

POTENCIJALI OTPADA

Jelena Radošević, dipl.ing.biol.

Dr. sc. Maja Božičević Vrhovčak

Društvo za oblikovanje održivog razvoja

Zagreb, travanj 2016.

SADRŽAJ

Što je otpad i kako njime gospodariti?	5
Sprječavanje nastanka otpada	7
Recikliranje otpada	9
Energetska uporaba otpada.....	21
Odlaganje otpada na odlagalište.....	30
Ideje za rad s učenicima.....	34
Literatura.....	37

POPIS SLIKA

Slika 1: Berlinski dućan bez ambalaže.....	8
Slika 2: Möbiusova petlja.....	9
Slika 3: Primjer zelenog otoka, Zagreb	9
Slika 4: Primjer reciklažnog dvorišta, Čakovec	9
Slika 5: Sastav miješanog komunalnog otpada u Hrvatskoj, maseni udjeli.....	10
Slika 6: Princip uklanjanja tinte iz pulpe.....	12
Slika 7: Recikliranje plastike (PET i HDPE).....	15
Slika 8: Oznake opasnog otpada na ambalaži proizvoda.....	17
Slika 9: Reciklažno dvorište ČAKOM u Čakovcu.	18
Slika 10: Sortirnica Totovec.	19
Slika 11: Kompostana.....	19
Slika 12: Reciklažno dvorište za građevinski otpad.....	20
Slika 13: Proizvodi tvrtke Tehnix.	20
Slika 14: Bioplinsko postrojenje u Beču.....	22
Slika 15: Bioplinsko postrojenje u Stremu.....	23
Slika 16: Spalionica otpada Pfaffenaу.	24
Slika 17: Istovar otpada u spremnik SO Pfaffenaу.	24
Slika 18: Upravljanje grabilicom i utovar promiješanog otpada u peć.....	25
Slika 19: Peć za izgaranje otpada na kosoj rešetci.....	25
Slika 20: Generator pare.....	26
Slika 21: Ispiranje ispušnih plinova vodom (lijevo) i vapnenim mljekom (desno).....	27
Slika 22: Elektrana na biomasu u Güssingu	28
Slika 23: Odlagalište otpada Totovec.	30
Slika 24: Vodonepropusna podloga odlagališta otpada.....	31
Slika 25: Sektorski doprinos emisijama metana.....	32
Slika 26: Sustav za otplinjavanje Županijskog centra za gospodarenje otpadom „Kaštijun“.....	33

POPIS TABLICA

Tabela 1: Šest najkorištenijih vrsta plastike.	14
---	----

Što je otpad i kako njime gospodariti?

Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (1), otpad je svaka tvar ili predmet koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa.

Prema mjestu nastanka i načinu odlaganja razlikuju se tri velike skupine otpada:

- komunalni ili gradski,
- industrijski ili tehnološki (građevinski) i
- bolnički ili patogeni (2).

Procjenjuje se da se u Hrvatskoj 2015. proizvelo ukupno 1.953.000 t komunalnog otpada, od čega na području Grada Zagreba 392.000 t, a u Vukovarsko-srijemskoj županiji 64.000 t (3).

Prema utjecaju na zdravlje ljudi i okoliš, otpad se dijeli na opasni, neopasni i inertni.

- Opasni otpad je eksplozivan, reaktiv, zapaljiv, nadražljiv, mutagen, kancerogen, teratogen, toksičan, infektivan, ekotoksičan, oksidirajući i nagrizajući te uzrokuje oslobođanje otrovnih plinova u kemijskim reakcijama ili tijekom biološke razgradnje. Opasan je za život i zdravlje ljudi, okoliš i/ili imovinu. Potječe uglavnom iz industrije, poljoprivrede, bolnica, laboratorija i instituta.
- Neopasni otpad je otpad koji ne posjeduje niti jedno svojstvo opasnog otpada. Većina komunalnog otpada je neopasna.
- Inertni otpad je otpad koji ne podliježe značajnim fizikalnim, kemijskim ni biološkim promjenama. Netopiv je u vodi, ne gori, nije biorazgradiv. Građevinski otpad smatra se inertnim (4).

Opasni otpad čini najmanji dio sveukupno proizvedenog otpada. Inertni i neopasni otpad su u većini slučajeva vrijedan resurs za proizvodnju novih proizvoda. Na primjer, bačeni papir se može iskoristiti za proizvodnju omotnice, stare plastične boce se mogu iskoristiti za proizvodnju sportske odjeće ili pogonskog goriva, a ostaci od guljenja mrkve i jabuke bogati su nutrijentima nužnim za život i rast biljaka pa su vrijedan dio komposta. Umjesto trošenja ograničenih i teško dostupnih prirodnih resursa poput šuma, nafte i ruda, za proizvodnju mnogih stvari i energije može se iskoristiti otpad.

Osim toga, rastuće količine otpada zatravljaju sve veće površine na Zemlji. Postavlja se pitanje: kamo sa svim tim otpadom? Rješenje je u sprječavanju nastanka otpada i u principu održivog gospodarenja otpadom. Kada je otpad već nastao, cilj je maksimalno iskoristiti njegovu materijalnu i energetsku vrijednost prije nego što ga se odloži na odlagalište. S time u vezi primjenjuje se red prvenstva gospodarenja otpadom:

1. sprječavanje nastanka otpada,
2. recikliranje,
3. energetska uporaba,
4. zbrinjavanje otpada (odlaganje na odlagališta otpada) (4).

Hijerarhija postupanja s otpadom podržana je i od strane Europske unije, te Okvirna direktiva o otpadu nalaže da do 2020. zemlje članice Europske unije trebaju reciklirati 50% komunalnog otpada i 70% otpada (5). Osim toga, Direktiva o odlagalištima otpada nalaže smanjenje odlaganja biorazgradivog otpada do 2016. za 65% u odnosu na 1995. godinu (6).

