

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**PREDNOSTI IN SLABOSTI TERMIČNE OBDELAVE
ODPADKOV**

TIA UŽMAH

VELENJE, 2025

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**PREDNOSTI IN SLABOSTI TERMIČNE OBDELAVE
ODPADKOV**

TIA UŽMAH

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: izr. prof. dr. Irena Petrinić

VELENJE, 2025

Številka: 726-8/2024-2
Datum: 16. 10. 2024

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Fakultete za varstvo okolja **Tia Užmah** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Prednosti in slabosti termične obdelave odpadkov

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Advantages and disadvantages of thermal waste treatment

Mentorica: **izr. prof. dr. Irena Petrinić**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom FVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat FVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Fakulteta za varstvo okolja
Trg mladosti 7 | 3320 Velenje
t: 03 898 64 10 | e: info@fvo.si
www.fvo.si



Izjava o avtorstvu

Podpisana **Tia Užmah**, z vpisno številko **34210013**, študentka dodiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije,

Sem avtorica diplomskega dela z naslovom **Prednosti in slabosti termične obdelave odpadkov**, ki sem ga izdelala pod mentorstvom **izr. prof. dr. Irene Petrinić**.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- Je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Damjana Seme;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne _____

podpis avtorja/ice

ZAHVALA

Za vso pomoč, vložen čas ter strokovne nasvete, pri nastajanju moje diplomske naloge bi se rada zahvalila odlični mentorici izr. prof. dr. Ireni Petrinić.

Posebna zahvala gre mojemu fantu in družini, ki so mi v času mojega šolanja in pisanja diplomske naloge vedno stali ob strani in me pri tem spodbujali.

IZVLEČEK

V diplomskem delu bo obravnavana termična obdelava komunalnih odpadkov. Podrobneje bo obravnavan termični postopek sežiga, katerega bistvena prednost je izraba koristne energije. Problem sežiga odpadkov pa so emisije škodljivih plinov v zrak, ki se jih zmanjšuje s sodobnimi tehnikami čiščenja. Plini, ki so stranski produkt sežiganja, lahko imajo posledice na zdravje ljudi, saj vsebujejo težke kovine in druge nevarne snovi. Ob dolgoletni izpostavljenosti škodljivim snovem, ki se nalagajo v telesu, lahko pride do različnih obolenj, na primer do bolezni dihal, kot je astma ipd. Pri izdelavi diplomskega dela so bili uporabljeni javno dostopni podatki s področja varstva okolja, ravnanja z odpadki ter obdelave odpadkov.

Ključne besede: Odpadek, lahka frakcija, termična obdelava odpadkov, sežigalnica odpadkov, Zakon o varstvu okolja (ZVO-2).

ABSTRACT

In the thesis, thermal treatment of municipal waste will be explored. Closer look will be given to the thermal incineration process, whose main advantage is the utilization of useful energy. However, a major issue with waste incineration is the emission of harmful substances into the air, which is mitigated through modern cleaning techniques. The gases that are byproducts of incineration can have adverse effects on human health.

For the preparation of this thesis, publicly available data were used in the fields of environmental protection, waste management, and waste treatment.

Keywords: Waste, light fraction, thermal waste treatment, waste incineration plant, Zakon o varstvu okolja (ZVO-2).

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	1
1.1. Opredelitev problema	2
1.2. Cilji.....	3
1.3. Postavitev hipotez	3
1.4. Metodologija	3
2. TERMIČNA OBDELAVA ODPADKOV	3
2.1. Zgodovina in razvoj termične obdelave odpadkov.....	4
2.2. Tehnološki postopki energetske izrabe odpadkov	5
2.2.1. Sežig na rešetki	7
2.2.2. Sistemi z vlekom - lebdeči sloj	8
2.2.3. Fluidiziran sloj.....	9
2.2.4. Rotirajoča peč.....	9
2.3. Prednosti sežiga odpadkov	9
2.3.1. Zmanjševanje količine odlaganja na odlagališčih.....	10
2.3.2. Pridobivanje energije iz odpadkov	10
2.3.3. Zmanjševanje emisij toplogrednih plinov	11
2.4. Slabosti sežiga odpadkov	11
2.4.1. Učinek NO _x na zdravje ljudi in okolje	11
2.4.2. Vpliv kislih plinov in organskih spojin na zdravje ljudi in okolje.....	12
2.4.3. Učinek težkih kovin na zdravje ljudi in okolje	14
2.4.4. Zmanjševanje emisij prahu v sežigalnicah	14
2.4.5. Nastajanje 'dioksinov in furanov'	16
2.4.6. Pepel ni žindra.....	16
3. ODPADKI, KI SO PRIMERNI ZA SEŽIG	17
3.1. Kurilna vrednost odpadka.....	17
4. PREDPISI S PODROČJA VARSTVA OKOLJA	18
5. TOPLARNA CELJE - PRIMER DOBRE PRAKSE	19
5.1. Obratovanje	20
5.2. Tehnološki postopki	20
5.3. Zmanjševanje emisij škodljivih snovi	20
5.4. Pridobivanje električne energije	21

5.5. Analiza emisij	21
5.6. Prednosti in slabosti Toplarne Celje	22
5.6.1. Zmanjševanje količin odpadkov na deponiji	22
5.6.2. Pridobivanje energije iz odpadkov	23
5.6.3. Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov	23
5.6.4. Stranski produkti in njihov vpliv	23
5.6.5. Odvisnost od kakovosti odpadkov	23
6. REZULTATI ANKETE IN DISKUSIJA	24
6.1 Izvedba ankete	24
6.2 Rezultati ankete in komentarji	24
7. SKLEPI	30
7.2. Ustreznost postavljenih hipotez	30
8. POVZETEK	32
9. SUMMARY	33
10. VIRI	34
11. VIRI SLIK	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Hierarhična lestvica ravnanja z odpadki.	2
Slika 2: Prikaz sežigalnice odpadkov v središču mesta na Dunaju	4
Slika 3: Postopki energetske izrabe.	5
Slika 4: Shematični prikaz sežiganja odpadkov v sežigalnici	7
Slika 5: Shematični prikaz sežiga na rešetki.	8
Slika 6: Shematični prikaz sežiga v lebdečem sloju.	9
Slika 7: Shematični prikaz pridobivanja energije v sežigalnici odpadkov.	11
Slika 8: Shematični prikaz mokrega čiščenja dimnih plinov.	13
Slika 9: Shematični prikaz mokrega pralnika dimnih plinov, za izločanje živega srebra (Hg).	14
Slika 10: Shematični prikaz delovanja ciklona.	15
Slika 11: Shematični prikaz delovanja vrečastega filtra.	16
Slika 12: Prikaz Toplarne Celje	19
Slika 13: Prikaz razmerja med spoloma anketirancev.	24
Slika 14: Prikaz razmerja starosti anketirancev.	25
Slika 15: Prikaz ločevanja odpadkov, anketirancev.	25
Slika 16: Prikaz boljšega načina predelave odpadkov za anketirance	26
Slika 17: Prikaz ozaveščenosti o pridobivanju toplote in električne energije s procesom izrabe komunalnih odpadkov.	26
Slika 18: Rezultati ankete - ali bi anketiranci podprli izgradnjo objekta za termično obdelavo odpadkov.	27

Slika 19: Rezultati ankete - ali bi anketiranci podprli izgradnjo objekta za termično obdelavo odpadkov, če bi se jim znižala cena energije v gospodinjstvu.	27
Slika 20: Rezultati ankete - mnenja anketirancev na vprašanje, ali ima lahko termični obrat za obdelavo odpadkov, za posledico negativne vplive na zdravje ljudi in na okolje.	28
Slika 21: Rezultati ankete – mnenja anketirancev, ali so že zasledili morebitna zdravstvena tveganja, povezana s termično obdelavo odpadkov.	28
Slika 22: Rezultati ankete - mnenja anketirancev, ki živijo v občinah z obratom za termično obdelavo odpadkov, ali opažajo neprijetne vonjave ali dim.	29

KAZALO TABEL

Tabela 1 Mejne vrednosti emisij v Toplarni Celje	22
--	----

1. UVOD

Odpadki so neizbežen stranski produkt človeškega bivanja. Kljub ozaveščanju s tovrstno problematiko in vsemi posledicami obremenjevanja okolja, pa je odpadkov vedno več.

Odpadki niso več nekaj, kar bi samo zavrgli, ampak predstavljajo tudi potencialne surovine. Ker vseh odpadkov ni mogoče reciklirati – kot to lahko storimo s plastiko ali steklom, predstavlja termična obdelava komunalnih odpadkov eno ključnih rešitev za zmanjševanje kopičenja odpadkov, v našem okolju. Prednost uporabe tehnologije termične obdelave je ta, da iz odpadkov pridobivamo toploto, ki jo predelujemo v električno energijo ali uporabimo za ogrevanje.

Kljub dejstvu, da prebivalstvo Slovenije ne beleži izrazite rasti, pa se zaradi vse intenzivnejšega tehnološkega razvoja in višje potrošnje na posameznika, količina proizvedenih odpadkov nenehno povečuje. Novi proizvodi, embalažni materiali in kratke življenjske dobe mnogih potrošniških dobrin, generirajo vedno večje količine komunalnih odpadkov, kar zahteva učinkovite, varne in okoljsko sprejemljive pristope k njihovem odstranjevanju. Zaradi preobremenjenosti obstoječih centrov za predelavo odpadkov ter zmanjševanja količin izvoza odpadkov v tujino, se v Sloveniji, poleg že obstoječe sežigalnice odpadkov - Toplarne Celje, načrtujeta še dve novi, in sicer v Ljubljani ter Mariboru. Slovenija proizvaja več mešanih komunalnih odpadkov, kot jih lahko obdela ali izvozi, zato bi dve novi sežigalnici bistveno pripomogli k reševanju problema in omogočili obdelavo nastalih komunalnih odpadkov ter zmanjšali tveganje, povezano s kopičenjem ali neprimernim odlaganjem [1].

Del prebivalstva je glede gradnje dveh novih obratov za termično obdelavo odpadkov v Sloveniji še vedno zadržan, predvsem zaradi skrbi glede vplivov na okolje ter zdravja ljudi.

Sežigalnice odpadkov in naprave za sežig ali sosežig odpadkov lahko vplivajo na okolje, predvsem na kakovost zraka, vode, podtalnice in zemljine. Če so zasnovane v skladu z evropsko zakonodajo, s tehnološko naprednimi sistemi za čiščenje izpustov ter upoštevajo predpise za varstvo okolja, vključno s tehničnimi zahtevami za varno obratovanje, predstavljajo okoljsko sprejemljivo rešitev. Ključno je stalno spremljanje emisij, da se zagotovi skladnost s predpisanimi mejami. Vsaka sežigalnica ali naprava za sežig ter sosežig odpadkov mora imeti okoljevarstveno dovoljenje, v katerem so poleg mejnih vrednosti, določeni tudi ukrepi za zmanjševanje negativnih vplivov na okolje. Da bi obratovanje imelo minimalen vpliv, je nujno dosledno izvajanje določenih ukrepov, prav tako tudi redni inšpekcijski nadzor [2].

Skandinavske države (Švedska, Danska in Norveška) so primer, kjer že desetletja uspešno uporabljajo najsodobnejše tehnologije za sežig, ki omogočajo energetske izrabo odpadkov, hkrati pa dosegajo izjemno nizke emisije škodljivih snovi. V nasprotju s tem pa države na Balkanu in države tretjega sveta, pogosto še vedno uporabljajo zastarele tehnologije brez ustreznega nadzora, kar predstavlja resno tveganje za okolje in zdravje prebivalstva.

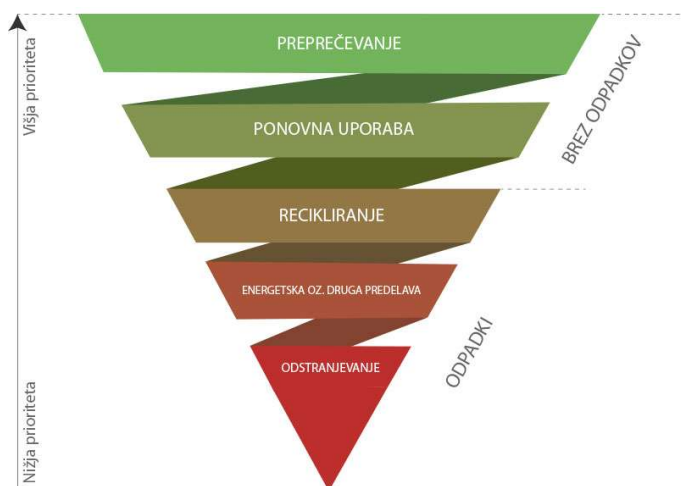
Učinkovito ravnanje z odpadki temelji na jasno opredeljenih prioritetah, ki določajo, kateri postopki so okoljsko in družbeno najbolj sprejemljivi, zato je na Sliki 1 prikazana hierarhična lestvica ravnanja z odpadki, ki predstavlja prednostni vrstni red različnih strategij ravnanja z njimi. Gre za t. i. obrnjeno piramido, kjer so na vrhu najučinkovitejši in okoljsko najbolj zaželeni ukrepi, medtem ko so proti dnu lestvice tisti, ki imajo najmanjši pozitiven vpliv na okolje.

Najvišjo prioriteto predstavlja **preprečevanje nastajanja odpadkov**, kar pomeni zmanjševanje njihove količine že na izvoru. To lahko ponazorimo s primerom iz vsakdanjega življenja, kot je obisk trgovine, kjer pogosto posežemo po novi plastični vrečki, čeprav bi lahko s seboj prinesli že obstoječo, za večkratno uporabo, ki jo imamo doma. S tem bi zmanjšali potrebo po novih materialih in posledično količino odpadkov.

Druga stopnja v hierarhiji je **ponovna uporaba**, ki vključuje ponovno uporabo izdelkov brez večjih predelav. Primer tega je prazen steklen kozarec vloženih kumaric, ki ga po uporabi lahko očistimo in ponovno uporabimo za shranjevanje drugih živil ali predmetov v gospodinjstvu.

Sledi materialno **recikliranje**, kjer se pred pripravljeni odpadki predelajo v nove proizvode. Da bi bil ta proces uspešen, je ključnega pomena pravilno ločevanje odpadkov na izvoru – na primer ločeno zbiranje papirja, plastike, stekla in kovin v ustrezne zabojnike.

Pod materialnim recikliranjem se nahaja **energetska izraba** odpadkov, kamor uvrščamo različne procese, kot so mehansko-biološka obdelava organskih odpadkov, katere produkt je pri aerobni razgradnji kompost, pri anaerobni bioplin ali kompost ter sežig odpadkov, ki zmanjšuje količino nastalih in jih izrabi za električno energijo ter ogrevanje. Najmanj zaželena možnost pa je **odlaganje odpadkov na deponije**, kamor sodijo odpadki, ki jih ni mogoče obdelati z nobenim od do sedaj naštetim načinom. Deponiranje odpadkov zavzame veliko prostora, poleg tega ima še dolgotrajen negativen vpliv na okolje.



Slika 1: Hierarhična lestvica ravnanja z odpadki. [1]

1.1. Opredelitev problema

Naraščajoče količine komunalnih odpadkov vse bolj obremenjujejo odlagališča, kar postaja resen okoljski problem in povečuje potrebo po iskanju bolj trajnostnih načinov ravnanja z odpadki. Da bi zmanjšali pritisk na odlagališča, ki ima prav tako negativen vpliv na okolje, je najbolj primerna tehnologija sodobne termične obdelave odpadkov, ki je zasnovana, ne samo za zmanjševanje količine odpadkov, temveč tudi za pridobivanje električne energije ali toplote.

Sistem sežiganja odpadkov pa je povezan z emisijami strupenih onesnaževal, ki vplivajo na okolje in zdravje človeka. V primarnih študijah so dokazali škodljive zdravstvene posledice prebivalstva v bližini sežigalnic odpadkov, vključno z rakom in reproduktivno disfunkcijo. Kljub velikim tehnološkim napredkom pri izpustih emisij v okolje, gradnja sežigalnic v urbanem

okolju, prebivalcem še vedno predstavlja dvome ter skrb glede vpliva na okolje in zdravje ljudi.
[3]

1.2. Cilji

Cilji diplomskega dela, so:

1. opredeliti, kateri odpadki so primerni za sežig in kako jih izločiti iz celotnega toka odpadkov,
2. opisati termično obdelavo odpadkov in postopek sežiga odpadkov,
3. prikazati prednosti in slabosti delovanja sodobne sežigalnice odpadkov in
4. prikazati primere dobre prakse delovanja sežigalnice v Sloveniji.

