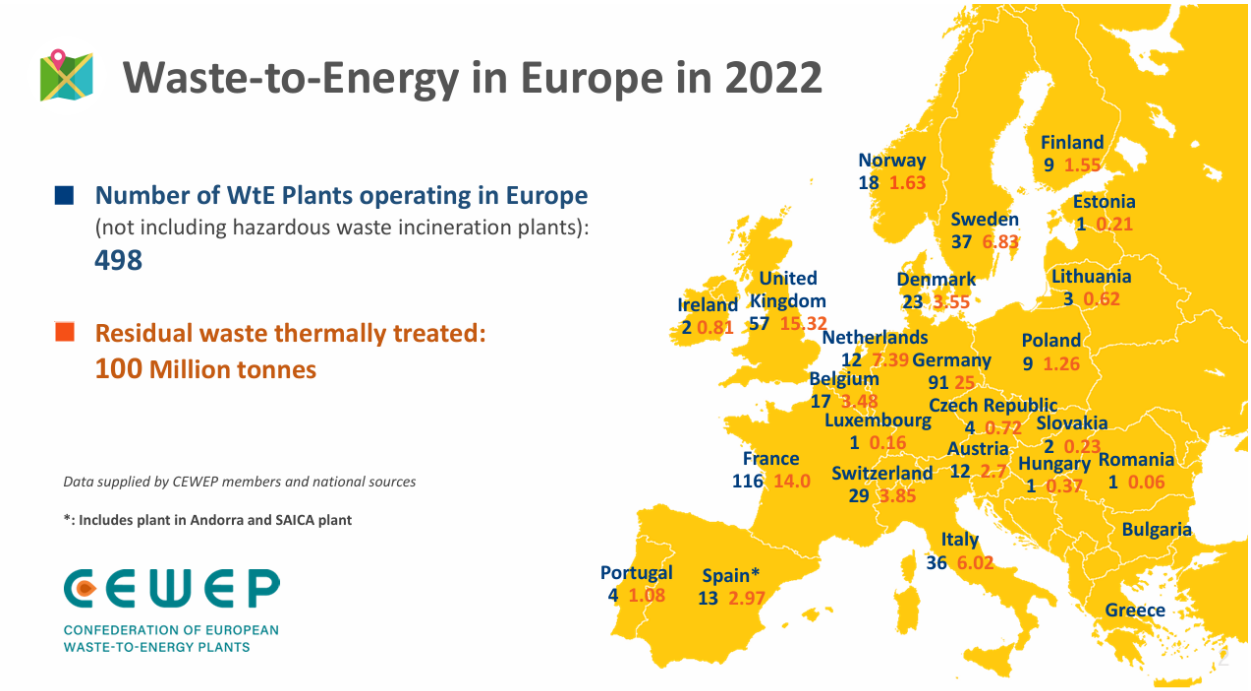
Slovenija (ok. 2,1 milijona prebivalcev): 3 do 4 naprave;

Hrvaška (ok. 3,9 milijona): 4 do 8 naprave;

Bosna in Hercegovina (ok. 3,3 milijona): 3-6 naprav;

Srbija (ok. 6,6 milijona): približno 10 do 12 naprav.

Skupaj bi torej na tem delu Balkana smiselno delovalo okoli 20 do 30 naprav za energetsko izrabo odpadkov, kar bi občutno zmanjšalo potrebo po izvozu gorljivega preostanka odpadkov in odlaganju na deponijah.



Slika 1: število naprav za toplotno obdelavo odpadkov v posametznih državah Evrope. Opomba: zemljevid očitno ne odraža povsem realnega stanja, saj naprava WtE Celje na njem ni prikazana.

Vir: CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants (2022). *Waste-to-Energy in Europe in 2022* (zemljevid naprav). Dostopno na: https://www.cewep.eu/interactive-map-of-waste-to-energy-plants/ (pridobljeno 5. 6. 2026). → 498 naprav v 23 evropskih državah; ok. 100 milijonov ton termično obdelanih preostalih odpadkov.

3. Katere vplive na okolje ima Wte

Nevarne snovi z največjim vplivom na pljuča in nastanek raka

Med emisijami iz naprav WtE so za zdravje dihal in za nastanek rakavih obolenj najbolj problematični izpusti v dimnih plinih v zrak naslednjih skupin snovi:

Trdni delci (prah, PM). Drobni in ultrafini delci ($PM_{2,5}$ in manjši) prodrejo globoko v pljuča in so povezani z boleznimi dihal (astma, KOPB, kronični bronhitis) ter srčno-žilnimi obolenji. Onesnaženost zunanjega zraka in delce je IARC uvrstil med dokazane karcinogene za človeka (skupina 1), z neposredno povezavo s pljučnim rakom.