U sljedećim poglavljima detaljno će se obraditi svaki navedeni korak u hijerarhiji postupanja s otpadom: sprječavanje nastanka otpada, recikliranje otpada, energetska uporaba i odlaganje na odlagališta otpada.

Sprječavanje nastanka otpada

Prvi i najvažniji korak u održivom gospodarenju otpadom je sprječavanje nastanka novog otpada odnosno poduzimanje mjera da određeni proizvod ne postane otpad. U nekim slučajevima to podrazumijeva veliku promjenu u ponašanju pojedinca, obitelji, tvrtke. Preduvjet uspješnom sprječavanju nastanka otpada su edukacija, popularizacija i motivacija kroz primjere dobre prakse.

Postoji niz načina kako spriječiti nastanak otpada. Neki od njih su:

- višekratno koristiti vrećice,
- kupovati onoliko hrane i drugih proizvoda koliko je potrebno, a ne više od toga,
- kupovati proizvode s malo ambalaže,
- kupovati veća pakiranja proizvoda, jer se tako odlaže manje ambalaže,
- izbjegavati kupovinu proizvoda u plastičnoj ambalaži, birati proizvode u staklenoj ili recikliranoj ambalaži,
- kupovati mlijeko i ulje iz mljekomata i uljomata ili izravno od poljoprivrednika,
- piti vodu iz slavine umjesto iz boce, ako je pitka,
- samostalno pripremati hranu umjesto naručivati dostavu,
- izbjegavati upotrebu plastičnog pribora za jelo,
- kupovati u *second hand* dućanima,
- razmjeniti odjeću umjesto kupiti novu,
- donirati odjeću i druge stvari,
- prodati proizvode koji se ne koriste,
- smanjiti količinu primljene pošte,
- koristiti se Internet bankarstvom,
- iskoristiti praznu stranu papira koji je jednostrano ispisani,
- ispisivati obostrano,
- koristiti platnene maramice i ubruse umjesto papirnatih,
- kupiti punjive baterije,
- podatke snimati na USB umjesto na CD,
- kupovati LED žarulje umjesto klasičnih,
- koristiti proizvod dok god radi,
- umjesto materijalnog dara, darovati doživljaj.

S ciljem poticanja zajednice na smanjenje količine proizvedenog otpada, u Berlinu je otvoren dućan u kojem proizvodi nisu zapakirani, već kupac sam donosi ambalažu u kojoj će ponijeti kupljeni proizvod (Slika 1). Voće i povrće, tjesto, žitarice, grah prodaje se u rinfuzi, u količini koja odgovara kupcu. U slučaju da kupac zaboravi vrećicu ili spremnik, u dućanu može kupiti papirnatu vrećicu izrađenu od recikliranog papira (7).



Slika 1: Berlinski dućan bez ambalaže.

Jasan poticaj za smanjenje količine stvorenog otpada jest sustav naplate odvoza otpada iz kućanstava i tvornica prema količini nastalog otpada. U regiji Flandrija u Belgiji na taj se način količina otpada smanjila za 13 % u godini dana (4). Osim ove mjere komunalnog poduzeća, u regiji je otvorena mreža centara s ambalažom za višekratnu upotrebu te *smart* karticom koja potiče kupnju takve ambalaže.

Velik utjecaj na količinu stvorenog otpada imaju odluke multinacionalnih kompanija. Dobar primjer je jedna banka koja je odlučila reciklirati sav otpadni papir i plastiku koje proizvodi, kupovati samo reciklirani papir i ispisivati ga obostrano te izdavati račune i potvrde klijentima u elektroničkom obliku. U šest godina prakticiranja takve politike potrošnja papira smanjila se za 37% (8).

Recikliranje otpada

Recikliranje je postupak prerade prethodno sakupljenog i razvrstanog otpada u tvari, materijale ili proizvode izvorne ili druge namjene koja nije dobivanje energije ili zatrpanje (1).

Sama riječ „reciklirati“ dolazi od engl. *recycle* što znači ponovno kružiti. Univerzalni simbol za reciklažu je Möbiusova petlja (Slika 2) čije strelice označavaju tri bitne faze recikliranja:

- 1) sakupljanje i razvrstavanje otpada na frakcije prema tipu materijala,
- 2) prerada izdvojene frakcije otpada i izrada novih proizvoda,
- 3) kupnja i korištenje proizvoda od recikliranih materijala.

Reciklirati se može do 90% otpada iz domaćinstava.



Slika 2: Möbiusova petlja

Vrijednost recikliranja jest u iskorištavanju lako dostupnih sirovina iz otpada za proizvodnju novih proizvoda uz minimalno trošenje prirodnih resursa koji su teže dostupni i već poprilično iskorišteni. Osim toga, u proizvodnji proizvoda iz recikliranih materijala se troši manje energije te koristi i onečisti manje vode nego u tradicionalnoj proizvodnji (937).

Komunalni otpad se može sakupljati od vrata do vrata kamionima komunalnog poduzeća, u zelenim otocima i reciklažnim dvorištima. Zeleni otok je mjesto na javnoj površini na kojoj su smješteni spremnici za odvojeno prikupljanje otpada (Slika 3) (10). Reciklažno dvorište je veći nadzirani ograđeni prostor namijenjen odvojenom prikupljanju i privremenom skladištenju manjih količina različitih vrsta otpada (Slika 4) (1).