1.3. Postavitev hipotez

Pri snovanju diplomskega dela smo si zastavili tri hipoteze:

- H1: Za termično obdelavo so primerni mešani komunalni odpadki.
- H2: Glavni razlog za sežiganje odpadkov je zmanjševanje količine mešanih komunalnih odpadkov ter izraba sproščene toplote.
- H3: Sežigalnica odpadkov ima negativne posledice na zdravje človeka.

1.4. Metodologija

Podatke za teoretični del diplomskega dela smo poiskali v različnih internetnih virih, člankih in učbenikih. Raziskali smo sistem delovanja termične obdelave odpadkov, sežiga mešanih komunalnih odpadkov, pridobivanja toplote iz odpadkov in čiščenje stranskih produktov sežiga ter njihov vpliv na zdravje ljudi. Pri empiričnem delu smo izdelali spletno anketo, z namenom, da bi preverili ozaveščenost izbranih anketirancev o termični obdelavi odpadkov. Anketa je bila kreirana na spletni strani 1ka.si, ter poslana po elektronski pošti, da bi dosegli čim večji starostni razpon anketirancev in čim večje število odgovorov. Sledilo je obdelovanje zbranih podatkov, ki vsebuje tudi potrditev ali ovržbo zastavljenih hipotez.

2. TERMIČNA OBDELAVA ODPADKOV

Termična obdelava odpadkov je pretvorba le teh v stabilne, za okolje nenevarne trdne, tekoče in plinaste produkte, s pomočjo prisotnosti toplote in zraka ali brez. Energija pridobljena iz odpadkov, se uvršča med energije iz obnovljivih virov, razen če so odpadki fosilnega izvora.
[4] Poznamo več postopkov energetske izrabe odpadkov.

Energetska izraba odpadkov poteka v sežigalnicah odpadkov, ki so nepremične ali premične naprave, namenjene toplotni obdelavi odpadkov, ne glede na to ali se s sežiganjem pridobljena toplota izkoristi ali ne. Vsaka sežigalnica ima točno določen način termične obdelave odpadkov in točno določeno vrsto odpadka, ki ga lahko termično obdelata. Je naprava, kjer se odpadki

uporabljajo kot običajno ali dodatno gorivo v procesu pridobivanja energije ali industrijskem procesu. [5]

Slika 2 prikazuje evropsko sežigalnico odpadkov, ki danes še vedno obratuje. Avstrijska sežigalnica Flötzersteig, ki se nahaja na Dunaju, obratuje že od leta 1963. Letno se v njej pridela približno 200.000 ton odpadkov, pridobljena energija, ki nastane pri procesu sežiganja odpadkov, zadošča za daljinsko ogrevanje petinpetdeset tisočih gospodinjstev. [6]



Slika 2: Prikaz sežigalnice odpadkov v središču mesta na Dunaju. [2]

2.1. Zgodovina in razvoj termične obdelave odpadkov

Človeštvo se z odpadki sooča že skozi vso zgodovino, saj se je pojav odlaganja odpadkov začel že ob prehodu iz nomadskega v naselbinsko življenje. V 5. stoletju pr.n.š. so v Grčiji zgradili prvo odlagališče odpadkov in uvedli zakon, ki je prepovedoval odlaganje odpadkov na ulice. [7]

Industrializacija in urbanizacija, ki sta v 19. stoletju povzročili naglo rast mest in povečano potrošnjo, sta v življenje ljudi posledično prinesli tudi večje količine odpadkov. Tradicionalni načini odstranjevanja niso več zadostovali, zato se je pojavila potreba po novih, učinkovitejših metodah obvladovanja nastajajočih količin odpadkov.

Za obvladovanje naraščajočih količin odpadkov in reševanje problema prekomerne nakopičenosti v urbanih središčih, so bile tako postavljene prve sežigalnice.

Prva je bila postavljena leta 1874 v Nottinghamu (Anglija). [7] Zgradilo jih je podjetje Man love, Alliot & Co. Ltd. po načrtu Alberta Fryerja. Takratni izraz za sežigalnice odpadkov je bil »destruktorji« (ang. = destructors). [4]

Tedanje sežigalnice niso vključevale ločevanja odpadkov z namenom odstranitve nevarnih, kosovnih in reciklažnih odpadkov pred postopkom zgorevanja, posledično so bili takšni obrati

zaradi neustreznih stopenj čiščenja plinov ter slabega nadzora nad procesom zgorevanja, nevarni za okolje ter zdravje ljudi. [8] Njihov namen ni bil pridobivanje toplote za električno energijo ali ogrevanje, temveč reševanje problema kopičenja odpadkov in prostorske stiske. Kljub temu pa so takrat nekatere sežigalnice (destruktorji) pridobivale električno energijo iz pridobivane toplote in jo prodajale.[4]

Danes so sežigalnice odpadkov tehnološko zahtevni objekti, katerih delovanje mora biti skladno s strogimi obratovalnimi in okoljevarstvenimi predpisi. Sežigalnice so danes postavljene v mestih ali bolj na obrobju mesta, kjer se lahko učinkovito izkoristi proizvedena toplotna energija, na primer za daljinsko ogrevanje posameznega mesta ali za pridobivanje električne energije.

2.2. Tehnološki postopki energetske izrabe odpadkov

Tehnološki postopki energetske izrabe odpadkov predstavljajo pomemben del celovitega sistema ravnanja z odpadki, saj omogočajo pretvorbo energijsko bogatih frakcij odpadkov v koristne oblike energije, kot so toplota, električna energija ali goriva.

Iz Slike 3 je razvidno, da obstaja več postopkov energetske izrabe odpadkov. Piroliza in uplinjanje sta termična procesa, pri katerih se ob prisotnosti visoke temperature spremenijo fizikalne in kemične lastnosti odpadkov. Razlika med pirolizo in uplinjanjem je ta, da proces piroliznega postopka poteka brez prisotnosti kisika (O_2) in drugih namensko dodanih reaktivnih plinov ali materialov. [9] Zato pri procesu pirolize ne pride do oksidacije kot pri sežigu, temveč organske molekule razpadejo na preprostejše in manjše molekule, torej gre za toplotno razgradnjo ali delno redukcijo. Produkti, ki nastanejo pri pirolizi so plini, olja, katran in koks. Glavni produkt, ki nastane pri uplinjanju je sintezni plin, ter ostanki žlindre in pepela. Sintezni plin je mešanica gorljivih plinov, predvsem vodika (H_2) in ogljikovega monoksida (CO). Poleg tega lahko vsebuje tudi ogljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), dušik (N_2) in vodno paro (H_2O), odvisno od uporabljenega postopka uplinjanja. [4] Uplinjanje navadno poteka pri višjih temperaturah (800-1.200 $^{\circ}C$), piroliza pa nekje od 300-600 $^{\circ}C$. [9]



Slika 3: Postopki energetske izrabe. [3]

Sežig odpadkov je najbolj pogost termični proces, ki poteka v oksidativni atmosferi pri temperaturi približno 1000 $^{\circ}C$, kar pomeni, da so zanj primerni odpadki iz gospodinjstev oziroma mešani komunalni odpadki, pa tudi nekatere izjeme nenevarnih industrijskih odpadkov. Pri njegovi reakciji nastajajo ogljikov dioksid (CO_2), vodna para (H_2O), dušikovi oksidi (NO_x), hlapne organske spojine, obstojna organska onesnaževala (dioksini, furani in PCB), hlapi težkih kovin in pepel. Kot trd odpadke pa nastajata pepel in žlindra. [4]

Sežig komunalnih odpadkov, omogoča bistveno zmanjšanje njihove mase in sicer do 90 %, kar pomeni, da jih ostane le 10 % prvotne teže. Posledično se zmanjša tudi količina odpadkov, ki se odlagajo na deponije in sicer za približno 30 %. Zmanjševanje volumna odpadkov s sežigom prispeva k zmanjševanju obremenitvam odlagališč ter zmanjševanju emisij toplogrednih plinov, ki nastajajo pri razkroju organske snovi na deponijah. Poleg tega sežig predstavlja alternativen vir energije za pridobivanje toplotne in električne energije. [9]

Sežiganje odpadkov poteka v sežigalnicah. Glavni sestavni elementi sežigalnice so zalogovnik odpadkov, transportni sistem odpadkov do kurišča, kurišče, naprave za hlajenje dimnih plinov, naprave za razžvepljevanje, uporaba dodatnih ukrepov in naprav za čiščenje dimnih plinov, uporaba aktivnega oglja ter oljni pralniki. Prav tako tudi dimovodne naprave za odvod očiščenih plinov v okolico in zajem žindre izpod kurišča ter pepela iz odpraševalnih naprav. [2]

Kurišče je osrednji in glavni del sežigalnice odpadkov. Če želimo, da je kurišče ustrezno je potrebno upoštevati več zahtev. Izdelano mora biti iz materialov, ki prenesejo visoke temperature in so odporni na kemične vplive. Omogočati mora učinkovito izgorevanje in enakomerno porazdelitev toplote za popolno zgorevanje odpadkov. Izdelano mora biti tesno, da bi preprečilo uhajanje dimnih plinov in nevarnih snovi v okolje, pomembno je tudi, da je kurišče zasnovano tako, da omogoča redno čiščenje in vzdrževanje. [2] Prilagojeno mora biti tipu odpadka, ter namenu sežiga. Neprimerno kurišče lahko povzroči dodatna nepotrebna onesnaževanja. [9]

Na delovanje kurišča vplivata tudi količina in metoda vpihovanja zraka. Zrak, ki se vpihuje na različnih mestih, zagotavlja oskrbo za gorenje, hlajenje, preprečitev nastajanja žindre v peči in mešanje dimnih plinov. Primarni zrak se s pomočjo puhal dovaja pod rešetko v kurišče, kar omogoča hlajenje elementov rešetke ter dovod kisika v sloj odpadkov. Sekundarni zrak pa se vpihuje z visoko hitrostjo skozi odprtine v zgorevalni komori, da zagotovi popolno zgorevanje. [4]

Slika 4 prikazuje shemo sežiganja komunalnih odpadkov v namenski sežigalnici. Najprej poteka dovoz in iztovarjanje odpadkov na ustreznem priklopnem mestu **(1)**. Po prihodu se odpadki začasno premestijo v skladišče ali zbirališče **(2)**, kjer se lahko po potrebi tudi mešajo in homogenizirajo. Nato jih s pomočjo transportnega sistema, kot so žerjavi ali transportni trakovi **(3)**, premestimo proti zgorevalnemu delu. Na tej poti se lahko uporabljajo tudi merilne naprave **(4)**, ki omogočajo tehtanje odpadkov ali določanje njihove vlažnosti oziroma energijske vrednosti. Za podporo zgorevalnemu procesu se v spodnji del kurišča dovaja primarni zrak **(5)**, medtem ko se dodatni, sekundarni zrak **(6)** vbrizga v zgornji del kurišča za boljšo turbulenco in zmanjšanje nastanka škodljivih plinov. Zgorevanje poteka v zgorevalni komori **(7)**, kjer visoke temperature omogočajo učinkovito razgradnjo organskih snovi. Nastali pepel in žindra se zbirajo ter odstranjujejo skozi grelni del oziroma transportni sistem pepela **(8)**. Po potrebi se proces zgorevanja izboljšuje s pomočjo dodatnih kuriščnih elementov **(9)** in mehaničnih sistemov za premikanje odpadkov **(10)**, ki omogočajo enakomerno zgorevanje. Dimni plini se iz zgorevalne komore odvajajo **(11)** in potujejo skozi sistem, kjer se spremljajo ključni procesni parametri, kot so temperatura, tlak in sestava **(12)**. Nato se preko plinskega zbiralnega kanala **(13)** usmerijo proti čistilnim napravam. Gibanje dimnih plinov **(14)** je nadalje usmerjeno skozi napredne sisteme mokrega ali suhega čiščenja **(15)**, kjer se odstranjujejo plinske nečistoče. V določenih primerih pride tudi do recirkulacije dimnih plinov **(16)**, kar pripomore k boljši energijski izrabi in manjšim emisijam. Očiščeni dimni plini nato potujejo skozi glavni dimni kanal **(17)**, kjer potekajo nadaljnje stopnje čiščenja v filtracijskih sistemih, kot so

vrečasti filtri ali elektrostatični ločevalniki **(18)**. Če je potrebno, se uporablja še katalizator **(19)** za dodatno razgradnjo dušikovih oksidov (**NO_x**) in zmanjšanje dioksinov. Trdni ostanki filtracije **(20)** se ločeno zbirajo, skupaj z ostalo žlindro in pepelom **(21)** iz zgorevalnega procesa. Za zagotovitev ustreznega pretoka dimnih plinov skozi celoten sistem je vgrajen ventilator **(22)**, ki ustvarja podtlak. Očiščeni dimni plini se nato preko dimnika **(23)** izpuščajo v ozračje, kjer se neprestano spremljajo emisije **(24)** z naprednimi analiznimi napravami, skladno z okoljskimi predpisi. V okviru sistema so vključeni tudi ločeni postopki za odstranjevanje težkih kovin **(25)**, kot so živo srebro in kadmij, ter zbiranje trdnih delcev **(26)**. Na koncu se pretočni sistemi **(27)** uporabljajo za odvod vseh trdnih preostankov do ustreznih skladišč ali nadaljnje obdelave, vključno s sistemi za dodatno čiščenje in recirkulacijo plinov **(28)**, s čimer se še dodatno zmanjša vpliv na okolje.



Slika 4: Shematični prikaz sežiganja odpadkov v sežigalnici. [4]

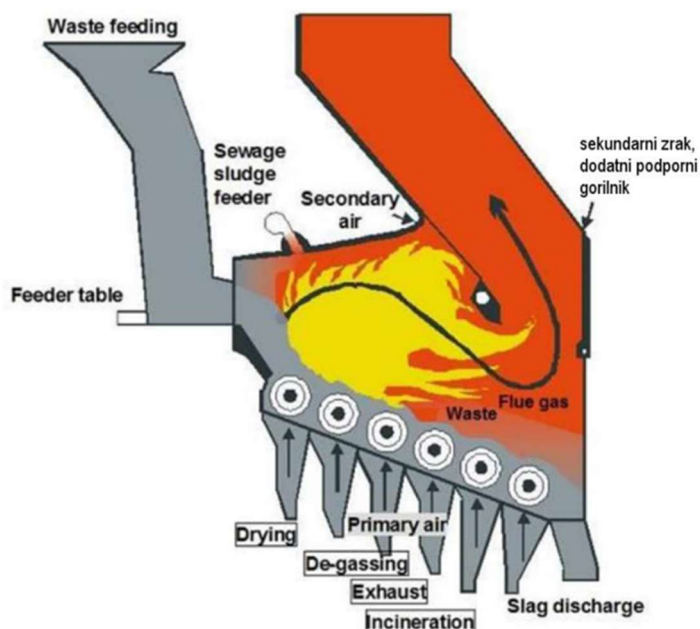
Tako kot obstaja več različnih postopkov energetske izrabe, poznamo tudi več različnih načinov sežiga odpadkov. Najbolj pogost je sistem rešetk. Poznamo pa tudi sistem z vlekrom v lebdečem sloju, fluidiziran sloj ter sežig odpadkov v rotirajoči peči. V spodnjih poglavjih bom podala opis teh primerov.

2.2.1. Sežig na rešetki

Na Sliki 5 lahko vidimo shematski prikaz sežiga na rešetki (*angl.* Waste Incineration on a Moving Grate). Gre za najpogostejšo tehnologijo sežiganja, ki je primerna za trde komunalne in industrijske nenevarne odpadke. Glavna funkcija rešetke je, da prenaša odpadke s točke polnjenja skozi področje gorenja, do mesta za odstranjevanje ostankov, torej pepela in žlindre [9].