Dioksini in furani (PCDD/F) ter dioksinom podobni PCB. So obstojna, bioakumulativna in visoko toksična onesnaževala; 2,3,7,8-TCDD je uvrščen med dokazane karcinogene (skupina 1). Nastajajo pri nepopolnem zgorevanju in t. i. de-novo sintezi v hladnejšem delu dimnih plinov, zato so v ospredju nadzora pri sežigalnicah.

Karcinogene težke kovine in polkovine. Posebej arzen (As), kadmij (Cd), nikelj (Ni) in šestvalentni krom (Cr^{6+}) so uvrščeni med dokazane karcinogene (skupina 1) in so povezani zlasti s pljučnim rakom. Živo srebro (Hg) je predvsem nevrotoksično, a se zaradi visoke nevarnosti nadzira posebej strogo.

Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH). Med njimi je benzo(a)piren dokazan karcinogen (skupina 1).

Kisli plini in NO_x. Žveplov dioksid (SO_2), klorovodik (HCl), fluorovodik (HF) in dušikovi oksidi (NO_x) delujejo predvsem kot dražila dihal in poslabšujejo obstoječe pljučne bolezni.

Emisije, ki jih je treba zakonsko trajno (zvezno) meriti

V skladu z IED (Direktiva 2010/75/EU, Priloga VI) je v napravah za sežiganje odpadkov treba zvezno (kontinuirano) meriti naslednje parametre: skupni prah (trdne delce), skupni organski ogljik (TOC), klorovodik (HCl), fluorovodik (HF), žveplov dioksid (SO_2), dušikove okside (NO_x) in ogljikov monoksid (CO). Poleg tega se zvezno spremljajo obratovalni parametri (temperatura v zgorevalni komori, vsebnost kisika, tlak ter temperatura in vsebnost vodne pare v dimnih plinih).

Novost BAT zaključkov iz leta 2019 je zahteva po zvezni meritvi skupnega živega srebra (THg), razen kadar naprava sežiga odpadke z dokazano nizko in stabilno vsebnostjo živega srebra.

Dioksine in furane (PCDD/F) ter težke kovine se praviloma meri periodično (najpogosteje vsakih šest mesecev), pri čemer so BAT zaključki uvedli tudi možnost dolgotrajnega vzorčenja dioksinov (zvezno vzorčenje z naknadno laboratorijsko analizo).

4. BAT standardi za emisije v zrak (BAT-AEL)

BAT pomeni »*Best Available Techniques* – najboljše razpoložljive tehnike«, BAT zaključki pa zapis mejnih vrednosti emisij škodljivih snovi v zrak, ki jih je mogoče doseči s sodobno načrtovanimi napravami. Ti imajo vgrajene najnovejše tehnologije za optimizacijo izgorevanja, saj je pri optimalni temperaturi in optimalni vsebnosti kisika v izgorevalnem zraku tudi količina škodljivih snovi, ki nastajajo pri izgorevanju (CO, NOx), najmanjša. Prav tako imajo vgrajene najsodobnejše naprave za čiščenje dimnih plinov.

Zakonsko določene mejne vrednosti so praviloma nekoliko višje od vrednosti BAT; se pa hkrati z razvojem novih tehnologij izgorevanja in čiščenja dimnih plinov zmanjšujejo vrednosti BAT ter zakonsko določene mejne vrednosti.

Spodnja tabela povzema BAT-AEL za emisije v zrak pri sežiganju odpadkov (zlasti komunalnih). Vrednosti so podane pri standardnih pogojih in referenčni vsebnosti kisika 11 vol. % suhega plina; razponi izhajajo iz razlik med dnevnimi povprečji oziroma obdobji vzorčenja ter med novimi in obstoječimi obrati.

Onesnaževalo	**BAT-AEL (razpon)**	**Povprečenje / opomba**
Prah (trdni delci)	2–5 mg/Nm^3	dnevno povprečje
HCl	2–6 (do 8) mg/Nm^3	dnevno povprečje
HF	< 1 mg/Nm^3	dnevno povprečje
SO_2	5–30 (do 40) mg/Nm^3	dnevno povprečje
NO_x	50–120 (obstoječi do 150) mg/Nm^3	dnevno povprečje
NH_3 (presežek amonijaka)	2–10 mg/Nm^3	dnevno povprečje
TVOC (skupni org. ogljik v plinu)	3–10 mg/Nm^3	dnevno povprečje
Hg (živo srebro)	< 5–20 µg/Nm^3	dnevno povprečje / dolgotrajno vzorčenje
Cd + Tl	0,005–0,02 mg/Nm^3	obdobje vzorčenja
Σ kovin (Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V)	0,01–0,3 mg/Nm^3	obdobje vzorčenja
PCDD/F (dioksini in furani)	0,01–0,04 ng I-TEQ/Nm^3 (kratko vzorčenje); 0,01–0,06 ng I-TEQ/Nm^3 (dolgotrajno)	obdobje vzorčenja

Onesnaževalo	BAT-AEL (razpon)	Povprečenje / opomba
PCDD/F + dioksinom podobni PCB	0,01–0,06 ng WHO-TEQ/Nm^3 (kratko); 0,01–0,08 (dolgotrajno)	obdobje vzorčenja

Tabela št. 1 Vrednosti BAT za naprave za termično obdelavo preostanka odpadkov.