Slika 3: Primjer zelenog otoka, Zagreb

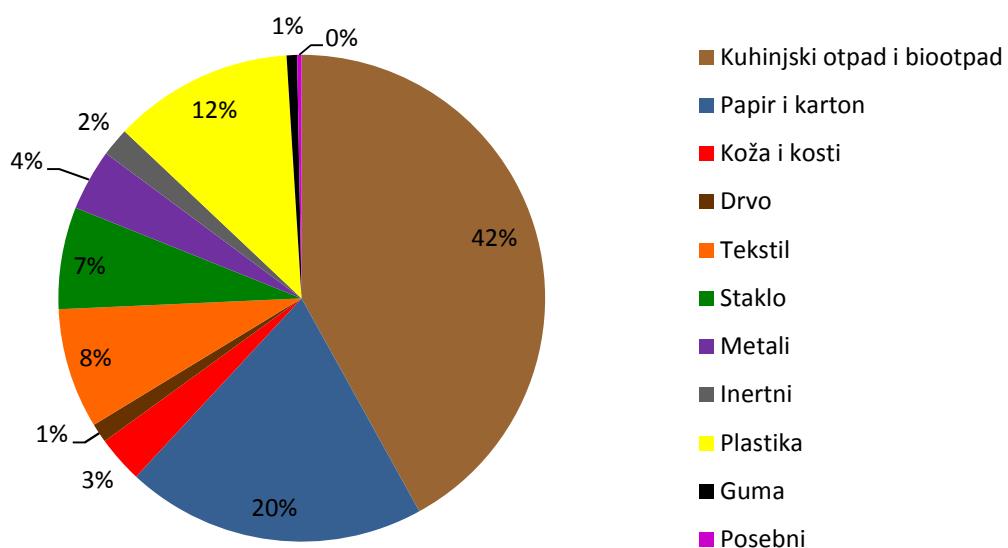


Slika 4: Primjer reciklažnog dvorišta, Čakovec

Prema *Uredbi o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada*, postoji više od 800 vrsta otpada koji su sistematizirani u 20 grupa prema svojstvima i mjestu nastanka otpada (11). Jedna od tih grupa je komunalni otpad (otpad iz kućanstava i slični otpad iz obrta, industrije i ustanova) kojeg čine različiti materijali (12). Svaki materijal ima specifična svojstva i kvalitete na temelju kojih se može koristiti za proizvodnju točno određenih proizvoda. Zbog toga je nužno otpad razvrstati odnosno odvojeno prikupiti jer se s različitim materijalima u procesu reciklaže postupa na različit način.

Postoje dva principa razvrstavanja otpada:

- **razvrstavanje na izvoru nastanka otpada:** građani sami razvrstavaju svoj otpad te pojedine frakcije stavljaju u odgovarajuće kante koje se nalaze na javnim površinama, zelenim otocima ili u reciklažnim dvorištima;
- **razvrstavanje na mjestu obrade otpada:** građani sav otpad koji se može reciklirati stavljaju zajedno u jednu vreću, a u postrojenjima obrade otpada sav prikupljeni otpad se ručno ili strojno razvrstava na frakcije različitih materijala (13).



Slika 5: Sastav miješanog komunalnog otpada u Hrvatskoj, maseni udjeli.

Frakcije komunalnog otpada (Slika 5) koje se najčešće recikliraju su: papir, staklo, plastika, metal i biootpad.

PAPIR čini prosječno 20% mase otpada u kućanstvima. Za uobičajenu proizvodnju 1 tone papira potrebno je otprilike 3,3 tone drveta (15). Sirovina za proizvodnju recikliranog papira najčešće se sastoji od celuloznih i hemiceluloznih vlakana dobivenih iz starog papira (sekundarna) i celuloznih i hemiceluloznih vlakana dobivenih izravno iz biljaka (primarna) u omjeru 7:3. Primarna vlakna se mogu dobiti iz drvene mase ili biljaka poput na primjer konoplje, pamuka i kenafa (16) što znači da za proizvodnju recikliranog papira nije nužno posjeći niti jedno stablo. Osim toga, proizvodni proces recikliranog papira podrazumijeva također manju potrošnju vode i energije. Otpadni papir može se reciklirati od 4 do 6 puta. Nakon toga vlakna postaju prekrhkna da bi činila stabilnu mrežu papira.

Papir se kao podloga za pisanje u obliku sličnom današnjem prvi put pojavio oko 100. godine u Kini. Već u 2. stoljeću naše ere su Kinezi proizvodili svojevrstan reciklirani papir i to od starih krpa i ribarskih mreža koje su miješali s vlaknima bambusove trske. Ta se smjesa mljela, namakala u gašenom vapnu te rasprostirala na sito i sušila. Dobiveni materijal se zatim prešao i obrezivao.

Proizvodnja papira u Europi datira od 12. stoljeća. Tek u 18. stoljeću kao sirovina u proizvodnji papira počinje se koristiti drvo (17). Prema podacima iz 2003. za Europsku uniju, glavni izvor celuloznih i hemiceluloznih vlakana danas su sekundarna vlakna dobivena preradom otpadnoga papira (74%).

Tehnologija recikliranja i proizvodnje papira

Stari papir prikupljen iz spremnika za papir se zajedno s papirom izdvojenim od ostalog komunalnog otpada u centrima za sortiranje otpada razvrstava prema kvaliteti, preša u bale i odvozi do centra za recikliranje papira.

U centru za recikliranje papira slijedi:

- Ručno odvajanje neželjenih predmeta poput spajalica, plastike, metala, tekstila ili drva iz smjese.
- Usitnjavanje papira u drobilici.
- Razvlaknjivanje (engl. *pulping*) odnosno razdvajanje pojedinačnih vlakana iz isprepletene strukture papira uz pomoć dodane vode i kemikalija u miješalici koja se naziva pulper.
- Uklanjanje nečistoća iz nastale smjese (pulpe) centrifugiranjem i prosijavanjem.