Odpadki gredo tako čez različne faze obdelave. V zgornjem delu se gorivo suši, med tem potekata piroliza in uplinjanje, v srednjem poteka izgorevanje plinov, v spodnjem pa dogorevaje (ogljikovi ostanki) in ohlajevanje ostanka [2]. Tehnologija sistema zgorevanja na rešetki zlahka

doseže glavne cilje termičnega procesa, torej pretvarjanje odpadkov v inertne, zmanjševanje prostornine oziroma volumna ter pretvorba energije v uporabno obliko primarne moči – toploto. [9]

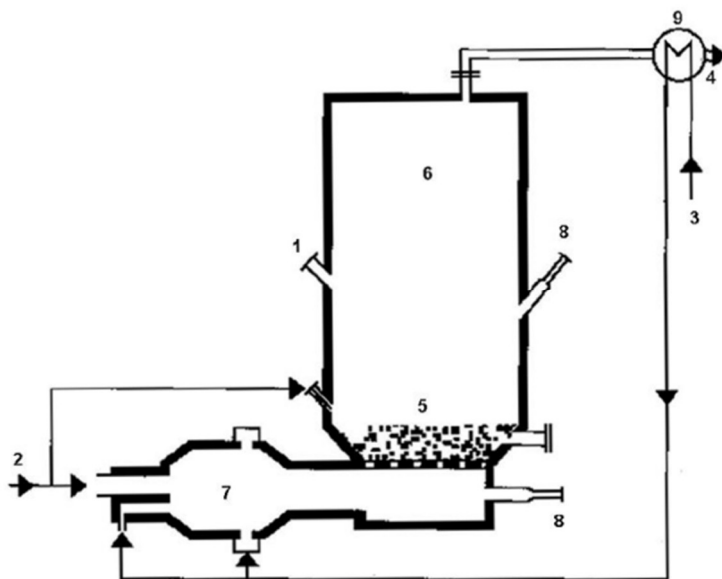


Slika 5: Shematični prikaz sežiga na rešetki. [5]

2.2.2. Sistemi z vlekom - lebdeči sloj

S sistemom lebdečega sloja (*angl.* Fluidized bed waste-to-energy system) se trdni delci gibljejo zaradi vlečnih sil. Lahko so staljen sloj, lebdeči sloj ali naložen sloj. Na Sliki 6 je shematsko prikazan sežig odpadkov v lebdečem sloju, kjer so trdni delci odpadkov suspendirani v dvigajočem toku plinov. Vsak delec je obdan s plinom. Takšen sistem je primeren za sežig, pirolizo in uplinjanje, le da je razlika, da je pri sežigu prisoten kisik (O_2) in reakcija poteka pri odprtem plamenu. Pri ostalih dveh pa postopek poteka brez prisotnosti kisika (O_2). Zgorevalni zrak se vpihuje preko večjih šob. Drobni trdni delci tako zgorevajo pri enaki temperaturi. Še boljši učinek izgorevanja pa se doseže, če je lebdeči sloj zvrtničen. V takšnem postopku je potrebno izločiti steklo in kovine, saj v lebdečem sloju iz njih nastaja žindra in je moteča. Zgorevanje v lebdečem sloju doseže popolno izgorevanje, količine nastalih plinov pa so v primerjavi z drugimi toplotnimi postopki zelo majhne, nizke pa so tudi koncentracije onesnaževalcev. [9]

Sistem lebdečega sloja je torej primeren za sežiganje finih delcev plastike, papirja in tekstila oziroma le za drobno mlete in homogene frakcije.



Slika 6: Shematični prikaz sežiga v lebdečem sloju. [6]

2.2.3. Fluidiziran sloj

Fluidizirani sloj (*angl.* Fluidized Bed Waste Incineration) je prav tako eden od principov sežiga odpadkov. Na dnu sežigalne komore je pri tem postopku nameščena preforirana plošča, na kateri leži inerten medij in sicer pesek. Segret zrak se skozi razdelilnik zraka z vso hitrostjo vpihuje, da se pesek fluidizira in služi kot nosilec toplote ter povzroči gibanje odpadkov in mešanje odpadkov z zrakom. Najpomembnejše prednosti opisanega postopka so njegova preprostost, visoka energetska učinkovitost ter nastanek majhnih količin dušikovih oksidov (NO_x), zato so za sežig odpadkov v fluidiziranem sloju najbolj primerni kmetijski in biološko razgradljivi odpadki ter plini. Posledica konstantnega kroženja peska, povzroča obrabo sežigalne naprave, poleg tega pa je za sežig s takšnim postopkom potrebna večja mehanska obdelava odpadkov. [4]

2.2.4. Rotirajoča peč

Rotirajoča peč (*angl.* Rotary Kiln Incineration of Waste) je eden od procesov sežiga, ki je običajno sestavljena iz dveh delov, to sta peč ter sekundarna izgorevalna komora. Odpadki se tako skozi peč premikajo zaradi naklona in rotacije peči. Peč je lahko delno ali v celoti rotirajoča. Nastali dimni plini se odvajajo v sekundarno izgorevalno komoro. Prednost tovrstnega principa sežiga je ta, da ni potrebe po predhodnem sortiranju ali mehanski obdelavi odpadkov ter da se lahko v peči sežiga veliko odpadkov, ki se razlikujejo tako po lastnostih, kot tudi po kaloričnih vrednostih. Ta princip sežiga je danes manj razširjen, zato je investicija takšnega postopka precej draga. [4]

2.3. Prednosti sežiga odpadkov

Sežig odpadkov predstavlja učinkovito rešitev za zmanjševanje količine odpadkov ter prispeva k pridobivanju električne in toplotne energije, zato ga lahko pogojno uvrstimo tudi med obnovljive vire. Poleg zmanjševanja količine nastalih odpadkov ter pridobivanja energije, lahko kot prednost odpadkov štejemo tudi zmanjševanje nastajanja toplogrednih plinov. Ob odlaganju odpadkov na deponije nastajajo plini, kot je na primer metan (CH₄).

2.3.1. Zmanjševanje količine odlaganja na odlagališčih

Poznamo odlagališča za inertne odpadke ter odlagališča za nevarne in nenevarne odpadke. Razlika v konstrukciji odlagališča je v tem, da ima tisto za nevarne in nenevarne vmes nameščen še zaščitni sloj ter tesnilno folijo. Prav tako pa odlagališča odpadkov, poleg tega, da zavzemajo veliko prostora, sproščajo tudi škodljive emisije v zrak. Iz odlagališča se po drenažnih ceveh odvaja izcedna voda, ki nastane zaradi padavinske vode in je zelo onesnažena, saj se z njo izpirajo tudi nevarne snovi iz odpadkov. Potrebno jo je očistiti na posebnih čistilnih napravah. Nasprotno lahko pride do onesnaženja podzemnega vodonosnika. [9]

Odlagališča odpadkov morajo imeti zaradi nastajanja plina urejeno tudi odplinjevanje, prav tako morajo izvajati meritve glede vsebnosti metana (CH_4), ogljikovega dioksida (CO_2), kisika (O_2), vodikovega sulfida (H_2S) in vodika (H_2). Največ nastaja metana (CH_4) in ogljikovega dioksida (CO_2). Zaradi nastajanja plina, lahko na odlagališčih prihaja do eksplozij in požarov, zato morajo imeti objekte za zaščito proti vžigu in eksploziji. [9]

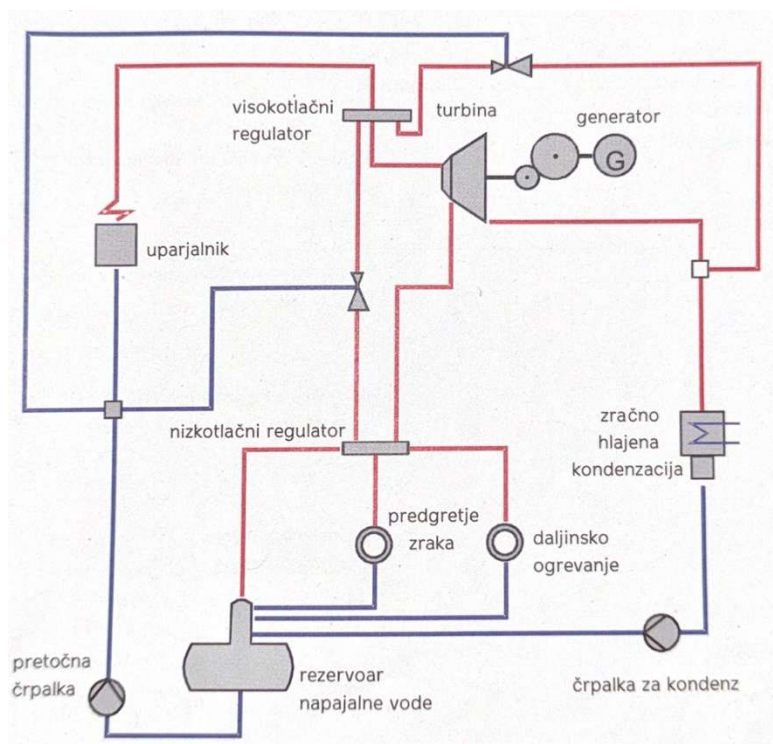
2.3.2. Pridobivanje energije iz odpadkov

Energija, pridobljena iz odpadkov, se uvršča med energijo iz obnovljivih virov, če odpadki niso fosilnega izvora. Proizvedeni ogljikov dioksid (CO_2) zato ne prištevamo k obremenjujočemu ozračju, kot je to pri primarnih energentih (premog, zemeljski plin in nafta) iz neobnovljivih virov.

Pri večini postopkov za pridobivanje energije gre za kombinacijo sežiga in parnega kotla, kjer nastajajo dimni plini, iz katerih se za proizvodnjo električne energije izrablja njihovo toploto. Najbolj znan je sežig na rešetki. Parni kotel je lahko nameščen direktno na rešetko ali pa je ločen kot samostojna enota celotnega sistema toplotne obdelave odpadkov. Glavni nameni procesa so torej zmanjšanje prostornine odpadkov, inertizacija ter pridobitev energije. [9]

Visokotlačna para, ki se sprošča v parnem kotlu, se lahko uporabi direktno, če je na voljo industrijski obrat, ki v svoji proizvodnji uporablja visoko tlačno paro, na primer določene elektrarne. Prav tako se lahko uporabi za proizvodnjo električne energije s turbinskim generatorjem, ali pa z vmesnim odjemom določene količine nizkotlačne pare, ki se uporabi za potrebe ogrevanja. [9]

V običajnem objektu toplotne obdelave odpadkov, ki je prikazan na Sliki 7, se v kotlu proizvedena vodna para vodi do protitlačne kondenzacijske turbine za proizvodnjo električne energije. S proizvedeno električno energijo se oskrbujejo vse potrebe objekta, viški pa gredo v zunanje električno omrežje. Koristno energijo je torej možno maksimalno usmeriti v proizvodnjo električne energije in v proizvodnjo nizkotlačne pare za ogrevanje (kogeneracija). [9]



Slika 7: Shematični prikaz pridobivanja energije v sežigalnici odpadkov. [7]

2.3.3. Zmanjševanje emisij toplogrednih plinov

Naprave za termično obdelavo odpadkov so naprave za obdelavo komunalnih in njim podobnih odpadkov, ki se ne dajo ponovno uporabiti ali reciklirati na tehnično ali ekonomsko sprejemljiv način, imajo pa še vedno dovolj veliko kurilno vrednost, da se lahko uporabijo za pridobivanje energije (para, električna energija ali vroča voda). Tako pridobljena energija iz tovrstnih odpadkov prispeva k varstvu podnebja, saj deloma nadomešča fosilna goriva, ki bi bila uporabljena za proizvodnjo te energije v elektrarnah.

2.4. Slabosti sežiga odpadkov

Slabost sežigalnice je, da kot pri vseh tehnologijah, nastajajo stranski produkti kot so pepel in žlindra ter dimni plini, ki vsebujejo škodljive snovi kot so pepel oz. trdni delci, težke kovine in njihove spojine (npr. PbO_2 , HgO , CdS , As_2O_5 , Cr_2O_3 , CuSO_4 , ZnO), dušikovi oksidi (NO_x), žveplov oksidi (SO_2), fluoridi (npr. NaF), kloridi (npr. HCl), sledi lahko hlapljivih organskih spojin (npr. CH_4 , C_2H_6 , C_6H_6), ter poliklorirani dibenzo dioksini ($\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_4\text{O}_2$) in -furani (npr. $\text{C}_{12}\text{H}_{8-x}\text{Cl}_x\text{O}$, kjer je $x = 0$ do 4). [10]

Vse omenjene spojine je potrebno zaradi izpusta v ozračje iz plina izločiti, zaradi varovanja okolja in zdravja ljudi oz. nezaželenih učinkov na zdravje.

2.4.1. Učinek NO_x na zdravje ljudi in okolje

Dušikovi oksidi (NO_x) so spojine, katere sestavljata atom kisika (O_2) in dušika (N_2). V ozračju je največ dušikovega monoksida (NO) in dušikovega dioksida (NO_2). Dušikovi oksidi (NO_x) sodijo med predhodnike ozona in posredno vplivajo na podnebne spremembe. Dušikov dioksid (NO_2) je prav tako eden izmed najbolj strupenih dušikovih oksidov, lahko draži pljuča in

poslabša simptome pri ljudeh z astmo. [2] Akutna nevarnost za človeka lahko nastopi le, če pride do vdihavanja izredno velikih koncentracij, kar pa je v praksi bolj malo verjetno.

Zaradi morebitnega škodljivega učinka, na okolje in zdravje ljudi, je potrebno dušikove diokside (NO_x) v dimnih plinih čistiti oz. zmanjševati njihovo količino.

Napravo, ki se uporablja za tovrsten proces, sestavljata dva sistema, ki delujeta istočasno. Prvi je sistem recirkuliranja. Dimni plini, ki izstopijo iz vrečastih filtrov, kjer se predhodno očistijo prahu, se naprej po dimovodnih kanalih vodijo do zgorevalne komore, kjer se skozi šobe za vpih dovajajo v vroče cone zgorevanja. S tem procesom dosežejo nižje temperature izgorevanja in tudi nižje emisije dušikovih oksidov (NO_x). [11]

Drug sistem za zmanjševanje dušikovih oksidov (NO_x) je selektivna nekatalitska redukcija (SNCR), pri kateri se v razpršeni obliki vnaša vodna raztopina amonijaka (NH_3 (aq)) v tok dimnih plinov, običajno na izstopu iz parnega kotla. [9]

2.4.2. Vpliv kislih plinov in organskih spojin na zdravje ljudi in okolje

V dimnih plinih so kisle plinske komponente, kot so klorovodikova kislina (HCl), fluorovodikova kislina (HF), žveplove oksidi (SO_x) in dušikovi oksidi (NO_x).

Emisije žveplovega dioksida (SO_2) škodujejo zdravju ljudi, saj povzročajo draženje in bolezni dihal ter poslabšujejo obstoječe kardiovaskularne bolezni. V okolju pa povzročajo zakisanje tal, jezer, potokov, rek ter škodo na drevesnem listju in kmetijskih pridelkih. [12]

Da bi preprečili negativne posledice na okolje, se za odstranjevanje plinskih komponent uporablja več postopkov.

Prvi je suhi postopek oziroma adsorbcija. V ohlajene dimne pline po izstopu iz kotla se v ustreznih količinah dozira mešanica natrijevega bikarbonata (NaHCO_3) in aktivnega oglja v prahu. Razpršen reagent reagira v toku dimnih plinov ter na tanki plasti odloženega reagenta na površini vrečastega filtra. [9]

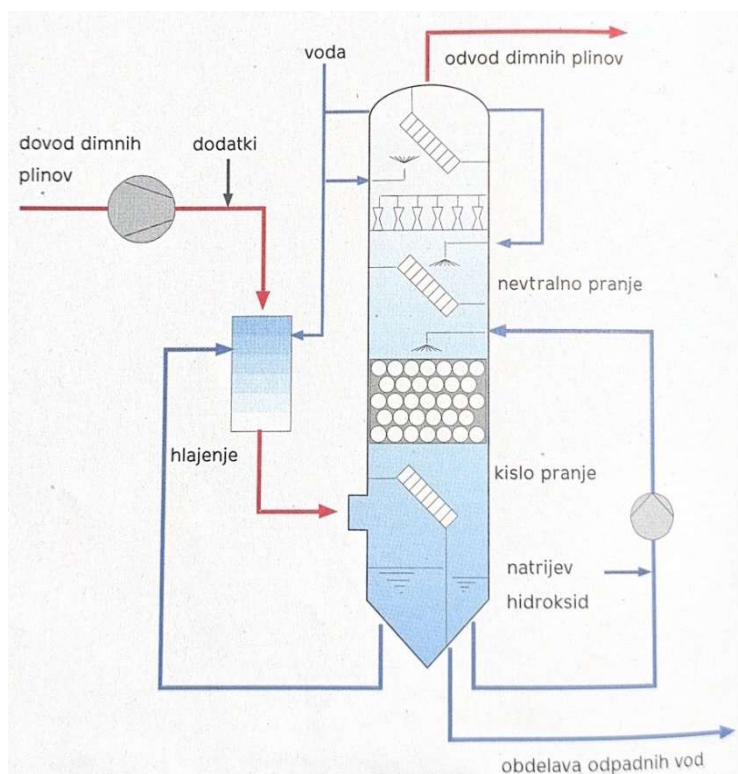
Drugi je polsuhi postopek oziroma absorbcija. Razlika med absorbcijo in adsorbcijo je v pripravi reaktanta, saj se v polsuhem postopku uporablja 15% vodna suspenzija kalcijevega hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ (aq/s)). Pri postopku polsuhe absorbcije se uporablja podobna oprema kot pri suhem postopku, le da je dopolnjena z napravami za pripravo suhe suspenzije kalcijevega hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ (s)). [9]

Ostanki suhih in polsuhih postopkov čiščenja so sadra ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mešanica kalcijevih (Ca^{2+}) in natrijevih (Na^+) soli, kloridov (NaCl , CaCl_2), sulfatov (Na_2SO_4 , CaSO_4), sulfidov (Na_2S , CaS) in fluoridov. Trdni delci absorbenta se po končanem postopku ločijo od dimnih plinov, s pomočjo naprave za odstranjevanje prahu. [9]

Tretji postopek pa je mokro pranje dimnih plinov, ki je prikazan na Sliki 8. Pri mokrem pranju se dimni plini v procesu sežiga pri prehodu skozi visoko temperaturo najprej ohladijo. Pri tem se odstrani del hlapov in par kot so živo srebro (Hg), solna kislina (HCl), fluorovodikova kislina (HF). Pri tem postopku sodeluje naprava za izločevanje kapljic pralne tekočine, ki kapljice loči od dimnih plinov.