5. Primerjava izpustov, ki jih bo dosegala Sežigalnica z najbolj naprednimi WtE napravami v Evropi

Načrtovana naprava WtE v Ljubljani bo imela enak sistem čiščenja dimnih plinov kot ga ima danes WtE Spittelau na Dunaju. Slednja velja za eno najbolj sodobnih naprav za toplotno obdelavo odpadkov v Evropi. Po generalni prenovi v letih 2012-2015, ko so optimirali izgorevanje, zamenjali kotle, dodali SCR napravo za odstranjevanje dušikovih oksidov in elektrostatični filter zamenjali z vrečasti filtrom, se je količina škodljivih snovi, ki ga izpušča ta naprava, bistveno zmanjšala.



Wienenergie – Spittelau:

Sežigalnica Spittelau na Dunaju (upravljavec Wien Energie) ima večstopenjsko mokro čiščenje dimnih plinov. Dimni plini gredo zaporedoma skozi naslednje stopnje:

Odstranjevanje prahu in težkih kovin. V reaktor, ki je nameščen pred vrečastim filtrom, se dodaja aktivno oglje, ki iz dimnih plinov odstranjuje težke kovine. Vrečasti filter zadrži prah in leteči pepel; z doziranjem aktivnega oglja/koksa na filter se na tej stopnji ujamejo tudi težke kovine ter dioksini in furani (učinkovitost odločevanja sega skoraj do meje zaznavnosti).

Večstopenjsko mokro pranje (Nasswäsche). V protitočnih pralnikih se izperejo kisli plini: v prvi stopnji klorovodik (HCl) in fluorovodik (HF), v drugi stopnji žveplov dioksid (SO_2, običajno z apnom/natrijevim hidroksidom), skupaj z aerosoli in preostalimi težkimi kovinami.

Stopnja z aktivnim ogljem/koksom. Adsorbira zadnje sledi organskih onesnaževal (dioksini, furani), živega srebra in drugih težkih kovin.

Katalitska razdušikanje (SCR-DeNOx). V SCR-katalizatorju se ob dodajanju amoniaka dušikovi oksidi (NOx) pretvorijo v elementarni dušik in vodno paro.

Z zgoraj navedenim načinom odstranjevanja škodljivih snovi iz dimnih plinov je mogoče doseči vrednosti, ki so bistveno manjše od spodnje meje BAT.

Zürich — KVA Hagenholz:

Napravo v **Ženevi** (KVA Hagenholz), ki je bila zgrajena v letu 1969, so v letih 2008 do 2010 posodobili. **Način čiščenja dimnih plinov ni tako dovršen, kot je v WtE Spittelau**. Plini gredo zaporedoma skozi: elektrofilter, kjer se trdni delci ločijo kot filtrirni prah; odstranjevanje dušika, kjer se po dodajanju amoniaka dušikovi oksidi pretvorijo v dušik in vodno paro; mokre pralnike, ki ločijo plinaste onesnaževalce, kot so klorovodik, fluorovodik, žveplov dioksid in težke kovine; ter doziranje aktivnega oglja za adsorpcijo živega srebra, dioksinov in furanov. Posebnost: pralna voda se najprej filtrira, da se izloči aktivno oglje z dioksini/furani in živim srebrom, nato se vodi v kislo pranje letečega pepela (FLUWA), kjer kislina ekstrahira težke kovine iz pepela.
Napravo trenutno povečujejo: mesto Zürich prek ERZ do leta 2027 povečuje zmogljivost z 230.000 na 345.000 ton letno z dodajanjem tretje sežigalne linije (oznaka 2K5) na obstoječem zemljišču.

Ženeva — Usine des Cheneviers

Obrat upravlja SIG (Services Industriels de Genève), nahaja se v občini Bernex blizu Ženeve. Usina des Cheneviers obdeluje in energetsko izrablja vse mestne, industrijske in posebne odpadke kantona, kar znaša okoli 230.000 ton letno, ter je eden glavnih proizvajalcev elektrike in daljinske toplote v kantonu. Tudi tu poteka velika prenova: sedanji obrat (Cheneviers III) iz leta 1993, ki ga SIG upravlja od 2001, je predimenzioniran in tehnološko izčrpan, zato gradijo novo usino Cheneviers IV na istem zemljišču ob nadaljnjem obratovanju. Prva faza je bila zaključena leta 2023, nova usina pa naj bi začela obratovati leta 2029 z letno zmogljivostjo 160.000 ton, nakar bodo Cheneviers III porušili.