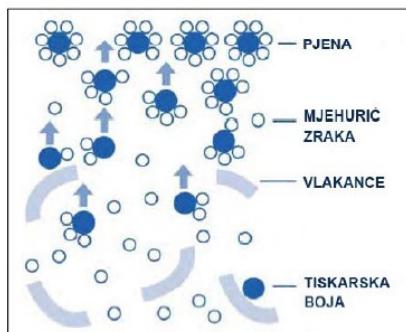
Centrifugiranjem se iz pulpe razrijeđene vodom izdvajaju teže čestice smole, gume, pijeska, metala, gline, polietilena, polistirena, ljepila i boje. Veličina tih čestica kreće se između 0,04 mm i 4 mm. Celulozna vlakanca ostaju u otopini.

Prosijavanje je potiskivanje pulpe kroz otvore ili proze širine do 0,1 mm pod tlakom. Na taj način se iz suspenzije vlakanaca uklanjuju plosnati komadići plastike od omota ili vrećica, razni adhezivi, ljepljive površine i nerazvlaknjeni komadići papira koji zaostaju na situ.

Nakon centrifugiranja i prosijavanja dobiva se pulpa koja je dovoljno kvalitetna za proizvodnju papira tzv. smeđe klase koji se koristi za proizvodnju ambalažnog papira i kartona. Dvije trećine starog papira na području Europske unije koristi se za proizvodnju papira smeđe klase.

Ako se iz recikliranog papira želi proizvesti bijela klasa papira, nakon pročišćavanja se iz pulpe uklanja tinta. Zbog hidrofobnosti te se čestice vežu na mjehuriće zraka koji prolaze razvlaknjrenom suspenzijom i nose ih prema površini. Na površini se stvara pjena puna tinte koja se uklanja. Kako bi se povećala hidrofobnost čestica tiskarske boje, u suspenziju se

dodaju kemikalije (natrijev hidroksid, vodikov peroksid,natrijev silikat, kelatni agensi i kolektori) (Slika 6).



Slika 6: Princip uklanjanja tinte iz pulpe.

Uz opciju naknadnog ispiranja vlakana papira u svrhu odstranjivanja punila i prevlaka, pročišćena pulpa se izbjeljuje i ulazi u proces proizvodnje papira (18).

STAKLO čini otprilike 7% komunalnog otpada. Radi se o prozirnom, amorfnom, čvrstom, krtom i kemijski postojanom materijalu koji se dobiva taljenjem kvarcnog pijeska (SiO_2), sode i vapnenca. Može se beskonačno puta reciklirati. Upotrebom 1 tone starog stakla uštedi se 700 kg pijeska, 200 kg kalcita, 200 kg sode(11) i 345.000 kWh energije (19).

Staklo se proizvodilo već u doba starih Sumerana i Egipćana, no bilo je skupocijeni materijal sve do 20. stoljeća dok Michael Owens nije patentirao stroj za automatsku proizvodnju stakla (20).

Tehnologija recikliranja i proizvodnje staklenih proizvoda

Staklene boce i staklenke prikupljene iz spremnika za staklo se zajedno sa stakлом izdvojenim od ostalog komunalnog otpada u centrima za sortiranje otpada dopremaju u tvornice stakla.

U spremnike za staklo ne smije se odlagati vatrostalno staklo jer mijenja viskoznost smjese u peći za taljenje stakla kao ni prozorsko staklo, ogledala, čaše, posuđe, vase i keramika koji onečišćuju sastav smjese bilo kemijski (21) bilo da su pri temperaturi u peći još uvijek krutine (22).

Postupak recikliranja stakla u tvornici stakla sastoji se od sljedećih koraka:

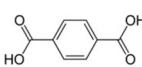
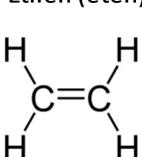
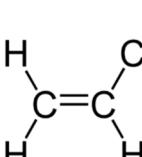
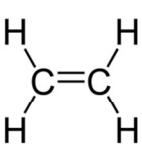
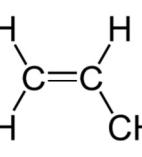
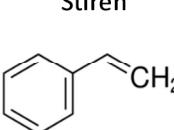
- Sortiranje stakla po boji: prozirno, zeleno, smeđe i plavo. Staklo se odvaja po boji jer različite boje stakla često imaju različit kemijski sastav.
- Magnetsko izdvajanje metala.
- Uklanjanje plastičnih čepova i papira zračnim mlazom.
- Ručno izdvajanje krupnih nečistoća.
- Sušenje stakla vrućim zrakom.

- Strojno uklanjanje kama, porculana, keramike i vatrostalnog stakla na temelju spektroskopske analize materijala (20).
- Usitnjavanje pojedine frakcije stakla drobilicom na željenu veličinu zrna.
- Prosijavanje zbog uklanjanja velikih komada stakla i stranih materijala.
- Dobiveno usitnjeno staklo naziva se staklenim lomom koji se najčešće dodaje kvarcnom pijesku, kalcitu i sodi te ubacuje u peć gdje se spomenuta smjesa tali na 1580°C.
- Iz taljevine se režu užarene staklene kapi i oblikuju u željeni stakleni proizvod uz pomoć raznih kalupa(19).

Proizvodnja staklenih proizvoda nije jedini način kako se staklo može reciklirati. Pomiješano i samljeveno otpadno staklo može se također iskoristiti kao materijal u izgradnji prometnica i podova te proizvodnji pločica (23).

PLASTIKA zauzima otprilike 12% mase i 30% volumena kućnog otpada (9). Zbog svoje lakoće, izdržljivosti i vodonepropusnosti te sposobnosti toplinske i električne izolacije masovno se upotrebljava za širok spektar proizvoda – od ambalaže do automobilske, informatičke i medicinske opreme (Tabela 1) (24).