Po hlajenju vstopijo v kislno pranje, kjer se iz plinov odstranijo kisle komponente, kot so solna kislina (HCl), fluorovodikova kislina (HF) in žveplov dioksid (SO_2). V tej fazi se uporablja natrijev hidroksid (NaOH), ki s svojim bazičnim značajem nevtralizira kisle pline. Sledi še nevtraln

pranje, kjer se dodatno odstranijo ostanki kislih komponent in druge škodljive snovi, preden se prečiščeni dimni plini izpustijo skozi odvod v ozračje. V procesu mokrega pranja nastane tudi pralna voda, ki vsebuje raztopljene soli, kovine in suspendirane delce. Ta voda se vodi v sistem za obdelavo odpadnih vod, kjer se jo nevtralizira in očisti, med drugim tudi odstrani živo srebro (Hg) z uporabo kondenzacije in posebnih reagentov. [10].



Slika 8: Shematični prikaz mokrega čiščenja dimnih plinov. [7]

Organske spojine (npr. C_6H_6) so v določenih pogojih hlapne, kar pomeni, da se lahko učinkovito razširjajo v okolju. Zaradi lipofilnosti se kopičijo v maščobnem tkivu in tako nalagajo v človeška telesa skozi prehranjevano verigo. Povzročajo lahko resnejše bolezni, kot so razvoje motnje, kronična obolenja ipd. [13]

Benzen (C_6H_6) je ena izmed hlapnih organskih spojin in spada med najpomembnejše nevarne snovi v zraku. Sprošča se pri nepopolnem sežiganju odpadkov, na primer plastike. Koncentracije benzena prispevajo k tveganju za nastanek rakavih bolezni, predvsem levkemije. [2]

Če je v procesu popolno izgorjevanje, vse organske snovi zgorijo. Če organske snovi ostajajo, je to znak, da je v procesu nepopolno gorenje. Organske snovi se večinoma pojavljajo le v manjših količinah in sicer kot: polihalogenirani aromatski ogljikovodiki (npr. C_6H_5Cl , $C_6H_4Cl_2$), policiklični aromatski ogljikovodiki (npr. $C_{18}H_{12}$, $C_{18}H_{14}$), benzen (C_6H_6), toluen ($C_6H_5CH_3$) in ksilen ($C_6H_4(CH_3)_2$). Ter tudi poliklorirani dibenzo dioksini (npr. $C_{12}H_4Cl_4O_2$) in dibenzo furani (npr. $C_{12}H_4Cl_4O$), ki jih z adsorpcijo ter mokrim pranjem ni mogoče odstraniti. Odstranijo se lahko z uporabo specifičnih adsorpcijskih postopkov in adsorbentov, kot je na primer aktivno oglje ali z oksidacijskimi katalizatorji. [9]

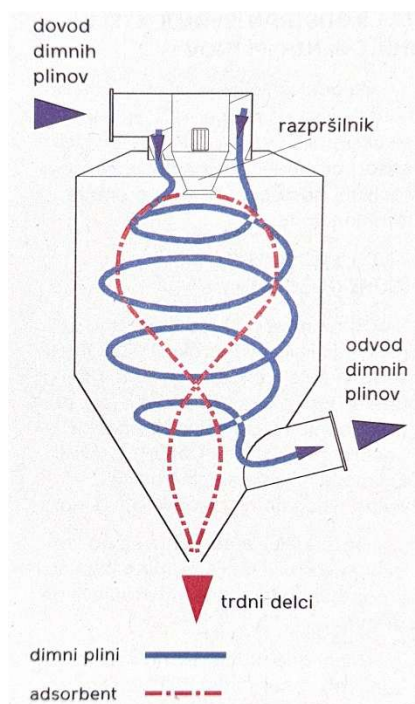
2.4.3. Učinek težkih kovin na zdravje ljudi in okolje

Težke kovine se pri sežiganju odpadkov pojavljajo v hlapih in v trdni obliki v pepelu, žlindri ali v dimnih plinih. Na trdih PM delcih in ultrafinih delcih v izpušnih ter v elektrofiltrskem pepelu, lahko najdemo številne težke kovine kot so svinec (Pb), arzen (As) in kadmij (Cd). V plinasti obliki pa najdemo toksične hlapne elemente kot sta živo srebro (Hg) in talij (Tl). [2]

Živo srebro (Hg) spada med najbolj toksične težke kovine. Dolgotrajna oziroma kronična izpostavljenost živemu srebru (Hg) povečuje tveganje za razvoj bolezni v vseh obdobjih življenja, od zarodka do odraslega človeka. Živo srebro (Hg) je toksično za živčevje, srce in ožilje, povzroča pa tudi epigenetske spremembe in deluje kot hormonski motilec. [2]

Težke kovine so pogostejše najdene v odpadnem pepelu in žlindri kot pa v dimnih plinih. Večinoma se pretvorijo v nehlapne okside in se izločajo z letečim pepelom. Zato je postopek odstranitve težkih kovin vključen v obdelavo pepela in prahu. Izjema pa je živo srebro (Hg). Živo srebro (Hg) je po navadi prisotno le v manjših količinah, zato dodatni postopki za odstranjevanje niso potrebni, je pa problematičen zaradi nizke temperature taljenja in razpadanja. Ko se živo srebro (Hg) pojavi v ionski obliki, ga je enostavno izločiti z mokrim pralnikom, kadar temu ni tako, se ga lahko z dodajanjem oksidantov pretvori v ionsko obliko. Odstrani se ga lahko tudi z aktivnim ogljem ter odpadno vodo iz mokrega pralnika. [9]

Slika 9 prikazuje mokro pranje dimnih plinov, kadar se živo srebro (Hg) pojavi v ionski obliki. Dimni plini se dodajajo v mokri pralnik, v katerega se s pomočjo razpršilnika dovajajo oksidanti. Trdni delci se tako izločijo posebej na spodnji strani pralnika, dimni plini pa se odvedejo ob strani.



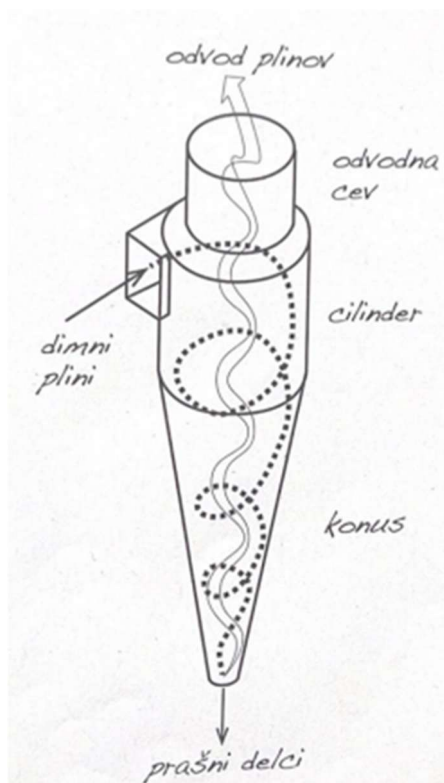
Slika 9: Shematični prikaz mokrega pralnika dimnih plinov, za izločanje živega srebra (Hg). [7]

2.4.4. Zmanjševanje emisij prahu v sežigalnicah

Emisije prahu se lahko preprečujejo oziroma zmanjšujejo z različnimi filtri, enega od njih in najbolj pogostega imenujemo ciklon, poznamo še elektrostatične filtre ter vrečaste filtre. Izbor

ustreznega filtra, je odvisen od količine trdih delcev, velikosti delcev, količine dimnih plinov, zrnavosti delcev in temperature dimnih plinov. Na izbor vpliva tudi kompatibilnost opreme za čiščenje z drugimi napravami v sistemu ter zahtevane stopnje čiščenja. [9, 10, 11]

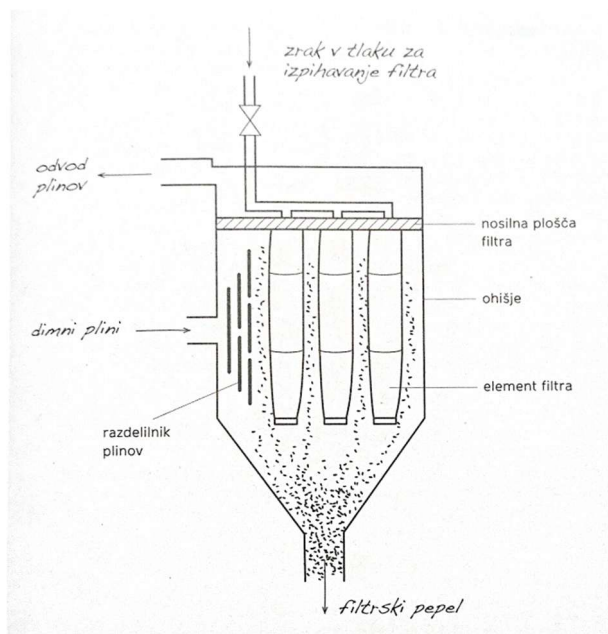
Na Sliki 10 lahko vidimo ciklon, ki deluje kot usedalnik prašnih delcev in je stožčaste oblike. Dimne pline v ciklon dovajajo skozi zgornji širši del. Deluje centrifugalno, zaradi česar se prašni delci nabirajo na plašču ciklona in se sesedajo navzdol. [9] Prečiščen zrak iz ciklona se tako odvaja v zgornji tretjini.



Slika 10: Shematični prikaz delovanja ciklona. [7]

Elektrostatični filtri omogočajo izločanje trdnih delcev ne glede na njihovo velikost. Poznamo mokre in kondenzacijske elektrostatične filtre. [9] Razlika je v tem, da mokri delujejo na podlagi elektrostatike. Nakopičen prah pa se iz sten filtra, stalno ali periodično, izpira z vodo. Kondenzacijske pa se uporablja za izločanje zelo drobnih, trdnih, tekočih ali lepljivih delcev. Delci se v tem postopku izločajo pod vplivom elektrostatičnega polja med elektrodo, ki je v osi cevi, ter kondenzacijskim plaščem, ki je na steni cevi. Kondenzacijski sloj, ki je konstanten, je pomemben, saj sproti izloča prah in pepel, ki se nabirata na notranji strani cevi. [10]

Vrečasti filtri za prah so pogosto uporabljeni, saj imajo velik učinek filtriranja [10]. Na Sliki 11 je prikazano, kako se prah v vrečastem filtru zadrži, ko skozi njega preidejo dimni plini. Očiščeni dimni plini nato potujejo skozi nadaljnjo obdelavo, filtrirna površina pa se očisti z izpihovanjem s komprimiranim zrakom. Tako ločen prah pade v zbirni konus in se skupaj z letečim pepelom, ki nastaja v parnem kotlu, transportira v namenski silos za skladiščenje ostankov. Žlindra, ki prav tako nastaja v kotlu, se odvaja ločeno.



Slika 11: Shematični prikaz delovanja vrečastega filtra. [7]

V procesu čiščenja dimnih plinov prav tako nastajajo ostanki, to so ogorki, žindra, odpadni prah iz vrečastega filtra ter procesno aktivno oglje. Ogorke in žindro iz kurišča odvedejo s transporterji. Pod rešetkami, kjer se nabirata, so nameščeni polži za pepel, ki pada skozi rešetke. Na koncu kurišča mora biti tudi vodno hlajen polžni transporter za hlajenje ogorkov in vroče žindre. Najprej se odpadka ohladi v namenjenem zaprtem sistemu, nato pa jih transportirajo na primerno odlagališče. Po čiščenju dimnih plinov nastajajo tudi trdni odpadki, ki so izločeni v vrečastem filtru. Trdne odpadke in leteči pepel se s transporterji odvaja v za to namenjen silos. Kot sem že omenila, nastaja tudi aktivno oglje, pri katerem se pred transportom ugotovi, ali je v kakršnem koli primeru morda presežen kateri od kriterijev za nevaren odpadke. Če je presežen, se aktivno oglje začasno skladišči do izdelave ocene nevarnega odpadka in se šele nato preda prevzemniku, ki ima dovoljenja za prevoz tovrstnih odpadkov. [10]

2.4.5. Nastajanje 'dioksinov in furanov'

V finem elektrofiltrskem pepelu se kopičijo tudi nevarni poliklorirani dibenzo dioksini ($C_{12}H_xO_2Cl_y$) in furani ($C_{12}H_xOCl_y$). Nastajanje dioksinov in furanov pri sežiganju odpadkov je odvisno od prisotnosti klora (Cl) v odpadkih ter od temperature sežiga. Dolgotrajnejša izpostavljenost dioksinom in furanom je povezana z motnjami imunskega, endokrinega in reproduktivnega sistema, boleznimi srčno žilnega sistema, kronično obstruktivno pljučno boleznijo in sladkorno boleznijo. Povzročajo spremembe genetskega materiala, zato so najbolj zaskrbljujoči njihovi potencialni kancerogeni in teratogeni učinki. Dioksini spadajo med kancerogene snovi 1. skupine, po klasifikaciji Mednarodne agencije za raziskave raka. [2]

2.4.6. Pepel ni žindra

Ne glede na to, da gre za proces sežiga odpadkov, ob končanem postopku nastajajo odpadki oz. preostanki, katere je potrebno na ustreznem odlagališču odlagati in jih predhodno očistiti. V tovrstni tehnologiji nastajata odpaden pepel in žindra. Oba se nekaj tednov stabilizirata v odprtem skladišču in se ju z za to namenjenim transportom odpelje v ustreznega odlagališča. Žindra in pepel, ki sta si precej podobna, se razlikujeta v tem, da moramo iz pepela izločiti vse

težke kovine in okolju nevarne snovi, žlindro pa lahko uporabljamo v gradbeništvu, ampak jo je prav tako potrebno predhodno obdelati, razen, če gre direktno na odlagališče. [9]

Žlindro sestavljajo sintrani in delno staljeni produkti izgorevanja ter soli. Ker v sežigalnici odpadki niso homogeni, je žlindra sestavljena iz 54 do 80 % same žindre, 8 do 30 % je stekla, 2 do 8 % je keramike, železa in drugih kovin ter 4 do 12 % je drugega negorljivega materiala. Ko se žlindra iz rešetke izloči, je izpostavljena vlaženju s procesno vodo. Pri temperaturi 30 °C vsebuje približno 14 do 17 % vode. Žlindro se tako navlaženo transportira na odlagališča in je ni potrebno posebej obdelovati. Iz nje je smiselno izločiti debelejšje frakcije od 50 mm, ki bi jih ponovno zdrobili in bi se po drobljenju vrnili v proces sežiga. Smiselno je tudi izločiti odpadno železo, saj bi se s tem zmanjšalo količino za 5 do 10 %. [9]

Žlindro se lahko uporablja tudi v gradbeni industriji, kar pa je odvisno od njenih fizikalnih, kemijskih in okoljskih značilnosti. Sestavljajo jo različne snovi, kot so kalcijeve (Ca), aluminijeve (Al), magnezijeve (Mg), in mešani silikati, oksidi, karbonati (kvarc (SiO_2), gelenit ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), kalcijev glinenec (CaAl_2O_4), kalcid (CaCO_3) in druge mineralne snovi. Prav tako kovine, kot so aluminij (Al), železo (Fe), baker (Cu) in zlitine ter različni oksidi, hidroksidi, sulfati in druge soli. Sestavljena je iz amorfne in kristalne snovi v razmerju 40:60, ki nastanejo ob izstopu iz zgorevalne komore. [9]

3. ODPADKI, KI SO PRIMERNI ZA SEŽIG

V Sloveniji je, zaradi Direktive 2008/98/ES o odpadkih, predpisano ločeno zbiranje komunalnih odpadkov. Zbrani mešani komunalni odpadki se na osnovi zakonskih zahtev transportirajo v regionalne centre za ravnanje z odpadki, kjer sta izvedeni mehanska in biološka obdelava. V mehanski obdelavi odpadke ločimo na lahko in težko frakcijo. Lahka frakcija predstavlja približno 30 % mase vhodnih količin mešanih komunalnih odpadkov, to je torej energijsko bogata frakcija z visoko kurilno vrednostjo, primerna za termično obdelavo odpadkov ter sestavljena iz plastike, papirja, tekstila in lesa. Vsak material je posebej dobro gorljiv, vendar pa je gorljivost mešanice naštetih odvisna od vsebnosti vlage ter mineralnih nečistoč. [14]

3.1. Kurilna vrednost odpadka

Kurilna vrednost je sproščena energija v obliki toplote pri popolnem zgorevanju goriva z oksidantom pri standardnih pogojih. Podajamo jo lahko v različnih oblikah, pri odpadkih pa je podana v energiji/maso goriva oz. MJ/kg. [15]

Povprečen mešani komunalni odpadki ima kurilno vrednost med 8 in 11 MJ/kg. [16] Pomembna je zaradi vzdrževanja samostojne reakcije gorenja brez pomožnih gorilnikov. Kurilna vrednost zmesi odpadkov, ki so primerni za sežig, je odvisna od vlage in nečistoč, zaradi tega jo lahko biogeni organski odpadki, zaradi vsebnosti večjih količin vlage, znižujejo. [17]

Čeprav so ti odpadki v tako imenovani lahki frakciji uvrščeni med nenevarne, se pri gorenju plastike lahko sproščajo nevarne snovi, kot so dioksini, furani, poliklorirani bifenili, živo srebro ter halogena elementa kot sta fluor in klor. Tudi odpadna olja, ki imajo visoko kurilno vrednost, spadajo med nenevarne odpadke, vendar morajo biti brez nevarnih snovi, kot so poliklorirani bifenili (PCB) in terfenili (PCT). [2]

4. PREDPISI S PODROČJA VARSTVA OKOLJA

Zakon o varstvu okolja (ZVO-2, Uradni list RS, št. 44/22, 18/23 – ZDU-10, 78/23 – ZUNPEOVE in 23/24) je krovni predpis na področju varstva okolja v Sloveniji. Vključuje direktive Evropske unije, kot je Direktiva 2010/75/EU o industrijskih emisijah, in predstavlja pravno podlago za izdajo okoljevarstvenih dovoljenj [18]. Podrobnosti o izdaji teh dovoljenj so urejene z Uredbo o spremembi in dopolnitvi Uredbe o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega (Uradni list RS, št. 68/2012).