Sistem čiščenja dimnih plinov je podoben kot v Zurichu in ni tako dovršen kot v WtE Spittelau ter kot bo v Ljubljani, saj izloča prah elektrostatični filter, ki ni tako učinkovit kot vrečasti filter.

V spodnji tabeli so navedene vrednosti BAT ter dejansko izmerjene vrednosti v 2 WtE napravah Wienenergie (https://www.wienenergie.at/ueber-uns/unternehmen/energie-klimaschutz/energieerzeugung/abfallverwertungsanlagen/emissionswerte/) ter WtE napravah v Brescii in Milanu (https://www.gruppoa2a.it/it/chi-siamo/nostri-impianti/ciclo-rifiuti/termovalorizzatori/termovalorizzatore-brescia), ki ju nismo podrobno predstavili.

onesnažilo	**Dunaj WtE Flötzersteig**	**Dunaj WtE Spittelau**	**WtE Brescia**	**Milano - silla 2**	**BAT**
CO (mg/Nm^3)	6	0,4	12,5	6	**10-50**
NO_2 (mg/Nm^3)	48,3	41,5	39	33	**50-120**
TOC (mg/Nm^3)	0,4	0,4	0,26	0,37	**3-10**
HCl (mg/Nm^3)	0,1	0,8	0,17	2,4	**2-6**
NH_3 (mg/Nm^3)	0,07	0,35	0,26	0,17	**2-10**
SO_2 (mg/Nm^3)	1,2	1,3	0,53	1,7	**5-30**
Prah (mg/Nm^3)	0,9	0,1	0,18	0,2	**2-5**
Hg ($\mu g/Nm^3$)	0,1	0*	na	na	**5-20**

* Pomeni, da ni bilo mogoče izmeriti

Tabela št. 2 Izmerjene vrednosti emisij v navedenih napravah dne 5.6.2026 za napravi na Dunaju) ter več dnevno povprečje v obdobju 5.-10.5.2026 za napravi v Italiji.

Pri primerjavi podatkov v tabeli 2 lahko opazimo, da so dejanske vrednosti bistveno nižje od mejnih vrednosti BAT. Enako visoke vrednosti kot pri napravi WtE Spittelau, so pričakovane tudi v Ljubljani.

Ker za WtE v Ženevi in Zurichu niso objavljene vrednosti emisij v mg/Nm3, ampak v kg/leto, podatki za ti švicarski napravi v tabeli 2 niso navedeni. Lahko pa primerjamo vrednosti objavljene za WtE v Ženevi (Vir: SIG, Rapport d'exploitation valorisation des déchets 2024, razdelek "L'air — Site des Cheneviers, Émissions") z emisijami, ki bi jih dala naprava, ki ima izpuste skladne z zgornjo mejo BAT.

	WtE Zurich količina emisij v kg/leto	**WtE Zurich preračunano v g emisij/t odpadkov**	BAT - v g emisij/t odpadkov
CO	9.386	45,02	306,6
NOx	60.692	291,10	183,96
HCl	1.367	6,56	6,132
SO_2	13.649	65,47	61,32
prah	3.303	15,84	6,132

Tabela št. 3: izmerjene vrednosti emisij v kg/leto (drugi stolpec), preračunano v količino emisij na t odpadkov (tretji stolpec) ter količina emisij, če bi naprava ustrezala zgornji vrednosti BAT (četrti stolpec). V izračunu sta upoštevana podatka: pri popolnem izgorevanju 1 t odpadka nastane 6.132 Nm^3 dimnih plinov, naprava v Ženevi je v letu 2024 toplotno obdelala 208.493 t odpadkov.

Primerjava stolpcev 3 in 4 pokaže, da ima naprava v Zurichu emisije višje od zgornje meje BAT na področjih NOx, SO2 ter predvsem prahu.

6. Specifične emisije Wte Ljubljana, osebnih vozil in individualnih kurišča

Iz tabele 2 v poglavju 5 je razvidno, da je v Ljubljani pričakovati bistveno nižje emisije, kot je zgornja meja BAT. Nekatere izmerjene emisije že delujočih naprav (kot je na primer WtE Spittelau na Dunaju) so tudi več kot 10 krat nižje kot narekuje zgornja meja BAT.

Kljub temu bomo za primerjavo količine emisij, ki jih bo letno proizvedla naprava WtE, z emisijami, ki jih izpuščajo osebna vozila in individualna kurišča na lesno biomaso, upoštevali zgornje vrednosti BAT.

Vhodni podatki za primerjalni izračun

V izračunu so upoštevani naslednji podatki:

WtE Ljubljana: letno toplotno obdela 130.000 preostanka odpadkov, računsko so vrednosti emisij enake zgornji meji BAT. Načrtovan pretok dimnih plinov v WtE Ljubljana je 99.650 Nm3/h, kar pomeni 797.184.000 Nm3/leto.