Tabela 1: Šest najkorištenijih vrsta plastike.

POLIMER	MONOMER	SVOJSTVA POLIMERA	UPOTREBA POLIMERA	MOGUĆNOST RECIKLIRANJA
 PETE Polietilen tereftalat (PET)	Etilen glikol $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ Tereftalna kiselina 	proziran, otporan na mehanička opterećenja, nepropustan za kiseline i atmosferske plinove, nerastezljiv, skup	odjeća, boce za sokove, fotografski film i video vrpce	Lako se reciklira.
 HDPE Polietilen	Etilen (eten) 	nepropustan, veće gustoće, mehanički čvršći, krut, kristalne strukture	boce za mlijeko i vodu, spremnici za benzin, čaše	Lako se reciklira. Proizvodnja plastičnih letvica.
 V Polivinil klorid (PVC)	Vinil klorid 	krut, termoplastičan, nepropustan za ulja i većinu organskih materijala, proziran, otporan na mehanička opterećenja	boce za šampon, crijevo za zalijevanje vrta, mjeđuričasta ambačlaža, vodovodne cijevi	Ne. Također postupno oslobađa toksične ftalate.
 LDPE Polietilen	Etilen (eten) 	neproziran, bijel, mek, rastezljiv, nepropustan za vodenu paru, nereaktivan, adsorbira ulja, mekša pri 100°C, nije lomljiv pri temperaturama višim - 100°C, oksidira na suncu, puca u prisuststvu polarnih otapala	plastične vrećice, igračke, električna izolacija	Da.
 PP Polipropilen	Propilen (propen) 	neproziran, visoko talište (160 - 170°C), čvrst, visoka otpornost na pucanje, mala gustoća, nepropustan za tekućine i plinove, glatke površine	čepovi za boce, ulošci za baterije, tepisi, dijelovi za automobile	Da.
 PS Polistiren	Stiren 	staklast, jasan, krut, lomljiv, temperatura korištenja do 90°C, topljiv u mnogim organskim otapalima	izolacija (stiropor), pokućstvo, čaše, ambalaža	Skupo za reciklirati. Također, potencijalno oslobađa karcinogene stiren i benzen.

Plastika je materijal koji se može oblikovati pod utjecajem topline ili tlaka (25). Po kemijskom sastavu je organski polimer koji se proizvodi iz sirove nafte, zemnog plina, ugljena, soli ili celuloze (26). Prvi put ju je javnosti predstavio Alexander Parks 1862. godine na velikoj međunarodnoj izložbi u Londonu. To je bio materijal dobiven od celuloze koji se zagrijavanjem mogao modelirati (14).

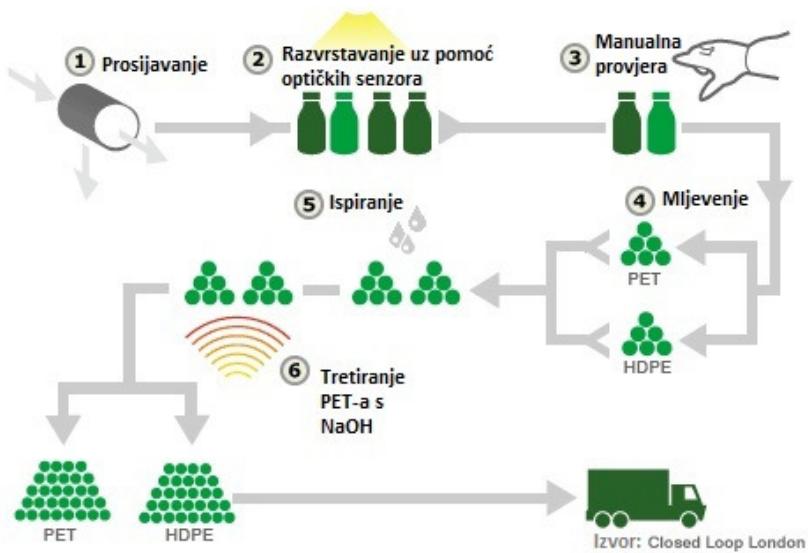
Najčešće se proizvodi iz fosilnih goriva, a za proizvodnju 1 kg polietilen-tereftalata (PETE) potrebno je 1,9 kg nafte. Plastika je vrlo postojana. Vremenski period razgradnje plastike ovisi o vrsti plastike i uvjetima u kojima se nalazi te seže od dva mjeseca (*Biomax* plastika) do neodređeno.

Tehnologija recikliranja i proizvodnje plastičnih proizvoda

Plastika prikupljena iz spremnika za plastiku i izdvojena od ostalog komunalnog otpada u centrima za sortiranje otpada se preša u bale i odvozi do centra za recikliranje plastike.

Slijedi:

- Debaliranje plastike i odvajanje blata i dijela čepova od ostatka plastike prosijavanjem u rešetkastom rotirajućem valjku.
- Magnetno izdvajanje željeza i strujno izdvajanje drugih metala.
- Strojno razvrstavanje različitih vrsta plastike uz pomoć optičkih senzora te ručna provjera razdvojenih frakcija.
- Usitnjavanje odabrane vrste plastike.
- Ispiranje plastičnih komadića vrućom vodom.
- Obrada ovisno o vrsti plastike npr. HDPE se topi, preša i granulira dok se PET tretira natrijevim hidroksidom pri višoj temperaturi kada dolazi do kristalizacije kemikalije kojom se guli površinski sloj polimera.
- Dobiveni materijal je sirovina za proizvodnju novih plastičnih proizvoda (Slika 7) (27).



Slika 7: Recikliranje plastike (PET i HDPE).

METALI čine prosječno 4% komunalnog otpada. U upotrebi su najvećim dijelom željezo, aluminij, bakar, olovo, cink, nikal, titan, kobalt, krom i plemenite kovine. Mogu se beskonačan broj puta reciklirati.