Upravljalca sežigalnice odpadkov mora imeti za delovanje tovrstnega objekta okoljevarstveno dovoljenje, skladno z Zakonom o varstvu okolja (ZVO-2), Uradni list RS, št. 44/22, 18/23 in Uredbo o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig odpadkov (Ur. l. RS, št. 8/16, 116/21). Okoljevarstveno dovoljenje izda Ministrstvo za okolje in prostor, na podlagi dokumentacije in priložene vloge za izdajo dovoljenja s strani upravljalca ali njegovega pooblaščenca.

Uredba o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig odpadkov, v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. novembra 2010 o industrijskih emisijah, (UL L št. 334 z dne 17. 12. 2010, str. 17) določa:

- pogoje ter splošne podatke o vlogi za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja,
- mejne vrednosti emisije snovi v zrak in ukrepe za nadzor emisije snovi v zrak, odstopanja mejnih vrednosti ter preprečevanje nenamernih izpustov,
- mejne vrednosti emisije snovi pri odvajanju odpadne vode in ukrepe za nadzor emisije snovi pri odvajanju odpadne vode iz naprav za čiščenje odpadnih plinov,
- pravila ravnanja z odpadki in ostanki, prevzem odpadkov, oceno nevarnih odpadkov, preverjanje odpadkov, zavrnitev odpadkov,
- pogoje obratovanja, ki med drugim vključujejo obratovalni dnevnik, poročanje in prekrške in
- zahteve za obratovalni monitoring emisije snovi v zrak in emisije snovi v pri odvajanju odpadne vode. [19]

Za sežigalnice odpadkov in naprave za sosežig odpadkov so mejne vrednosti in ukrepi za zmanjševanje emisij določeni v Uredbi o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig odpadkov (Uradni list RS, št. 8/16, 116/21 in 44/22 – ZVO-2). Emisije snovi v zrak, ki niso posebej navedene v tej uredbi, ureja Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (Uradni list RS, št. 31/07, 70/08, 61/09, 50/13, 44/22 – ZVO-2 in 48/22). Dodatne zahteve za obratovalni monitoring emisij v zrak so določene v Pravilniku o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 105/08 in 44/22 – ZVO-2).

Za ravnanje z odpadki se uporablja Uredba o odpadkih (Uradni list RS, št. [77/22](#) in [113/23](#)). Odlaganje trdnih preostankov sežiga je urejeno z Uredbo o odlagališčih odpadkov (UL RS št. 10/14 s spremembami), ki zahteva predhodno obdelavo pepela in žlindre, ter usklajeno z zahtevami Direktive 1999/31/ES, ki določa kriterije za sprejemljivost takšnih odpadkov na odlagališčih. Poleg tega je pri obratovanju sežigalnic odpadkov potrebno upoštevati tudi druge predpise, ki urejajo emisije v zrak, vode, tla in hrup.

5. TOPLARNA CELJE - PRIMER DOBRE PRAKSE

Toplarna Celje, ki je prikazana na Sliki 12, je prva sežigalnica odpadkov v Sloveniji. Nahaja se v Celjski kotlini, natančneje na severovzhodnem robu mesta Celja, v neposredni bližini reke Hudinje [11]. Toplarna se nahaja v industrijski coni, kjer je namenska raba prostora namenjena proizvodnji dejavnosti. [20]

Je sestavni del projekta celovitega urejanja ravnanja z odpadki, ki ima pod okriljem 24 občin Savinjske regije - Regionalnega centra za ravnanje z odpadki Celje. [20]

Leta 2008, nekaj mesecev kasneje po odprtju RCERO Celje, je začela delovati tudi Toplarna Celje, ki je bila v glavnem financirana iz sklada kohezijskih sredstev, od 13 do 18,6 mio EUR. Današnji upravitelj Toplarne je Energetika Celje, javno podjetje, d.o.o.. [21]



Slika 12: Prikaz Toplarne Celje. [8]

Toplarna spada v projekt mehansko - biološke in termične obdelave komunalnih odpadkov, kjer predviden tehnološki postopek omogoča energijsko izrabo lahke frakcije preostanka komunalnih odpadkov po ločenem zbiranju, torej proizvodnjo toplotne in električne energije. S tovrstnim tehnološkim postopkom se zmanjša količina odloženih odpadkov na deponiji v Bukovžlaku. [21]

Toplarna v skladu z okoljevarstvenim dovoljenjem termično obdeluje nenevarne odpadke in sicer z številkami odpadkov:

- 19 12 10 (Gorljivi odpadki (iz odpadkov pridobljeno gorivo)),
- 19 12 11 (preostanek mehansko-biološko obdelanih odpadkov, po ločenem zbiranju – lahka frakcija),
- 19 12 12 (Drugi odpadki (tudi mešanice materialov) iz mehanske obdelave odpadkov, ki niso navedeni pod 19 12 11),
- 19 08 05 (Mulji iz čistilnih naprav komunalnih odpadnih voda),
- 19 01 99 (Drugi tovrstni odpadki) in
- 19 01 (Opadki iz sežiga ali pirolize, razen procesno aktivno oglje). [22]

Zgoraj navedeni odpadki, ki so razvrščeni po klasifikacijskem seznamu odpadkov, so mešanica lahke frakcije, torej, papirja, kartona, plastike, folije, tekstila in lesa.

Polega termične obdelave odpadkov, RCERO obsega tudi druge objekte za ravnanje z odpadki. Zajema zbirni center, zaprto kompostarno za biogene/zelene odpadke, sortirnico

ločeno zbranih frakcij, stiskalnice odpadkov, demontažo in vmesno skladišče kosovnih ter nevarnih odpadkov. Prav tako tudi odlagališče predhodno obdelanih odpadkov. [21]

V toplarni se izvaja dejavnost sežiga komunalnih odpadkov z zmogljivostjo 5 ton na uro oziroma 40.000 ton na leto, po novi odločbi o spremembi okoljevarstvenega dovoljenja, št. 35432-7/2023-22570-24, ki jo je dne 29. 2. 2024, za upravitelja Energetika Celje, javno podjetje, d.o.o., izdalo Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. [22]

5.1. Obratovanje

Toplarno Celje sestavljajo:

- Sežigalna naprava (parna kotlovnica, 15 MW nazivne toplotne moči),
- plinska kotlovnica z dvema vročevodnima kotloma (skupna nazivna toplotna moč 26,5 MW) ter
- naprava za pridobivanje električne energije s parno turbino s sinhronskim generatorjem električne energije (2,086 MW nazivne električne moči). [11]

5.2. Tehnološki postopki

V Toplarni Celje se izvaja modularni sežig na rešetki, ki je bil izbran kot najprimernejša tehnika sežiga na podlagi primerjave okoljskih, tehnoloških in ekonomskih kriterijev in ob upoštevanju najboljših razpoložljivih tehnik (BAT). [10, 11]

Izgorevanje poteka v dveh stopnjah, v primarni in sekundarni komori. [10]

V primarni poteka proces zgorevanja s primanjkljajem zraka, zato prevladujejo pirolizni ter uplinjevalni procesi. Pri tem se razvijejo velike količine dimnih plinov, ki potujejo v sekundarno komoro, kjer popolnoma zgorijo ob dovajanju ustreznih količin sekundarnega in po potrebi terciarnega zraka. [11] Temperatura sekundarne komore se giblje od vsaj 850°C do 1200°C. Minimalni zadrževalni čas plinov v sekundarni komori je 2 sekundi. [10]

5.3. Zmanjševanje emisij škodljivih snovi

V Toplarni Celje je za namene zmanjševanja emisij snovi v zrak nameščena naprava, ki je opremljena z avtomatsko vodenim kompleksnim sistemom čiščenja odpadnih plinov. [10]

Čiščenje dimnih plinov iz sežigalnice poteka z naslednjimi postopki:

- polsuha adsorbcija z apnenim mlekom, namenjena izločanju kislih plinov,
- vrečasti filter za izločanje prašnih delcev in
- koks adsorber za izločanje organskih snovi in morebitnih prisotnih težkih kovin (dimni plini, ki izstopijo iz vrečastega filtra, se najprej ohladijo na primerno temperaturo in vstopijo v koks adsorber. Nečistoče v dimnih plinih prihajajo v stik s polnilom, na katerega se adsorbirajo in kemijsko vežejo. Pri tem se izločijo preostali dioksini in furani, dodatno pa se znižujejo emisije kislih plinov in težkih kovin). [10, 11]

Za zmanjševanje emisij dušikovih oksidov (NO_x) je uporabljen postopek nekatalitične redukcije dušikovih oksidov (postopek SNCR), dimne pline se zajema in vrača v kurišče sežigalnice, raztopino amonijaka pa razpršuje v vroče dimne pline. [11]

5.4. Pridobivanje električne energije

Naprava za sežig je povezana z drugima napravama. S plinsko kotlarno ter napravo za pridobivanje električne energije. [10]

Proizvodnja električne in toplotne energije je izvedena z energetskega sistemom, ki ga sestavljajo parni kotel s pregrevnikom, parna turbina, generator in napajalna črpalna. Poteka v naslednjih stopnjah:

- Napajalna voda se v parnem kotlu upari in se v pregrevniku pregreje na zahtevano temperaturo, nato se para vodi skozi parno turbino, ki poganja električni generator.
- Para iz parne turbine se kondenzira v kondenzatorju, od koder je vodena v sistem termične priprave vode in napajalne črpalke ponovno v kotel.
- Del pare se uporabi za proizvodnjo toplotne energije preko toplotnega prenosnika. Proizvedena para se koristi za proizvodnjo električne energije (parna turbina) in daljinsko ogrevanje mesta Celje. [10, 11]

5.5. Analiza emisij

Toplarna Celje je objekt, za katerega evropska in slovenska zakonodaja predvidevata, da lahko povzroči onesnaževanje večjega obsega in spada med IED (*angl.* Industrial Emissions Directive) naprave. Zato je v skladu z evropsko Direktivo (2010/75/EU) in Uredbo o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega (Ur.l. RS št. 57/15), zahtevan celovit pristop k preprečevanju in nadzorovanju nad onesnaževanjem okolja. [23]

Za merjenje emisij v zrak je na napravi za termično obdelavo odpadkov vgrajen emisijski monitoring z merilniki, ki kontinuirano merijo emisije snovi iz dimnih plinov v zrak. Parametri, za katere emisijski monitoring zagotavlja trajno merjenje in nadzor so ogljikov monoksid (CO), dušikov oksid (NO), dušikov dioksid (NO₂), kisik (O₂), žveplov oksidi (SO₂), vodikov klorid (HCl), vodikov fluorid (HF), skupni organski ogljik (TOC), živo srebro (Hg), vlaga v dimnih plinih, skupni prah, temperatura dimnih plinov, absolutni tlak dimnih plinov, pretok suhih dimnih plinov. [23]

Vse pridobljene meritve so povezane na centralno nadzorni sistem, ki se redno spremlja in nadzira.

V spodnji preglednici je prikazana dosežena mejna emisijska vrednost posamezne snovi. Mejne vrednosti so povzete po Odločbi o spremembi okoljevarstvenega dovoljenja št. 35407-8/2005-19, 35402-65/2005-8 z dne 12.1.2006, številka odločbe 35407-28/2011-20 z dne 30.10.2013 in Sklepa o popravilu odločbe, št. 35407-28/2011-22 z dne 20.11.2013 ter Odločbi o spremembi Okoljevarstvenega dovoljenja št. 35406-46/2015-5 z dne 30.11.2015. [23]

Dnevna izmerjena povprečna vrednost, je prikazana z upoštevanjem merilne negotovosti po 13. členu Pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur. l. RS 105/2008). [23]

V tabeli 1 so prikazani rezultati izmerjeni dne 15. 7. 2025 od 00.00 do 00. 30 ure.

Tabela 1 Mejne vrednosti emisij v Toplarni Celje [23, 10]

SNOV V ZGOREVALNE M PLINU (mg/m³)	DNEVNA IZMERJENA POVPREČNA VRENOT (mg/m³) (15.07.2025, od 00.00 – 00.30 ure)	MEJNA VREDNOST (mg/m³)	POSTOPEK ZA ZMANJŠEVANJE EMISIJ
CO	3,2	35,0	Optimizacija zgorevanja, recirkulacija dimnih plinov za znižanje temperature zgorevanja.
TOC	0,9	7,0	Koks adsorber z aktivnim ogljem.
NO_x	111,1	150,0	Recirkulacija dimnih plinov v zgorevalni komori, selektivna nekatalitska redukcija (SNCR).
SKUPNI PRAH	0,5	5,0	Vrečasti filter za zajem prahu, samodejno izpihovanje s komprimiranim zrakom.
SO₂	1,2	35,0	Suh postopek čiščenja z doziranjem natrijevega bikarbonata (NaHCO ₃), reakcija v dimih plinih in na vrečastem filtru.
HCl	0,5	7,0	Suh postopek čiščenja z natrijevim bikarbonatom (NaHCO ₃) v prahu, nevtralizacija v toku dimih plinov in na vrečastem filtru.
HF	0,0	1,0	Suh postopek čiščenja z natrijevim bikarbonatom (NaHCO ₃), na vrečastem filtru.

Rezultati emisij onesnaževal v dimih plinih, izmerjeni 15. julija 2025 (od 00.00 do 00.30), kažejo, da obrat v Celju deluje znotraj vseh zakonsko določenih mejnih vrednostih. Rezultati kažejo, da so vse izmerjene vrednosti nižje od zakonsko dovoljenih, kar potrjuje učinkovito delovanje naprav za čiščenje dimih plinov. Prikazani rezultati meritev, tako kažejo na tehnološko ustreznost sežigalnice odpadkov.

5.6. Prednosti in slabosti Toplarne Celje

Sežigalnica odpadkov v Celju, je prva in trenutno edina naprava v Sloveniji za termično obdelavo komunalnih odpadkov z izkoriščanjem energije. Omogoča več pomembnih okoljskih energetskih koristi, hkrati pa prinaša določene okoljske ter tehnološke izzive.