Vozila: upoštevane so **samo emisije osebnih vozil, ne pa tudi tovornega prometa ter avtobusov**. Prav tako je predpostavljeno, da so izpusti skladni z mejnimi vrednostmi EURO, kar ni

povsem točno. Vozila imajo take izpuste samo pri optimalnem delovanju, kar pri čakanju pred semaforji ne drži.

Za osebna vozila je privzeto:

a. **Število vozil**: skupino sestavljajo vozila, ki pridejo v Ljubljano iz okoliških krajev (Vrhnika, Logatec, Škofja loka, Kranj, Domžale, Kamnik, prihod preko Trojan, Grosuplje) več kot 100.000 vozil, ki dnevno prevozijo vsaj 60 km (po 30 km v eno smer) – vir: https://podatki.gov.si/dataset/pldp-karte-prometnih-obremenitev ter osebna vozila prebivalcev Ljubljane (100.000 vozil), ki letno prevozijo 13.000 km.
b. **Starost vozil** in skladnost s standardi EURO 3/4/5/6 (ocena, narejena na osnovi podatkov SURS): povprečna starost vozil v Ljubljani je 10 let, porazdelitev po starosti pa ocenjena na podlagi razpoložljivih podatkov takole:

EURO razred	**Ocenjeni delež (indikativno)**
EURO 6: od 2015 dalje	~45–55 %
EURO 5: 2011-2015	~20–25 %
EURO 4 : 2006-2010	~12–18 %
EURO 3 : 2001 do 2005	~6–10 %
pred EURO 3 + nerazvrščeno (vključno z EV) : do l. 2000	~5–8 %

Tabela št. 4: ocena deležev avtomobilov glede na standard, ki ga izpolnjujejo njihovi motorji (ocena narejena na podlagi podatkov SURS).

c. **Specifične vrednosti emisij iz motorjev z notranjim izgorevanjem** –standardi EURO (vir: Wikipedia)

Standard	Prah (PM, dizel/ bencin)	CO (dizel/ bencin)	NOx (dizel/ bencin)
EURO 6	0,005 g/km / 0,005 g/km	0,50 g/km / 1,0 g/km	0,08 g/km / 0,06 g/km
EURO 5	0,005 g/km / 0,005 g/km- samo neposredni vbrizg	0,50 g/km / 1,0 g/km	0,18 g/km / 0,06 g/km
EURO 4	0,025 g/km / ni omejitve	0,50 g/km / 1,0 g/km	0,25 g/km / 0,08 g/km
EURO 3	0,050 g/km / ni omejitve	0,64 g/km / 2,3 g/km	0,50 g/km / 0,15 g/km

Tabela št. 5: mejne vrednosti emisij škodljivih snovi osebnih vozil, kot jih določajo standardi EURO (vir Wikipedia).

Iz tabele 5 sledi, da so se omejitve izpustov prahu pri EURO5 glede na EURO 3 zmanjšale za faktor 10! Prav tako so se bistveno zmanjšale emisije dušikovih oksidov. Nova vozila morajo namreč imeti

vgrajen dodaten filter prašnih delcev ter sistem za doziranje Ad-blue za zmanjševanje dušikovih oksidov.

d. **Specifične vrednosti emisij avtomobilskih pnevmatik in asfalta zaradi trenja** Dodatni in zelo velik vir emisij rakotvornih snovi – prahu in težkih kovin so pnevmatike in asfalt.

Vrednosti **izpustov prahu iz pnevmatik in asfalta** so zapisane v tabeli 6.

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

Tabela št. 6: viri prašnih delcev vozil s 4 pnevmatikami (vir evropski priročnik: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 (posodobitev 2025), poglavji NFR 1.A.3.b.vi (obraba pnevmatik) in 1.A.3.b.vii (obraba cestišča), Evropska agencija za okolje (EEA)).

Primerjava tabel 5 in 6 pokaže, da je količina prašnih delcev iz pnevmatik in cestišča petkrat večja od izpustov motorjev z notranjim izgorevanjem. **To pomeni, da je onesnaženje električnih vozil s prašnimi delci zelo primerljivo onesnaženju dizelskih vozil z motorjem EURO 6**. To je tudi razlog za premik pozornosti k neizpušnim emisijam: neizpušni viri so s 30–45 % deleža prometnega PM v letu 2010 narasli na 54–69 % do leta 2020, brez ukrepov pa naj bi do 2040 presegli 90 % !

Vrednosti izpustov **težkih kovin**.