Čelik, legura željeza s ugljikom (do 2,0 %) je materijal koji se najviše reciklira na svijetu (28). Godine 2008. u svijetu od ukupno proizvedenih 1,3 milijarde tona, 500 milijuna tona proizvedeno je recikliranjem čelika (kontejnera, automobila, industrijske mašinerije i građevinskih materijala). U usporedbi s ekstrakcijom željezne rude, recikliranjem željeza smanjuju se emisije CO₂ za 58%, potrošnja energije za 74%, a korištenje vode za 40%. Onečišćenje vode pri proizvodnji metalnih proizvoda korištenjem recikliranog željeza smanji se za 76 %, a onečišćenje zraka za 86%.

Tehnologija recikliranja čelika

Čelik (željezo) se magnetski izdvaja iz ostalog otpada, reže na sitnije komade najčešće acetilenskim plamenom te zbija u kompaktne blokove praktične za transport ljevaonicama i proizvođačima čeličnih proizvoda.

Aluminij je drugi po redu najčešće reciklirani metal. To je također jedini ambalažni materijal koji u potpunosti pokriva svoje troškove prikupljanja i obrade u centrima za reciklažu. Recikliranje aluminija je ekonomski i ekološki održivo te energetski učinkovito. Od ukupno 700 milijuna tona aluminija proizведенog od 1880., 75% je još uvijek u upotrebi u funkciji sekundarne sirovine. U odnosu na proizvodnju aluminija iz rude, recikliranjem aluminija potroši se 95% manje energije (29).

Tehnologija recikliranja aluminija

Aluminij prikupljen iz spremnika za metal ili plastiku i metal te izdvojen od ostalog komunalnog otpada u centrima za sortiranje otpada se odvaja od plastike, preša u bale i odvozi do centra za recikliranje aluminija.

Slijedi:

- Drobiloanje aluminija i magnetsko izdvajanje komponenti željeza iz metalne smjese.
- Uklanjanje površinskog sloja boje upuhivanjem zraka pri temperaturi od 500°C.
- Taljenje pri 700°C.
- Lijevanje u kalupe i hlađenje vodom pri čemu nastaju aluminijске šipke spremne za proizvodnju aluminijskih proizvoda poput limenki, folija, cijevi (30).

Metali poput žive, kadmija, olova, berilija, barija i kroma koji su često dio električnog i elektroničkog otpada (EE) su otrovni u većoj ili manjoj mjeri te se ubrajaju u opasni otpad.

OPASNI OTPAD je svaki otpad koji sadrži tvari štetne za čovjekovo zdravlje i okoliš (9). Te tvari mogu biti eksplozivne, reaktivne, zapaljive, nadražljive, mutagene, kancerogene, teratogene, toksične, infektivne, ekotoksične, oksidirajuće ili u kemijskim reakcijama ili tijekom biološke razgradnje uzrokuju oslobađanje otrovnih plinova (Slika 8) (31). Osim navedenog, u opasni kućni otpad ubrajaju se još stare baterije i akumulatori, boje

i lakovi, organska otapala, jake lužine i kiseline, sredstva za skidanje hrđe, boje ili laka te zaštitu drva, uljni filtri, termometri sa živom, antifriz, boce pod tlakom, ljepila, fotografске kemikalije, mineralna ulja, otpadna motorna ulja i emulzije, zauljeni kruti otpad, građevinski otpad koji sadrži azbest, herbicidi, pesticidi, sredstva za dezinfekciju te stari lijekovi. Industrijski otpad sadrži još tvari koje čine otpad opasnim.



Slika 8: Oznake opasnog otpada na ambalaži proizvoda.

Iako opasni otpad zauzima mali dio komunalnog otpada, ako se pomiješa s ostalim frakcijama, kontaminira ih te nastane velika količina opasnog otpada. Stoga njime treba posebno oprezno postupati – svaki tip opasnog otpada izdvojeno sakupljati, prevoziti, skladištiti i obrađivati u strogo kontroliranim postrojenjima koja posjeduju sve zakonom propisane uvjete i dozvole (9).

BIOOTPAD zauzima najveći dio komunalnog otpada odnosno otprilike 40 %. Čine ga otpatci iz kuhinje i vrta. Najstarija, najjednostavnija i najpraktičnija metoda recikliranja biootpada je kompostiranje. **Kompostiranje** je biološka razgradnja biootpada uz pomoć niza mikroorganizama (bakterije, gljive) i višestaničnih životinja (kukci, gujavice...) u prisutnosti zraka pri čemu nastaju ugljikov dioksid, voda, toplina i kompost bogat nutrijentima bitnim za rast i razvoj biljaka (9).

Prema Strategiji gospodarenja otpadom Republike Hrvatske, 2025. udio odvojeno sakupljenog i recikliranog komunalnog otpada treba biti 25% (32). Primjer dobre prakse je Grad Čakovec (Slika 9).



Slika 9: Reciklažno dvorište ČAKOM u Čakovcu.

U Čakovcu svako kućanstvo koje sudjeluje u odvojenom prikupljanju otpada ima kantu volumena 120 litara. Ukoliko kućanstvo proizvede više od 120 litara otpada, može zatražiti još jednu posudu od komunalnog poduzeća ili pak tu dodatnu količinu otpada plaćati kao posebne vreće te u sklopu toga plaćati i posebne troškove prikupljanja, prijevoza i odvajanja. Kad napuni kantu za otpad, korisnik komunalne usluge ju stavi pred kućni ulaz. Naplata odvoza otpada provodi se na osnovi broja odvoza, a taj se bilježi elektronički. Naime, svaka kanta je opremljena radiofrekventnim identifikatorom kojeg registrira i očita vozilo za prikupljanje otpada točno bilježeći koliko određeni korisnik proizvodi otpada.