5.6.1. Zmanjševanje količin odpadkov na deponiji

Toplarna Celje s termično obdelavo zmanjša maso odpadkov za približno 65 %, kar pripomore k manjši obremenitvi deponije Bukovžlak. S tem se omogoči povečanje razpoložljivega prostora za odlaganje odpadkov na deponiji, hkrati pa zmanjša negativne vplive odlaganja odpadkov na okolje. [10]

5.6.2. Pridobivanje energije iz odpadkov

S pomočjo kogeneracije toplotne se iz odpadkov pridobivata toplotna in električna energija. Toplarna Celje ima termično moč 18 MW, pri čemer je toplotna moč 15 MW in moč proizvedene električne energije 2 MW. Električna energija se distribuira v električno omrežje, med tem ko se toplotna energija uporablja za daljinsko ogrevanje mesta Celje. [10]

5.6.3. Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov

S pridobljeno energijo prispevamo k varstvu podnebja, saj pridobljena energija nadomešča fosilna goriva, ki bi bila uporabljena za proizvodnjo takšne energije v konvencionalnih elektrarnah. Mešane komunalne odpadke lahko torej štejemo kot obnovljiv vir energije in predstavljajo možnosti za zmanjševanje emisij CO₂ ter varčevanje z omejenimi viri fosilnih goriv. [10]

5.6.4. Stranski produkti in njihov vpliv

Kljub tehnološki naprednosti ima termični proces pomembne okoljske vplive. Stranski produkti, ki nastajajo so dimni plini, pepel, filter pepel in odpadne vode. Dimni plini lahko vsebujejo dušikove okside (NO_x), težke kovine, dioksine, furane ter druge škodljive snovi. Čeprav je toplotna opremljena z večstopenjskim sistemom čiščenja in stalnim nadzorom emisij, se lahko pojavi tveganje za vpliv na okolje ob morebitnih prekoračitvah ali motnjah. [10]

5.6.5. Odvisnost od kakovosti odpadkov

Neustrezno ločevanje odpadkov in prisotnost neprimernih snovi lahko povzroči tehnične motnje in povečanje emisij, zato je kakovost vhodnih odpadkov ključnega pomena za nemoteno delovanje sežigalnice odpadkov. [10]

6. REZULTATI ANKETE IN DISKUSIJA

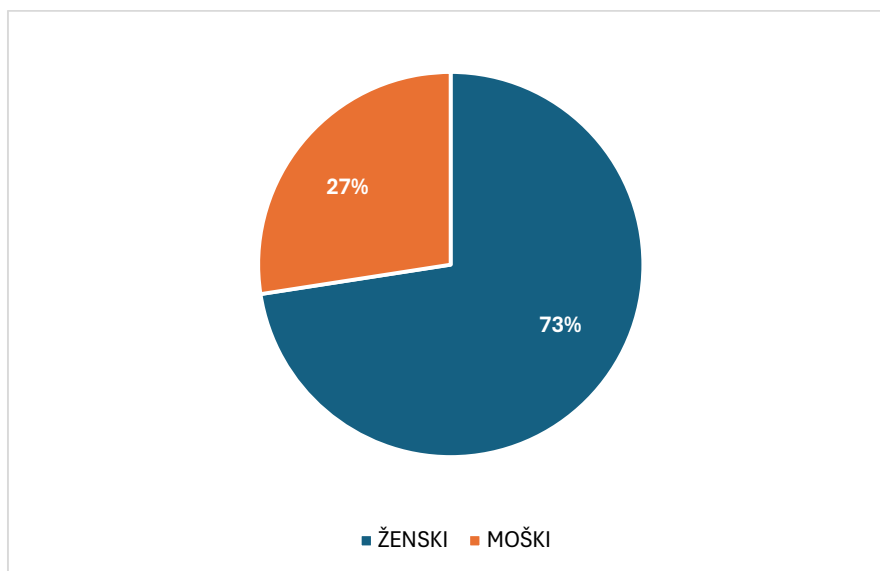
6.1 Izvedba ankete

Anketa je bila zastavljena tako, da smo preverjali ozaveščenost anketirancev glede termične obdelave odpadkov. Zanimalo nas je tudi, ali podpirajo termično obdelavo odpadkov ali so bolj naklonjeni drugim metodam ravnanja z odpadki. Nadalje smo jih spraševali, ali vidijo termično obdelavo odpadkov kot koristen način za pridobivanje energije ali bi hipotetično sprejeli gradnjo obrata za termično obdelavo odpadkov v njihovem kraju.

Anketa je bila ustvarjena na spletnem portalu 1ka in je vsebovala 11 anonimnih vprašanj ter je sestavni del priloge 1. Aktivna je bila od 16. novembra 2024 do 31. januarja 2025. V anketi so sodelovali moji sorodniki, prijatelji ter sodelavci. Na anketo je odgovorilo 51 anketirancev.

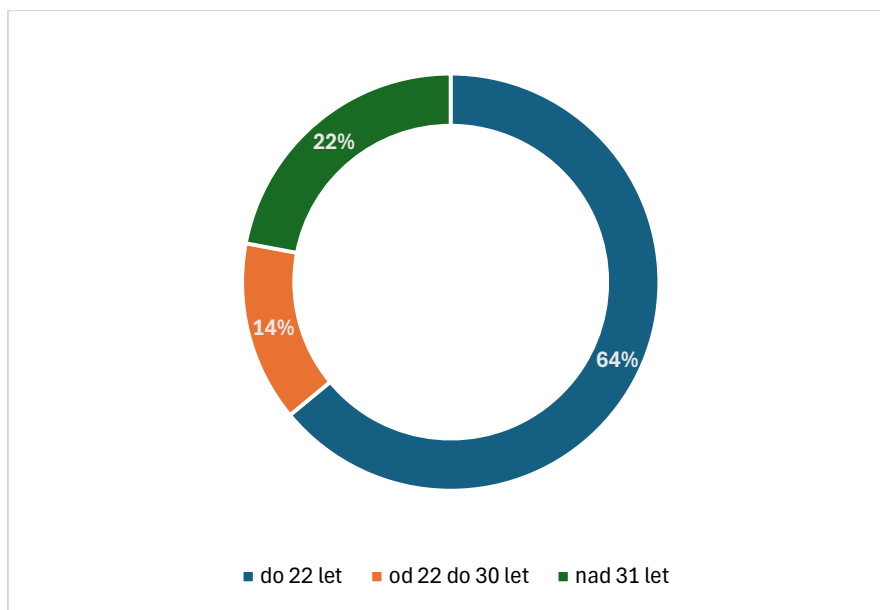
6.2 Rezultati ankete in komentarji

V prvem vprašanju (Slika 13) smo anketirance povprašali po spolu. Iz spodnjega grafa lahko razberemo, da je v anketi sodelovalo več žensk kot moških. Ženskih anketirank je bilo 37 moških pa 14, torej skupno 51.



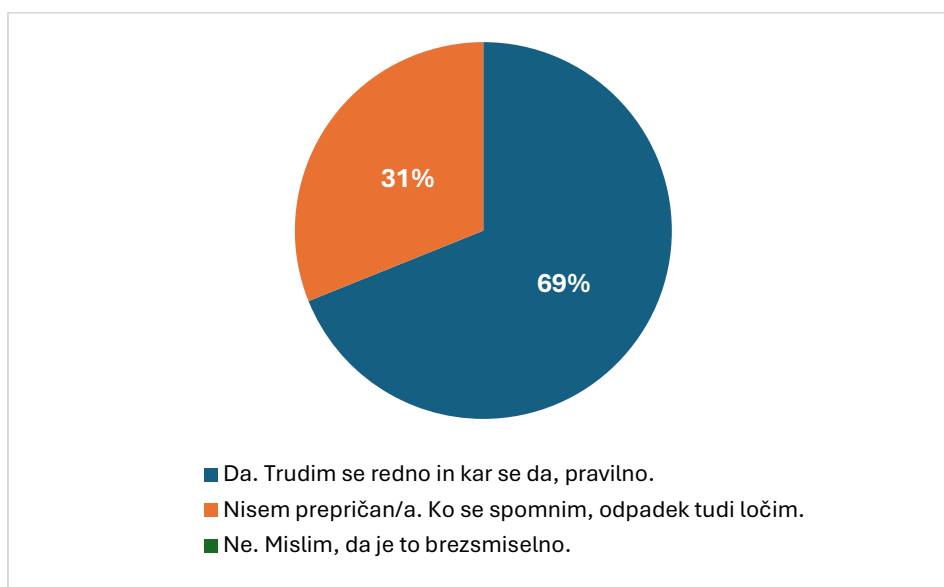
Slika 13: Prikaz razmerja med spoloma anketirancev.

V drugem vprašanju (Slika 14) smo anketirance povprašali po starosti. Iz Slike 14 je razvidno, da je večina anketirancev mlajših od 22 let, kar pomeni, da so rezultati ankete v 64 % nagnjeni k mnenjem te starostne skupine. 14 % anketirancev je starih med 22 in 30 let. 22 % pa je starih nad 31 let.



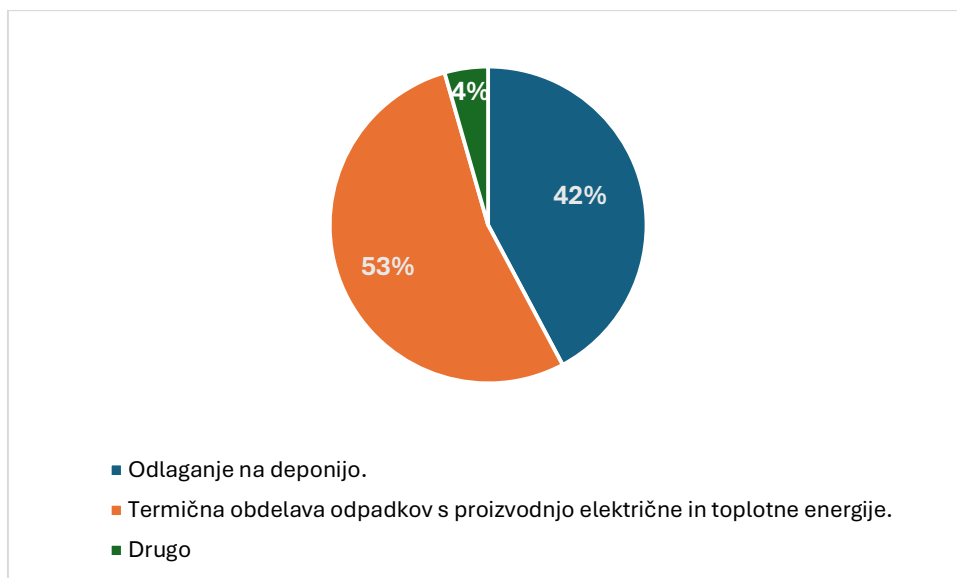
Slika 14: Prikaz razmerja starosti anketirancev.

Tretje zastavljeno vprašanje je bilo: »Ali redno ločujete odpadke?«. Iz Slike 15 je razvidno, da je večina, v 69 % odgovorila, da se trudijo, da odpadke ločujejo, kar se da pravilno. 31 % jih je odgovorilo, da niso prepričani in da to storijo, če se spomnijo. Nihče v anketi ni odgovoril, da odpadkov ne ločuje. Rezultate tretjega vprašanja smatramo kot pozitivne, saj prevladujejo odgovori, ki so za okolje najbolj sprejemljivi.



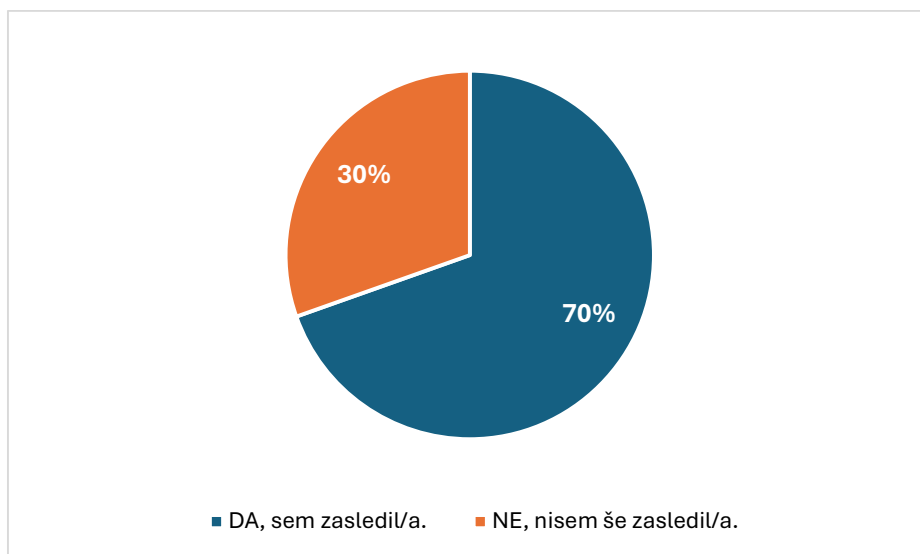
Slika 15: Prikaz ločevanja odpadkov, anketirancev.

Četrto postavljeno vprašanje je bilo: »Kateri način predelave odpadkov, ki po reciklaži in ponovni uporabi ostanejo, je po vašem mnenju za okolje najbolj sprejemljiv?«. Odgovori so se porazdelili na skoraj enake deleže. Iz Slike 16 je razvidno, da je večina, v 53 % odgovorila, da je najboljši način termična obdelava s proizvodnjo električne in toplotne energije, v 42 % pa so se opredelili za odlaganje na deponijo. Anketirancem smo v četrtem vprašanju ponudili tudi možnost drugega odgovora. Dva anketiranca sta se odločila za lasten odgovor in sicer, odgovorila sta z: »Da jih ponovno obdelajo, specifično plastiko« ter »kombinacija«.



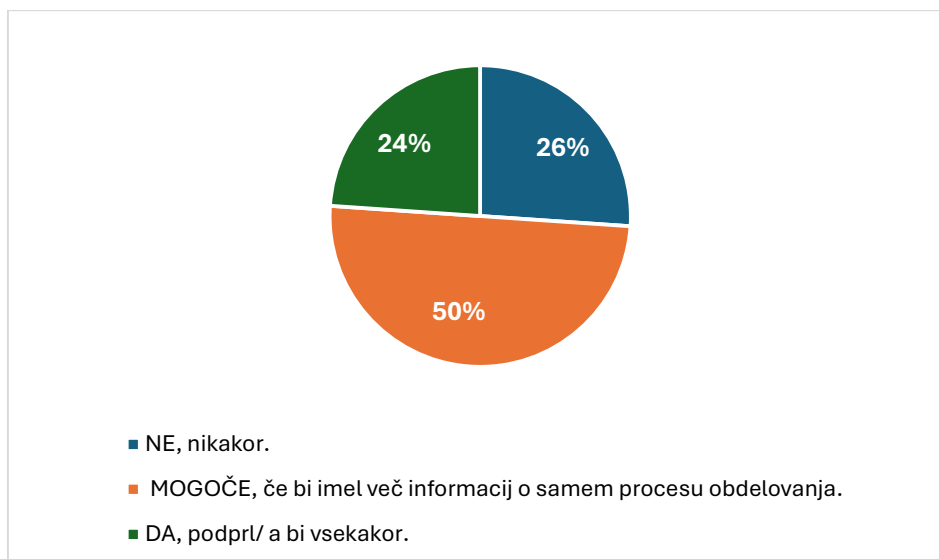
Slika 16: Prikaz boljšega načina predelave odpadkov za anketirance.

Peto postavljeno vprašanje je bilo: »Ali ste že slišali za proces pridobivanja toplotne in električne energije s procesom izrabe komunalnih odpadkov?«. Iz Slike 17 je razvidno, da je večina anketirancev, v 73 % za ta proces že slišala, 30 % pa tega procesa še ni zasledilo.



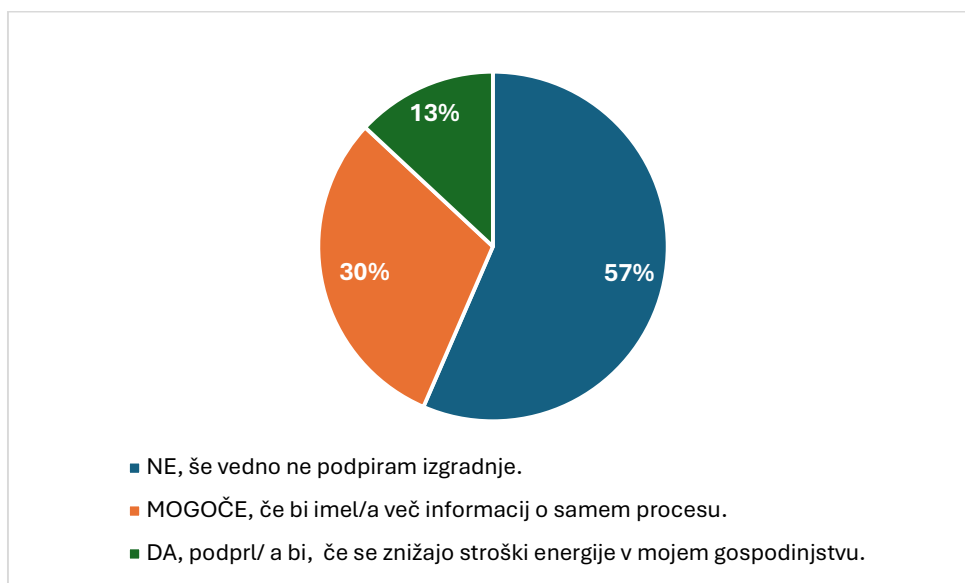
Slika 17: Prikaz ozaveščenosti o pridobivanju toplote in električne energije s procesom izrabe komunalnih odpadkov.