Pnevmatike — prevladuje cink. Cinkov oksid (ZnO), ki deluje kot vulkanizacijsko sredstvo, je pomemben dodatek; tipična koncentracija ZnO v tekalni plasti je 1,2 % pri osebnih avtomobilih. Delci, ki odpadajo s pnevmatik, vsebujejo 29 % elementarnega ogljika in 58 % organske snovi, cink pa je najpogostejša kovina. Iz tega sledi groba ocena: cink predstavlja red velikosti ~0,5–1 % mase delcev, kar pri PM10 obrabe pnevmatik (~6,4 mg/km) pomeni približno 30–60 µg cinka na km (to je izpeljana ocena, ne uradni faktor iz tabele). Druge kovine (svinec, kadmij, baker, krom, nikelj) so prisotne le v sledovih.

Cestišče (asfalt): malo težkih kovin. Delci obrabe asfalta so pretežno mineralni (alumosilikati iz kamnitega agregata, ki sestavlja 90–95 % asfalta), z nizko vsebnostjo težkih kovin.

Dejanska stopnja obrabe je odvisna od vrste in stanja pnevmatik, mase in pogona vozila, sloga vožnje, vrste in stanja cestišča ter vremena; mestna vožnja je povezana z visoko obrabo na enoto razdalje. Vrednosti v literaturi se razlikujejo za več velikostnih redov. Masa vozila / električna vozila: Električna vozila so v povprečju 258–314 kg težja od primerljivih bencinskih/dizelskih, kar vodi v 7–10 % višje emisije PM10 in PM2,5 iz obrabe pnevmatik.

Vrednosti **izpustov težkih kovin iz pnevmatik in zavor** so zapisane v tabeli 7.

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

Tabela št. 7: viri (težkih) kovin , ki se izločajo med vožnjo iz pnevmatik ter zavornega sistema (vir evropski priročnik: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 (posodobitev 2025), poglavje 1.A.3.b.vi/vii, Tabele 3-4, 3-6 in 3-12*., Evropska agencija za okolje (EEA))*.

Opomba pri navedbi podatkov o izpustih težkih kovin:

- *Stari podatki, novejša slika drugačna*. Tabela 7 temelji na starih poročilih. Po predhodnih rezultatih tekočih raziskav pri osebnih vozilih prevladuje barij, sledita železo in cink — torej se profil sodobnih ploščic razlikuje od starih vrednosti (zlasti baker se v nekaterih državah zmanjšuje).
- *Električna vozila — bistveno manj***.** Zaradi regenerativnega zaviranja je faktor TSP za zavore pri srednjem električnem vozilu 0,0030 g/km namesto 0,0142 g/km pri ICE — torej okoli petkrat manj, sorazmerno se zmanjšajo tudi kovine.
- *Euro 7***.** Uredba Euro 7 prvič uvaja mejne vrednosti PM10 za obrabo zavor (3–11 mg/km), in sicer za nove tipe vozil od novembra 2026 in za vse nove registracije od novembra 2027.

Individualna kurišča:

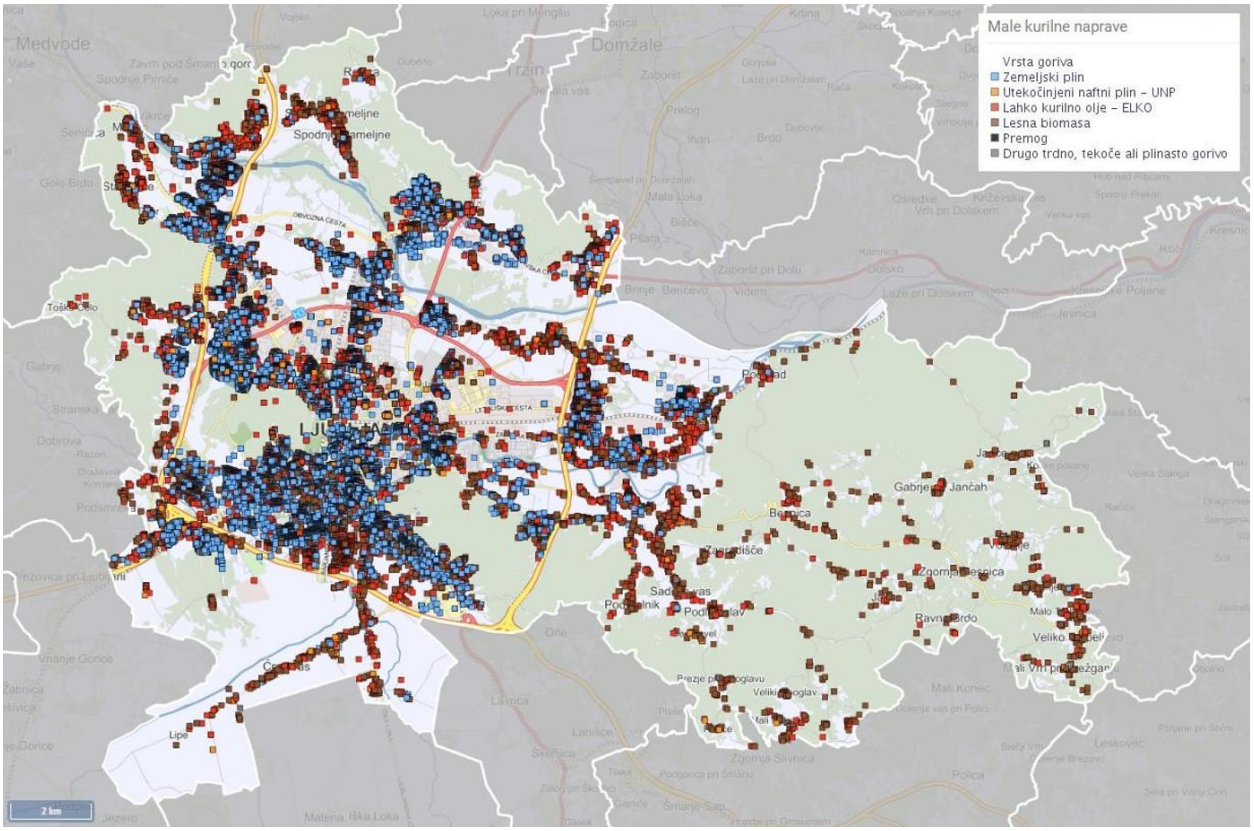
VIR OGREVANJA	PORABA	
	[GWh/leto]	%
Daljinska toplota	424	32,9%
Zemeljski plin	417	32,3%
Lahko kurilno olje	298	23,1%
Lesna biomasa	117	9,1%
Utekočinjen naftni plin	19	1,5%
Toplotne črplake in sonce	15	1,2%
SKUPAJ STANOVANJSKA RABA (41%)	1.291	