Čakovec reciklira 60 % svog komunalnog otpada, čime je dostigao ciljeve Europske unije i osjetno smanjio količinu otpada koja se odlaže na odlagalište. Ostatak se zbrinjava na odlagalištu u Totovcu (Slika 10).



Slika 10: Sortirnica Totovec.

Biootpadi Međimurske županije može se kompostirati u kompostani (Slika 11), a građevinski otpad odlagati u privatnom reciklažnom dvorištu za građevinski otpad (Slika 12).



Slika 11: Kompostana.



Slika 12: Reciklažno dvorište za građevinski otpad.

U Međimurskoj županiji smjestila se i uspješna domaća obiteljska kompanija Tehnix d.o.o. koja se između ostalog bavi i projektiranjem, proizvodnjom te servisiranjem strojeva i opreme koja se koristi u gospodarenju komunalnim otpadom. Proizvode sortirnice otpada, mobilne kontejnere za odvojeno prikupljanje otpada i proizvode slične namjene (Slika 13).



Slika 13: Proizvodi tvrtke Tehnix.

Energetska uporaba otpada

Energetska uporaba je jedan od posljednjih koraka u hijerarhiji postupanja otpadom, ali ujedno i vrlo bitan korak budući da se prema važećim zakonima otpad više ne smije neobrađen odlagati na odlagališta. Podrazumijeva iskorištavanje energije pohranjene u otpadu - kemijske energije gorivih sastojaka otpada. Kad bi se sav komunalni otpad u Hrvatskoj na takav način iskorištavao, s pretpostavkom prosječne ogrjevne moći od 7,5 MJ/kg, zadovoljilo bi se nešto manje od 3% ukupnih potreba za energijom. Energetskom uporabom otpada uništavaju se materijali i sirovine koji bi se mogli drugačije iskoristiti, a utjecaj na zdravlje i okoliš može biti negativan ukoliko se ne poštuju propisi, no također pridonosi:

- smanjenju ukupne mase (za 75%) i volumena otpada (za 90%),
- smanjenju emisija stakleničkog plina metana koji se oslobađa na odlagalištima otpada (1-1,5 t CO₂eq/t otpada),
- uništavanju patogenih mikroorganizama i toksičnih organskih tvari (termičkom obradom) te
- smanjenju potrošnje drugih izvora energije.

Otpad kao energet može se koristiti u obliku dobro izmiješanog slučajnog uzorka komunalnog otpada ili određene njegove frakcije. Gorive komponente otpada mogu se izdvojiti od negorivih kao što su staklo, metal i kamen, te oblikovati u pelete s nižim udjelom pepela i vlage. Njihova ogrjevna moć je 15 MJ/kg u odnosu na prosječno 7,5 MJ/kg rasutog komunalnog otpada. Nazivaju se *gorivo iz otpada* (GIO).

Postoje dva osnovna načina energetske uporabe otpada:

1. mehaničko-biološka i
2. termička obrada otpada.

Mehaničko-biološkim načinom obrađuje se otpad s višim udjelom organske (biorazgradive) tvari i vlage. Mehanička obrada podrazumijeva usitnjavanje, drobljenje, mljevenje, prosijavanje i druge fizikalne (npr. elektromagnetske) metode separacije. Biološka obrada uključuje aerobne ili anaerobne mikroorganizme. Najčešći tip biološke obrade otpada je anaerobna digestija kojom se razgrađuje organska tvar i oslobađa bioplinskim gasima (65%), ugljikovog dioksida(30%) i vodika, dušika, amonijaka, sumporovodika, ugljikovog monoksida, kisika i vodene pare. Koristi se za proizvodnju energije. Suhi nusprodot anaerobne digestije se može koristiti kao sredstvo za kondicioniranje tla (3).

Bioplinsko postrojenje u Beču

U ovom se postrojenju mehanički i biološki obrađuje kuhinjski otpad iz kućanstava, kantine i restorana, ostaci hrane s tržnica i hrane kojoj je prošao rok trajanja (Slika 14). Ono godišnje iskoristi otprilike 17.000 tona kuhinjskog otpada za proizvodnju 1.7 milijuna kubičnih metara bioplina s udjelom metana od oko 70%. To je dovoljno da bioplinskom opskrbi otprilike 900 kućanstava. Sporedni proizvod procesa je kompost koji se koristi u poljoprivredi (33).



Slika 14: Bioplinsko postrojenje u Beču.

Kuhinjski otpad zaprema se u krutom i tekućem obliku. Iz krutog otpada se grabilicom izdvajaju veći neželjeni predmeti, a ostatak se reže na komade promjera do 200 mm kojima se dodaje voda kako bi nastala suspenzija s udjelom suhe tvari od 8 do 12%. Suspenziji se dodaje tekući kuhinjski otpad sa samljevenim komadićima promjera 40 mm (34). Iz suspenzije se izdvajaju plastika i razna vlakna koja plutaju na površini te pjesak i staklo koji se talože. Plastika i vlakna spaljuju se u susjednoj spalionici otpada (Pfaffnau). Dobro miješana suspenzija se potom odvodi u metalne spremnike i zagrijava na temperaturu od 70°C u trajanju od oko sat vremena, kako bi se uništili neki mikroorganizmi i inaktivirali određeni enzimi. Nakon toga se hlađi na temperaturu od 37 do 40°C koja je prikladna za mezofilnu anaerobnu digestiju. Mikroorganizmi koji su aktivni pri toj temperaturi bez prisustva kisika 20 dana hidrolitički (cijepanjem molekula djelovanjem vode) razgrađuju makromolekule na organske kiseline i bioplín, pritom smanjujući ukupni volumen organske tvari. Budući da bioplín sadrži sumporovodik koji je vrlo nagrizajući plin, potrebno ga je ukloniti, a uklanja se kontroliranim dovođenjem male količine zraka koja omogućuje sumpornim bakterijama (npr. roda *Thiobacillus*) oksidirati sumporovodik u elementarni sumpor i smanjiti koncentraciju sumporovodika u bioplínzu za 95% (35). Nakon odvodnje bioplína, preostala suspenzija se centrifugira. Dobiveni talog se koristi za proizvodnju komposta, a voda se koristi u narednom ciklusu obrade kuhinjskog otpada (34).