Šesto postavljeno anketno vprašanje, da bi preverili, koliko anketirancev bi sprejelo gradnjo objekta za termično obdelavo v mestu vsakega posameznika, je bilo: »Ali bi v vašem mestu podprli izgradnjo objekta za termično obdelavo odpadkov?«. Anketiranci so, kot je razvidno iz Slike 18, v 50 % odgovorili, da bi gradnjo mogoče podprli, v kolikor bi imeli o posameznem posegu več informacij. 26 % anketirancev, gradnje nikakor ne bi podprla. Preostalih 24 % bi gradnjo podprli.



Slika 18: Rezultati ankete - ali bi anketiranci podprli izgradnjo objekta za termično obdelavo odpadkov.

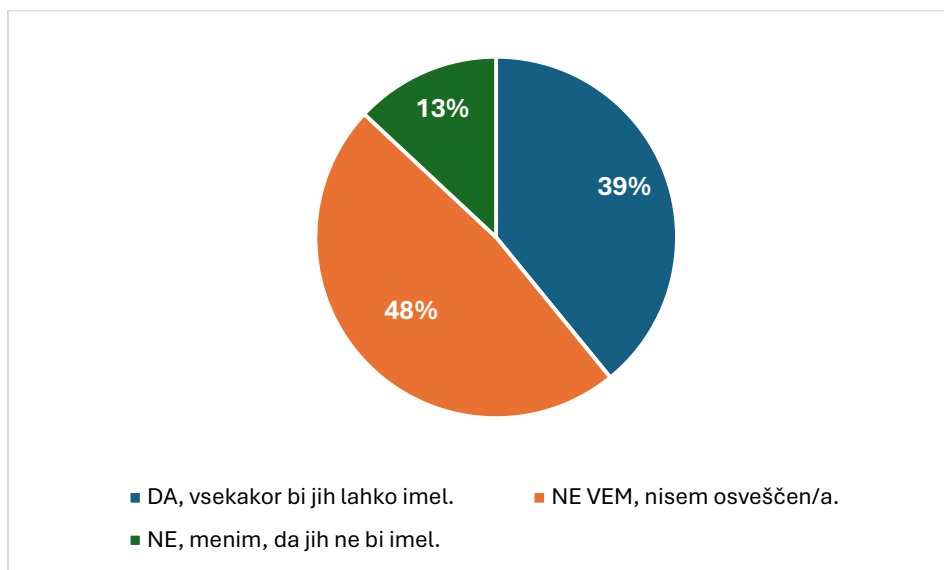
S sedmim zastavljenim anketnim vprašanjem: »Ali bi podprli izgradnjo objekta za termično obdelavo odpadkov, če bi se s tem zmanjšala cena energije v vašem gospodinjstvu?«, smo pri anketirancih želeli preveriti, ali bi njihovi odgovori ostali enaki, kot pri šestem vprašanju. Slika 19 prikazuje, da večina anketirancev, v 57 %, še vedno ne bi podprla izgradnje objekta. 13 % anketiranih bi to podprla, če bi se s tem znižali stroški energije v njihovih gospodinjstvih. Tretjina anketirancev pa bi gradnjo pogojno podprla, če bi imeli več informacij o samem procesu. Ker so odgovori ankete, glede na starost anketirancev, v 64 % nagnjeni k mnenjem starostne skupine do 22 let, sklepam, da je v 13 % spodnjega grafa večina anketirancev starostne skupine nad 31 let.



Slika 19: Rezultati ankete - ali bi anketiranci podprli izgradnjo objekta za termično obdelavo odpadkov, če bi se jim znižala cena energije v gospodinjstvu.

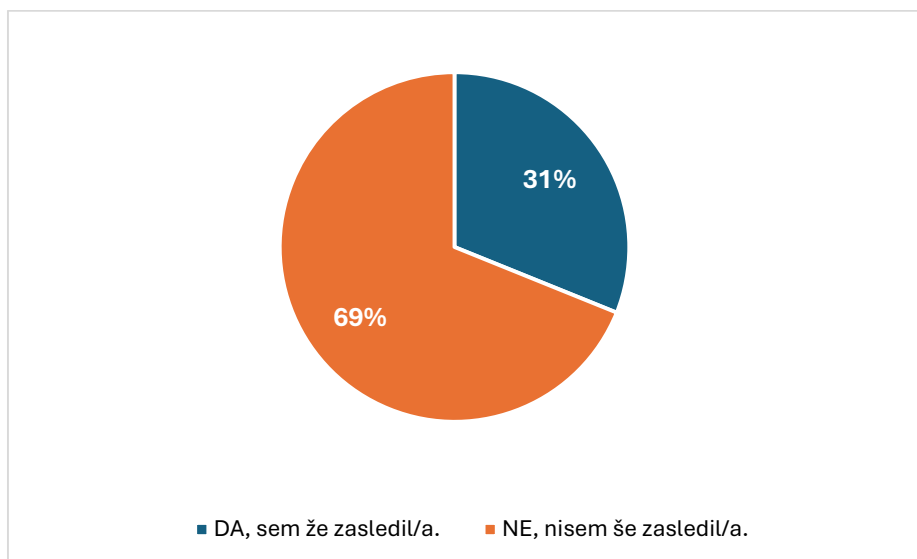
Osmo postavljeno vprašanje je bilo: »Ali menite, da bi lahko termični obrat za obdelavo odpadkov imel negativne vplive na zdravje ljudi in na okolje?«. Iz Slike 20 je razvidno, da je 48 % anketiranih odgovorilo, da ne vedo, saj niso ozaveščeni. 39 % anketiranih je mnenja, da bi obrat imel negativne vplive, 13 % pa jih meni, da negativnih vplivov ne bi bilo. Na

podlagi rezultatov, menim, da večina anketiranih ni ozaveščena o potencialnih zdravstvenih in okoljskih vplivih omenjenega postopka predelave odpadkov.



Slika 20: Rezultati ankete - mnenja anketirancev na vprašanje, ali ima lahko termični obrat za obdelavo odpadkov, za posledico negativne vplive na zdravje ljudi in na okolje.

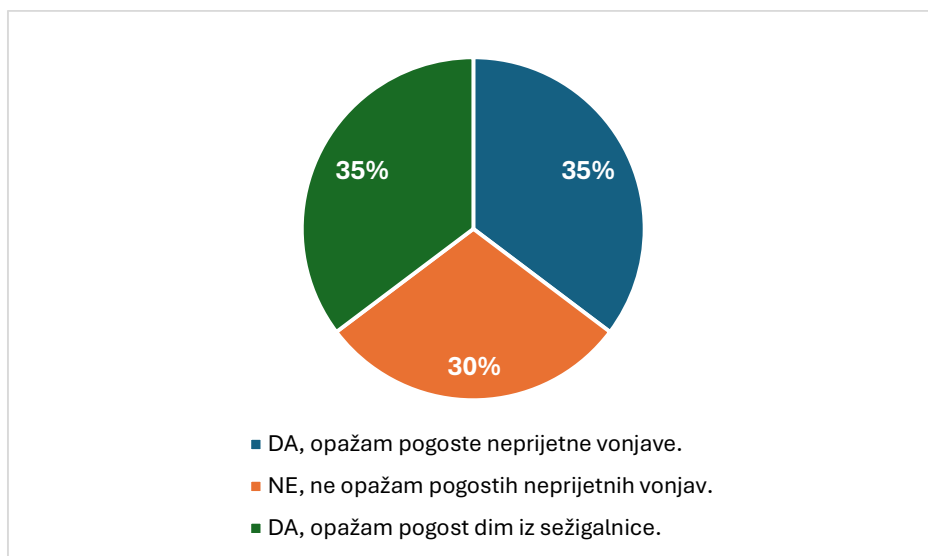
Deveto postavljeno anketno vprašanje se je glasilo: »Ali ste zasledili morebitna zdravstvena tveganja, povezana s termično obdelavo odpadkov?«. Slika 21 prikazuje, da jih večina, v 69 %, tega ni zasledila, preostali, torej 31 % anketiranih, pa so jih zasledili. Na podlagi mnenj starostne skupine do 22 let, sklepam, da so z 31 % odgovarjali anketiranci, stari nad 31 let.



Slika 21: Rezultati ankete – mnenja anketirancev, ali so že zasledili morebitna zdravstvena tveganja, povezana s termično obdelavo odpadkov.

Deseto zastavljeno vprašanje anketiranim je bilo: »Če prihajate iz območja, v katerem se nahaja obrat za termično obdelavo odpadkov, ali bi lahko rekli, da so pogosto prisotne neprijetne vonjave ali dim iz sežigalnice?«. Iz Slike 22, kjer je prikazan graf, ki je skoraj enako porazdeljen, so s 35 % odgovorili, da iz sežigalnice pogosto opažajo dim. Enako kot pri

prejšnjem odgovoru, so se z 35 % opredelili, da iz sežigalnice pogosto občutijo neprijetne vonjave. Preostala tretjina anketirancev pa neprijetnih vonjav ne opaža. Dim iz sežigalnice, ki ga opažajo anketiranci, je prisoten v vsakem industrijskem obratu, tudi pri sežigalnici odpadkov. Dimni plini, ki nastajajo, se pred izpustom v okolje ustrezno očistijo.



Slika 22: Rezultati ankete - mnenja anketirancev, ki živijo v občinah z obratom za termično obdelavo odpadkov, ali opažajo neprijetne vonjave ali dim.

Z zadnjim vprašanjem smo pri anketirancih preverjali znanje in ozaveščenost. Večina vprašanih je prihajala iz Celja ali okolice, saj je bila anketa poslana sorodnikom, prijateljem in sodelavcem. Vprašanje, ki smo ga zastavili je bilo: »Ali poznate katero mesto v Sloveniji in EU, v katerem deluje termična obdelava odpadkov?«

Nanj so anketiranci odgovarjali različno. Večina jih ne pozna mesta, kjer bi se nahajala sežigalnica odpadkov. Pet anketirancev je odgovorilo, da vedo za Celje. Trije anketiranci so odgovorili, da poznajo sežigalnico odpadkov na Dunaju. Med odgovori so bila tudi Švedska mesta in norveška mesta. Sklepam, da jih večina, ki živi v Celju, ne ve, da se na obrobju njihovega mesta nahaja sežigalnica odpadkov. Na podlagi pridobljenih rezultatov lahko sklepam, da so anketiranci premalo ozaveščeni o načinu termične predelave odpadkov, ter pridobivanju energije iz odpadkov. Hkrati pa predvidevam, da bi bili rezultati ankete drugačni, če bi med anketiranci prevladala skupina nad 31 let.

7. SKLEPI

V teoretičnem delu diplomskega dela smo opredelili sežig kot eno izmed ključnih tehnologij za zmanjševanje količine odpadkov in pridobivanje energije. Izpostavili smo, da sežig odpadkov oziroma lahka frakcija mešanih komunalnih odpadkov z visoko kurilno vrednostjo, predstavlja pomembno alternativo odlaganju odpadkov na deponije, saj bistveno zmanjša prostornino odpadkov ter emisije toplogrednih plinov. Za učinkovito delovanje sežigalnic je potrebno nujno zagotoviti ustrezno pripravo odpadkov, ki vključuje mehansko-biološko obdelavo, ločevanje neprimernih frakcij, homogenizacijo kurilne vrednosti ter hkrati zagotoviti napredne sisteme za čiščenje dimnih plinov, s čimer se preprečuje škodljivo emisijsko obremenjevanje okolja. Primer dobre prakse, kot je Toplarna Celje, kaže, da je mogoče s sodobno tehnologijo doseči trajnostno ravnanje z odpadki, ki prispeva k proizvodnji energije in zmanjšanju okoljskega vpliva. Sežig odpadkov je tako smiselna rešitev v okviru celovitega sistema ravnanja z odpadki, vendar zahteva kontinuirano spremljanje, nadzor in optimizacijo za doseganje najboljše možne okoljske in energetske učinkovitosti.

V raziskovalnem delu diplomskega dela smo se usmerili na ozaveščenost anketirancev, predvsem pa njihov pogled na tovrsten proces. Glede na vprašanje, ali doma redno ločujejo odpadke, lahko sklepamo da so o problematiki globalnega problema odpadkov, ozaveščeni o negativnih posledicah, saj se nihče od anketiranih ni opredelil, da se mu ločevanje odpadkov zdi nesmiselno. Nadalje, glede na rezultate ankete, ki se navezuje na proces termične izrabe odpadkov za pridobivanje toplotne energije, menimo, da so anketirani premalo ozaveščeni in bi si želeli več informacij o posameznem posegu za hipotetične gradnje tovrstnih obratov v njihovih mestih. Obratno menimo tudi, da so anketiranci premalo ozaveščeni o pozitivnih lastnostih obratov za termično obdelavo odpadkov in o tem zakaj je sežig odpadkov včasih boljši način ravnanja z odpadki kot pa odlaganje na deponijo. Na koncu ankete ugotavljamo, da večina anketiranih ne ve, da imamo v Sloveniji, v Celju, sežigalnico odpadkov, ki deluje že od leta 2008, saj je mesto Celje napisalo samo pet anketiranih oseb. Glede na zbrane podatke v anketi ugotavljamo, da se ljudje zavedajo vpliva nepravilnega ravnanja z odpadki, zato tudi ločujejo. Ne vedo pa, kam gredo ločeno zbrani odpadki iz gospodinjstev, zato bi bilo smiselno z določenimi ukrepi povečati ozaveščanje glede obdelave odpadkov, ki izvirajo od vsakega posameznika na Planetu. Ozaveščanje bi lahko dosegli z morebitnimi izobraževalnimi programi, ki bi delovali po šolah, javnih ustanovah in tudi na društvenih mrežah, kjer bi lahko ustvarjali interaktivne vsebine, ki bi na razumljiv način prikazovale potek vsakodnevnega toka odpadkov. Na prvem mestu pa je potrebno ljudi vzpodbujati in ozaveščati o zmanjševanju nastajanja odpadkov, z morebitno ponovno uporabo.

7.2. Ustreznost postavljenih hipotez

S prvo **hipotezo (H1)** smo predpostavili, da so za termično obdelavo odpadkov primerni mešani komunalni odpadki, kar lahko delno potrdimo. Za termično obdelavo odpadkov, z izrabo energije, so res primerni mešani komunalni odpadki, ampak ne vsi. Za termično obdelavo odpadkov je primerna samo lahka frakcija, ki se v prvotni mehansko - biološki obdelavi, loči od težke frakcije, ki je tudi slabo gorljiva. Lahko frakcijo pa sestavljajo gorljivi odpadki z visoko kurilno vrednostjo, to so papir, karton, plastika, guma, les in tekstil.

Z drugo **hipotezo (H2)** smo predpostavili, da sta glavna razloga za sežiganje odpadkov, zmanjševanje količine mešanih komunalnih odpadkov ter izraba sproščene energije, kar lahko potrdimo. Vhodne količine odpadkov, ki so dostavljene v regionalne centre, z mehansko obdelavo, volumensko zmanjšamo za do največ 30%. Izločen del gre tako v termično

obdelavo, namesto, da bi se odlagalo na deponijah. Odpadki, ki jih v začetni fazi ločimo na lahko frakcijo, imajo dobre kurilne vrednosti, zato se jih uporabi kot obnovljiv vir za izrabo njihove sproščene energije, ki se jo proizvede v električno ali toplotno energijo za daljinsko ogrevanje mesta.

S tretjo **hipotezo (H3)** smo predpostavili, da ima sežigalnica odpadkov negativne dolgoročne posledice na zdravje človeka, kar lahko potrdimo. V nalogi so v naslovu »Slabosti sežiga odpadkov« predstavljene vplivi, na zdravje ljudi ter na okolje. Res je, da so izpusti iz sežigalnic odpadkov strogo zakonsko določeni in mejne vrednosti zmanjšane na minimalno raven, ampak v okolje se snovi še vedno izločajo. Posledice večletnih izpustov emisij plina ter škodljivih snovi v okolje, povzroča kronično tveganje za zdravje človeka, saj je človek kot rečeno, več let izpostavljen minimalnim izpustom škodljivih snovi. Torej, pri tovrstnih procesih ne govorimo o akutnih tveganjih za zdravje temveč, o kroničnem tveganju in dolgoletni izpostavljenosti.