Vir: Lokalni energetski koncept MOL, marec 2022

Slika št. 2: poraba energije za ogrevanje domov

Iz slike 2 sledi, da se v individualnih kuriščih z lesno biomaso proizvede 117 GWh toplote letno.

Na sliki 3 so označeni viri ogrevanja domov v MOL.



Slika št. 3: male kurilne naprave za ogrevanje domov v MOL v letih 2018-2022 (vir: G. Golja, *TEO Ljubljana in kakovost zraka v Ljubljani*, »TRAJNOSTNOST JE PRIHODNOST – Vzpostavimo krog znanja in odgovornosti, Tradicionalno 29. strokovno posvetovanje Moravske toplice, 14.-16. april 2026).

Onesnaževalo	**Na GWh**	**Razpon**
Prah – TSP	2.880 kg/GWh (2,88 t)	1.440–5.760 kg
Prah – PM10	2.736 kg/GWh (2,74 t)	1.368–5.472 kg
Prah – PM2,5	2.664 kg/GWh (2,66 t)	1.332–5.328 kg
Dioksini in furani (PCDD/F)	2,88 mg I-TEQ/GWh	0,072–18 mg I-TEQ
Cink (Zn)	1.843 g/GWh (1,84 kg)	288–4.680 g
Svinec (Pb)	97,2 g/GWh	1,8–425 g
Krom (Cr)	82,8 g/GWh	3,6–360 g

Kadmij (Cd)	46,8 g/GWh	1,8–313 g
Baker (Cu)	21,6 g/GWh	14–320 g
Nikelj (Ni)	7,2 g/GWh	1,8–58 g
Živo srebro (Hg)	2,0 g/GWh	0,7–3,6 g
Arzen (As)	0,68 g/GWh	0,18–43 g

Tabela št. 8: izpusti individualnih kurišč na les (vir evropski priročnik: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 (posodobitev 2025), poglavje 1.A.4 Small combustion (2023), Evropska agencija za okolje (EEA)).

7. Primerjava emisij WtE Ljubljana z emisijami prometa in individualnih kurišč

Primerjavo količine emisij, ki jih bo v okolje spuščala nova naprava WtE Ljubljana, z emisijami osebnih vozil in individualnih kurišč na lesno biomaso, so narejena za tri najbolj nevarne vrste emisij zapisane v poglavju 3: prašni delci, hlapne težke kovine, dioksini in furani. Pri izračunu so upoštevane količine navedene v poglavju 6.

Vrsta emisije	**WtE Ljubljana**	**Osebna vozila**	**Individualna kurišča na les**
Prah (kg/leto)	797	137.450	336.960
Težke kovine (kg/leto)*	40	3.930	221
Dioksini/furani (mg/leto)	1,6	0	337

*Upoštevane le hlapne težke kovine (Hg, As, Cd, Zn), ki med zgorevanjem izhlapijo.