8. POVZETEK

Namen diplomskega dela je bil predstaviti prednosti in slabosti termične obdelave odpadkov. Predstavili smo različne postopke obdelave odpadkov in se bolj osredotočali na sežig, ki je najpogostejša tehnika termične obdelave odpadkov. Ker se sežig izvaja v tako imenovanih sežigalnicah odpadkov, smo predstavili tudi pogoje za obratovanje sežigalnice odpadkov, skladne z zakonskimi predpisi. S pomočjo javno dostopnih virov smo v diplomski nalogi predstavili prednosti, da lahko iz odpadkov, ki bi drugače končali na deponijah, z ustreznimi procesi pridobivamo energijo v obliki toplote in jih tako uvrščamo med alternativne vire energije. Predstavili smo tudi negativno plat, saj kljub tehnološkim napredkom, proces sežiganja odpadkov povzroča emisije, ki lahko škodujejo okolju in zdravju ljudi. Govorimo namreč o kroničnem tveganju za zdravje ob dolgoletni izpostavljenosti škodljivim emisijam. Največji problem za okolje in zdravje človeka, povezan z sežiganjem odpadkov, so dimni plini, ki nastajajo zaradi izgorevanja odpadkov ter vsebujejo škodljive snovi kot so pepel oz. trdni delci, težke kovine in njihove spojine, dušikovi oksidi, žveplov oksidi, fluoridi, kloridi, sledovi lahko hlapljivih organskih spojin ter dioksini in furani. Zaradi omenjenega se onesnažene dimne pline pred izpustom v zrak, s primernimi tehnologijami, očisti oz. nevarne snovi zmanjša na minimum. Nadalje v diplomski nalogi predstavimo Toplarno Celje, kot dober primer prakse, ki deluje že od leta 2008 in je prva sežigalnica odpadkov v Sloveniji. Toplarna Celje z izrabo lahke frakcije preostanka komunalnih odpadkov po ločenem zbiranju, proizvaja toplotno in električno energijo.

V empiričnem delu smo izdelali anketo ter potrdili ali zavrgli hipoteze, ki smo si jih zastavili na začetku. Te so bile ključne iztočnice pri pisanju diplomske naloge. V anketi smo se osredotočili na ozaveščenost anketirancev, predvsem pa na njihov pogled na tovrstne procese. Ugotovili smo, da so anketiranci ozaveščeni o problematiki odpadkov, saj odpadke vsi ločujejo. Na podlagi rezultatov pa smatramo, da so anketiranci kljub vsemu premalo ozaveščeni o tej problematiki in procesih, zato si želijo več konkretnih informacij, saj večini gradnja hipotetične sežigalnice odpadkov v njihovem kraju, zaradi slišanih negativnih mnenj, povzroča pomisleke oz. je ne sprejmejo. Na drugi strani pa iz rezultatov ankete izhaja, da so anketiranci premalo ozaveščeni o pozitivnih lastnostih sežigalnice in nimajo pravih informacij, zakaj je sežig odpadkov včasih boljši način ravnanja z odpadki kot pa odlaganje na deponijo. Za boljšo obveščenost so ključnega pomena izobraževanja preko šolskih programov, javnih kampanj ter interaktivnih vsebin na družbenih omrežjih. Prav tako je nujno spodbujanje po zmanjševanju količin nastalih odpadkov ter pri njihovi ponovni uporabi. Hipotezo 1 smo tako delno potrdili, saj za sežig niso primerni vsi komunalni odpadki, ki prihajajo v regionalne centre, ampak le del njih, ki se jih izloči v mehanski obdelavi. Torej, za sežig je primerna le gorljiva (lahka) frakcija. Hipotezo 2 pa smo v celoti potrdili. V diplomskem delu smo večkrat predstavili, da sta za sežig odpadkov dva glavna razloga, torej zmanjševanje količine nastalih odpadkov ter pridobivanje energije iz njih. Na podlagi ugotovitev iz javno dostopnih virov smo v celoti potrdili tudi hipotezo 3, saj večletno izpostavljanje uhajanju minimalnih vrednosti škodljivih snovi, povzroča kronično tveganje za zdravje človeka, saj je človek, kot rečeno, več let izpostavljen minimalnim izpustom škodljivih snovi, ki se lahko nabirajo v njegovem telesu, ali pa v zemlji, ki je osnova za pridelavo živil, ki jih kasneje zaužijemo.

9. SUMMARY

The purpose of this thesis was to present the advantages and disadvantages of thermal waste treatment. We presented various waste treatment methods, with a particular focus on incineration, which is the most common thermal waste treatment technique. Since incineration takes place in so-called waste incineration plants, we also presented the operational conditions of such facilities in accordance with legal regulations. Using publicly available sources, this thesis highlights the benefits of recovering energy in the form of heat from waste that would otherwise end up in landfills, classifying it as an alternative energy source. We also examined the negative aspects of waste incineration, since—despite technological advancements—it still produces emissions that can harm the environment and human health. Specifically, we address the chronic health risks associated with long-term exposure to harmful emissions. The greatest environmental and health concern related to incineration is the formation of flue gases, which result from waste combustion and contain hazardous substances such as ash or particulate matter, heavy metals and their compounds, nitrogen oxides, sulfur oxides, fluorides, chlorides, traces of volatile organic compounds, as well as dioxins and furans. Due to these harmful substances, contaminated flue gases must be treated using appropriate technologies before being released into the atmosphere, in order to reduce their harmful components to a minimum. Furthermore, the thesis presents Toplarna Celje as a good practice example. Operating since 2008, it is the first waste incineration plant in Slovenia. By utilizing the light fraction of residual municipal waste after separate collection, Toplarna Celje produces both thermal and electrical energy.

In the empirical part of the thesis, we conducted a survey to confirm or reject the hypotheses established at the beginning, which served as key starting points for writing the thesis. The survey focused on respondents' awareness and, more specifically, their perception of such processes. We found that respondents are aware of the waste issue, as all of them practice waste separation. However, based on the results, we believe that respondents are still insufficiently informed about this issue and the related processes, and therefore desire more specific information. The majority are hesitant or opposed to the construction of a hypothetical waste incineration plant in their local area due to negative opinions they have heard. On the other hand, the results also indicate that respondents lack awareness of the positive aspects of incineration and do not have accurate information about why incineration can, in some cases, be a better waste management solution than landfilling. Education through school curricula, public awareness campaigns, and interactive content on social media is crucial for better public understanding. It is also essential to promote waste reduction and reuse. Hypothesis 1 was partially confirmed, as not all municipal waste that arrives at regional centers is suitable for incineration—only the combustible (light) fraction, which is separated during mechanical processing. Hypothesis 2 was fully confirmed. Throughout the thesis, we repeatedly highlighted the two main reasons for incinerating waste: reducing the volume of waste and generating energy from it. Based on findings from publicly available sources, Hypothesis 3 was also fully confirmed. Long-term exposure to minimal levels of harmful substances poses a chronic health risk, as people are exposed for years to small amounts of toxic emissions, which can accumulate in the body or in soil—the basis for growing food that we later consume.

10. VIRI

1. Tavčar B. Delo.si. 2025. Slovenija izvozi večino svojih odpadkov – sčasoma jih bomo začeli sežigati doma. Medmrežje: <https://www.delo.si/novice/okolje/novi-sezigalnici-v-petih-do-sedmih-letih> (20. 5. 2025)
2. Slovensko zdravniško društvo - Sekcija za klinično toksikologijo in Univerzitetni klinični center Ljubljana - Center za klinično toksikologijo in farmakologijo, Interna klinika. 2019: Vpliv sežiganja odpadkov na okolje in zdravje. Medmrežje: <https://ktf.si/wpcontent/uploads/2019/12/8srecanjeokemijskivarnostivplivse%C5%BEiganja-odpadkov-na-okolje-in-zdravje-2019-splet.pdf> (22. 1. 2025)
3. Tait P., Brew J., Che A., Costanzo A., Daniluk A., Davis M., Khalaf A., Mahon K., Watson A., Rowcliff K., Bowles D. 2019. The health impacts of waste incineration: a systematic review. Australian and New Zealand Journal of Public Health, št. str. št. 40-48. Medmrežje: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S132602002300732X> (2. 2. 2025)
4. Asist. Prof. dr. Petrinić I. Ravnanje z odpadki: V. Termična obdelava odpadkov. (2025)
5. Pravilnik o sežiganju odpadkov. Uradni list RS, št. 32/92 in 1/96. Medmrežje: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2000-01-1492/pravilnik-o-seziganju-odpadkov> (28. 11. 2024)
6. Delo in dom. Delo d.o.o.2024: Najstarejša dunajska sežigalnica odpadkov praznuje 60. obletnico. Medmrežje: <https://deloindom.delo.si/energija-in-okolje/okolje/najstarejsa-dunajska-sezigalnica-odpadkov-praznuje-60-obletnico> (2.5.2025)
7. dr. Pahor B. 2021: Ravnanje z odpadki v Sloveniji - Nerešljiv izziv ali priložnost? - 1. del. Medmrežje: <https://www.izs.si/aktualno/izs-blog/ravnanje-z-odpadki-v-sloveniji-neresljiv-izziv-ali-priloznost-1-del> (31. 1. 2025)
8. Sežig odpadkov. Medmrežje: https://sl.wikipedia.org/wiki/Se%C5%BElg_odpadkov (21.11.2024)
9. Učbenik za modul gospodarjenje z odpadki v programu okoljevarstveni tehnik. Dr. Zore J. 2015. Gospodarjenje z odpadki: Slovar. Celje, Fit media d.o.o. (str. 133 - 161)
10. Kovačič D., Šušterčič A., Dolšak P., Škantar J., Matko - Mehle L. 2020: Poročilo o vplivih na okolje za povečanje skupne letne količine sežiganja odpadkov v Toplarni Celje. Medmrežje: http://www.okolje.si/novice/datoteke/043332Poro%C4%8Dilo%20PVO_T_C_se%C5%BElg.pdf (18. 1. 2025)
11. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje. Okoljevarstveno soglasje št. 35402-19/2020-47, z dne 8. 7. 2021
12. Bavcon K. M., Cigić K. I., Prosen H., Trebše H. 2024: Onesnaženost ozračja. Medmrežje: https://fkkt.unilj.si/fileadmin/user_upload/o_fakulteti/e_gradiva/Onesnazen_ost_ozracja-2024-Bavcon_Kralj_idr.pdf (22. 1. 2025)
13. Obstojno organsko onesneževalo. Medmrežje: https://sl.wikipedia.org/wiki/Obstojno_organsko_onesna%C5%Beevalo (20. 1. 2025)

14. Forum akademija. 2013: Energijska izraba komunalnih odpadkov z izgorevanjem. Medmrežje: <https://forum-media.si/varnost-zdravje-okolje/energijskaizrabakomunalnih-odpadkov-z-zgorevanjem/> (20. 1. 2025)
15. Kurilna vrednost. Medmrežje: https://sl.wikipedia.org/wiki/Kurilna_vrednost (22. 3. 2025)
16. Ravnanje z odpadki. Trajnostna energija. Medmrežje: <https://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostna-energija/Ohranite-okolje-%C4%8Disto/Odpadki/Ravnanje-z-odpadki> (28. 3. 2025)
17. Energijski potencial komunalnih odpadkov. Medmrežje: <https://forum-media.si/varnost-zdravje-okolje/energijski-potencial-komunalnihodpadkov/> (20. 1. 2025)
18. Zakon o varstvu okolja (ZVO-2, Uradni list RS, št. 44/22, 18/23 – ZDU-10, 78/23 – ZUNPEOVE in 23/24). Medmrežje: <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO8286> (21. 11. 2024)
19. Uredba o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig odpadkov (Uradni list RS, št. 8/16, 116/21 in 44/22 – ZVO-2). Medmrežje: <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED6511> (28. 11. 2024)
20. Simbio. RCERO II. - Toplarna. Medmrežje: <https://www.simbio.si/sl/rcero-ii.-toplarna> (16. 12. 2024)
21. Simbio. RCERO CELJE - sodobni center za ravnanje z odpadki v Bukovžlaku. Medmrežje: <https://www.simbio.si/sl/rcero> (16. 12. 2024)
22. Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. Odločba št. 35432-7/2023-2570-24, z dne 29. 2. 2024. Medmrežje: https://www.gov.si/assets/seznami/register-upravljavcev-in-izdanihiedokoljevarstvenihdovoljenj/ENERGETIKA_CELJE_sprememba_ovd_29feb2024.pdf (18. 1. 2025)
23. Energetika Celje. Okolje. Medmrežje: <https://www.energetika-ce.si/okolje> (15. 7. 2025)

11. VIRI SLIK

1. Hierarhična lestvica ravnanja z odpadki. Medmrežje: https://www.google.com/search?sca_esv=825693c8fad5fc8e&q=hierarhi%C4%8Dna+lest
2. Prikaz sežigalnice odpadkov v središču mesta na Dunaju. Medmrežje: https://www.mladina.si/media/www/slike/2022/27/_610/foto-spittelau.jpg
3. Petrinić I., Termična obdelava odpadkov.
4. Shematični prikaz sežiganja odpadkov v sežigalnici. Medmrežje: <https://www.ekoanhovo.org/wp-content/uploads/2019/12/Referat-Andrej-Senegacnik.pdf>
5. Shematični prikaz sežiga na rešetki. Medmrežje: <https://www.ekoanhovo.org/wp-content/uploads/2019/12/Referat-Andrej-Senegacnik.pdf>
6. Shematični prikaz sežiga v lebdečem sloju. Medmrežje: <https://www.ekoanhovo.org/wp-content/uploads/2019/12/Referat-Andrej-Senegacnik.pdf>

7. Učbenik za modul gospodarjenje z odpadki v programu okoljevarstveni tehnik. Dr. Zore J. 2015. Gospodarjenje z odpadki: Slovar. Celje, Fit media d.o.o. (str. 133 - 161)
8. Prikaz Toplarne Celje. Medmrežje:
<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.energetika-ce.si>

PRILOGE

Priloga 1: Anketni vprašalnik

1. Spol:

- a) Moški
- b) Ženski

2. Starost:

- a) Do 22 let
- b) Od 23 do 30 let
- c) Nad 31 let

3. Ali redno ločujete odpadke?

- a) Da. Trudim se redno in kar se da pravilno.
- b) Nisem prepričan/a. Ko se spomnim odpadek tudi ločim.
- c) Ne. Mislim, da je to brezsmiselno.

4. Kater način predelave odpadkov, ki po reciklaži in ponovni uporabi ostanejo, je po vašem mnenju za okolje najbolj sprejemljiv?

- a) Odlaganje na deponijo.
- b) Termična obdelava odpadkov s proizvodnjo električne in toplotne energije.

5. Ali ste že slišali za proces pridobivanja toplotne in električne energije s procesom izrabe komunalnih odpadkov?

- a) Da, sem zasledil/a.
- b) Ne, nisem še zasledil/a.

6. Ali bi v vašem mestu podprli izgradnjo objekta za termično obdelavo odpadkov?

- a) Ne, nikakor.
- b) Mogoče, če bi imel/a več informacij o samem procesu obdelovanja.
- c) Da, podprl/a bi vsekakor.

7. Ali bi podprli izgradnjo objekta za termično obdelavo odpadkov, če bi se s tem zmanjšala cena energije v vašem gospodinjstvu?

- a) Ne, še vedno ne podpiram izgradnje.
- b) Mogoče, če bi imel/a več informacij o samem procesu.
- c) Da, podprl/a bi, če se znižajo stroški energije v mojem gospodinjstvu.

8. Ali menite, da bi lahko termični obrat za obdelavo odpadkov imel negativne vplive na zdravje ljudi in okolje?

- a) Da, vsekakor bi jih lahko imel.
- b) Ne vem, nisem osveščen/a.
- c) Ne, menim, da jih ne bi imel.

9. Ali ste zasledili morebitna zdravstvena tveganja, povezana s termično obdelavo odpadkov?

- a) Da, sem že zasledil/a.
- b) Ne, nisem še zasledil/a.

10. Če prihajate iz območja, v katerem se nahaja obrat za termično obdelavo odpadkov – ali bi lahko rekli, da so pogosto prisotne neprijetne vonjave ali dim iz sežigalnice?

- a) Da, opažam pogoste neprijetne vonjave.
- b) Ne, ne opažam pogostih neprijetnih vonjav.
- c) Da, opažam pogost dim iz sežigalnice.
- d) Ne, ne opažam pogostega dima iz sežigalnice.

11. Ali poznate katero mesto v Sloveniji ali EU, v katerem deluje termična obdelava odpadkov?