*Tabela št. 9: na podlagi podatkov v poglavju 6 ocenjene letne količine izpustov treh najnevarnejših onesnažil: prašni delci, težke kovine (*živo srebro, arzen, kadmij in cink*), dioksini in furani za WtE Ljubljana, osebna vozila v Ljubljani (brez avtobusnega in tovornega prometa), individualna kurišča na les (brez kaminov) samo v MOL (brez primestnih občin in Gorenjske).*

Analiza

Tabela 9 pokaže tri jasne vzorce. Pri **prahu** prevladujejo individualna kurišča na les (336.960 kg/leto), sledijo osebna vozila (137.450 kg/leto), sežigalnica pa je obroben vir — z 797 kg/leto prispeva približno **423-krat manj prahu kot lesna kurišča** in 172-krat manj kot osebni promet. Pri **dioksinih in furanih** je slika podobna: lesna kurišča (337 mg/leto) oddajo okoli **210-krat več kot sežigalnica** (1,6 mg/leto), osebna vozila pa teh snovi praktično ne proizvajajo (0), saj dioksini in furani niso produkt zgorevanja rafiniranih pogonskih goriv. Pri **hlapnih težkih kovinah** prevladuje promet (3.930 kg/leto) — pretežno cink iz obrabe pnevmatik, zavor in cestišča — medtem ko sta lesna kurišča (221 kg) in sežigalnica (40 kg) bistveno manjša vira.

Smiselno je poudariti, da pri težkih kovinah upoštevamo le živo srebro, arzen, kadmij in cink, saj te kovine med zgorevanjem izhlapijo in zaidejo v dimne pline, medtem ko krom, nikelj in baker (vrelišča nad 2.500 °C) večinoma ostanejo v pepelu.

Metodološke omejitve (vse v korist previdne ocene, da so emisije WtE zanemarljive v primerjavi s prometom in individualnimi kurišči)

Pomembno je, da so vrednosti namenoma postavljene tako, da **ne podcenjujejo** sežigalnice in **ne precenjujejo** drugih virov:

- **WtE Ljubljana – zgornja meja BAT.** Za sežigalnico so vzete zgornje vrednosti zaključkov BAT. Kot kaže tabela 2, je realno pričakovati, da bodo dejanske emisije WtE Ljubljana **bistveno nižje od zgornje meje BAT** (primerljivi sodobni obrati, npr. Spittelau, obratujejo globoko pod mejnimi vrednostmi). Prikazane številke za WtE so torej najslabši možni scenarij.
- **Promet – brez avtobusov in tovornjakov.** Upoštevana so le osebna vozila; avtobusni in tovorni promet nista vključena, zato je dejanski prometni prispevek še višji.
- **Lesna kurišča – brez zaledja in brez kaminov.** Niso upoštevana kurišča v občinah zunaj MOL, ki ležijo v isti ljubljanski kotlini in vplivajo na isti zrak, prav tako niso upoštevana pomožna kurišča (kamini). Tudi ta postavka je torej podcenjena.

Zakaj so individualna lesna kurišča tako problematična

Za razliko od velikih kurilnih naprav na les (npr. daljinsko ogrevanje na biomaso ali WtE) imajo individualna kurišča dve ključni pomanjkljivosti. Prvič, velika kurišča obratujejo pri **optimalni, visoki in stabilni temperaturi zgorevanja**, kar zagotavlja popolno izgorevanje in minimalne produkte nepopolnega zgorevanja (delci, dioksini, furani); majhne peči pa nihajo, pogosto kurijo pri prenizki temperaturi, z vlažnimi drvi ali celo z odpadki. Drugič, velika kurišča imajo **večstopenjsko čiščenje dimnih plinov**, ki npr. pri prahu prepusti le red velikosti **1 : 30.000** vstopne mase delcev — individualne peči pa nimajo praktično nobenega čiščenja. Posledica je, da posamezno gospodinjsko kurišče na enoto toplote odda nesorazmerno veliko onesnaževal.

Ponazoritev velikostnih razmerij

Da je obseg emisij sežigalnice majhen, je morda najnazorneje takole:

Pri **prahu** WtE Ljubljana odda toliko, kot če bi **24 avtomobilov neprekinjeno 24 ur na dan vozilo po ljubljanski obvoznici s 100 km/h**.

Pri **težkih kovinah** odda toliko, kot bi neprekinjeno po obvoznici s 100 km/h vozilo **43 vozil**.

Pri **prahu** sežigalnica odda toliko kot **18 individualnih lesnih kurišč**, pri **dioksinih in furanih** pa toliko kot **37 individualnih kurišč na les**.

Z drugimi besedami: celotna mestna sežigalnica po teh kazalnikih ustreza nekaj deset gospodinjskim kuriščem na les ali nekaj deset avtomobilom — kar je v primerjavi z več tisoč dejanskimi kurišči in stotisoči vozil zanemarljivo.

8. Zaključek

Iz analize sledi jasna prioriteta za čistejši zrak v ljubljanski kotlini: ukrepati je treba pri **virih, ki dejansko prevladujejo** — individualnih kuriščih na les in osebnem prometu — ne pri sežigalnici, katere prispevek je obroben.