Bioplinsko postrojenje u Stremu



Slika 15: Bioplinsko postrojenje u Stremu.

Bioplín dobiven anaerobnom digestijom organske tvari može biti emergent za kogeneracijsku elektranu-toplanu. Primjer je bioplinsko postrojenje u **Stremu** u Austriji (Slika 15). U optimalnom slučaju emergent za ovakvu vrstu elektrane-toplane bili bi otpaci iz poljoprivrede, no zbog zapuštanja mnogih pašnjaka i oranica, općina Strem odlučila je uzgajati djetelinu, kukuruz, suncokret i razne vrste trava (*Poaceae*) za lokalnu proizvodnju električne i toplinske energije.

Nakon žetve, kukuruz i razne vrste trava se odlažu u silos. Ocjedne i procjedne vode iz silosa dovode se u cilindrični betonski spremnik koji se naziva digestorom. U prvi od dva digestora dnevno se ubacuje otprilike 25 tona silaže i dovodi tekuća frakcija smjese iz drugog digestora kako bi se razrijedila silaža i omogućio dobar kontakt između nje i mikroorganizama. Učinkovitost anaerobne digestije dodatno se potiče strojnim miješanjem smjese. U digestoru su osigurani anaerobni termofilni uvjeti (49,5°C). Nastali bioplín se odvodi do generatora, a preostala suspenzija se prebacuje u drugi digestor. U drugom digestoru također se stvara bioplín i iskorištava za proizvodnju električne i toplinske energije. Trideset posto suspenzije iz drugog digestora vraća se u prvi digestor te se tako osigurava recikliranje vode i mikroorganizama. Ostatak suspenzije koristi se kao gnojivo u poljoprivredi (36). Električna snaga kogeneracijske elektrane – toplane je 500 kW, a toplinska 600 kW (37).

Termički se obrađuje široki spektar kategorija otpada s nižim udjelom vlage. Obrada uključuje tehnologije izgaranja, pirolize i rasplinjavanja.

Izgaranje je proces potpune termičke degradacije tvari u prisustvu velike količine kisika kako bi gorivo potpuno oksidiralo do ugljikovog dioksida i vodene pare ostavljajući samo mali dio ugljika u pepelu (manje od 3 % masenog udjela pepela). Iako najstarija, danas je izgaranje još uvijek najčešća tehnologija za termičku obradu otpada (1) na kojoj se temelji i najveća bečka spalionica otpada.

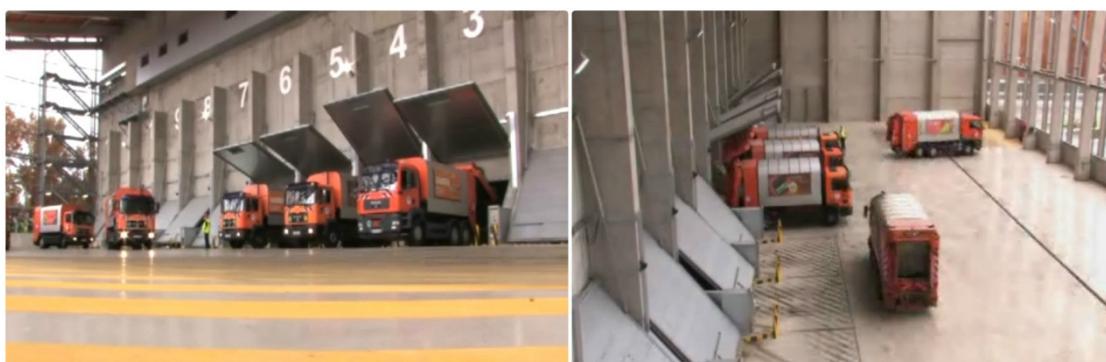
Spalionica otpada Pfaffenau

U Beču se godišnje proizvede otprilike 1 milijun tona otpada. Više od 350.000 tona se razvrstava i reciklira, a 600.000 tona preostalog otpada, uključujući i glomazni otpad, spaljuje se u ukupno četiri spalionice otpada odnosno kogeneracijske termoelektrane-toplane (38). Najveća od njih je Spalionica otpada Pfaffenau (SO Pfaffenau) s prihvativim kapacitetom za 250.000 tona otpada godišnje (Slika 16). SO Pfaffenau opskrbljuje električnom energijom oko 25.000 kućanstava, a toplinskom njih oko 50.000.



Slika 16: Spalionica otpada Pfaffenau.

Kamioni lokalnog komunalnog poduzeća svakodnevno dovezu oko 770 tona otpada u SO Pfaffenau. Nakon vaganja, otpad se otpad kroz jedan od dvanaest otvora u spremnik za otpad SO-a. Svaki otvor ima poklopac kako bi se spriječilo širenje neugodnih mirisa i prašine susjedstvom (Slika 17).



Slika 17: Istovar otpada u spremnik SO Pfaffenau.

Spremnik za otpad SO Pfaffenau je 72 metra dugačak, 15 m širok, ukupnog volumena 18.000 m³. U spremniku se otpad miješa i potom ubacuje u kotao uz pomoć velike grabilice kojom upravlja operater (Slika 18).



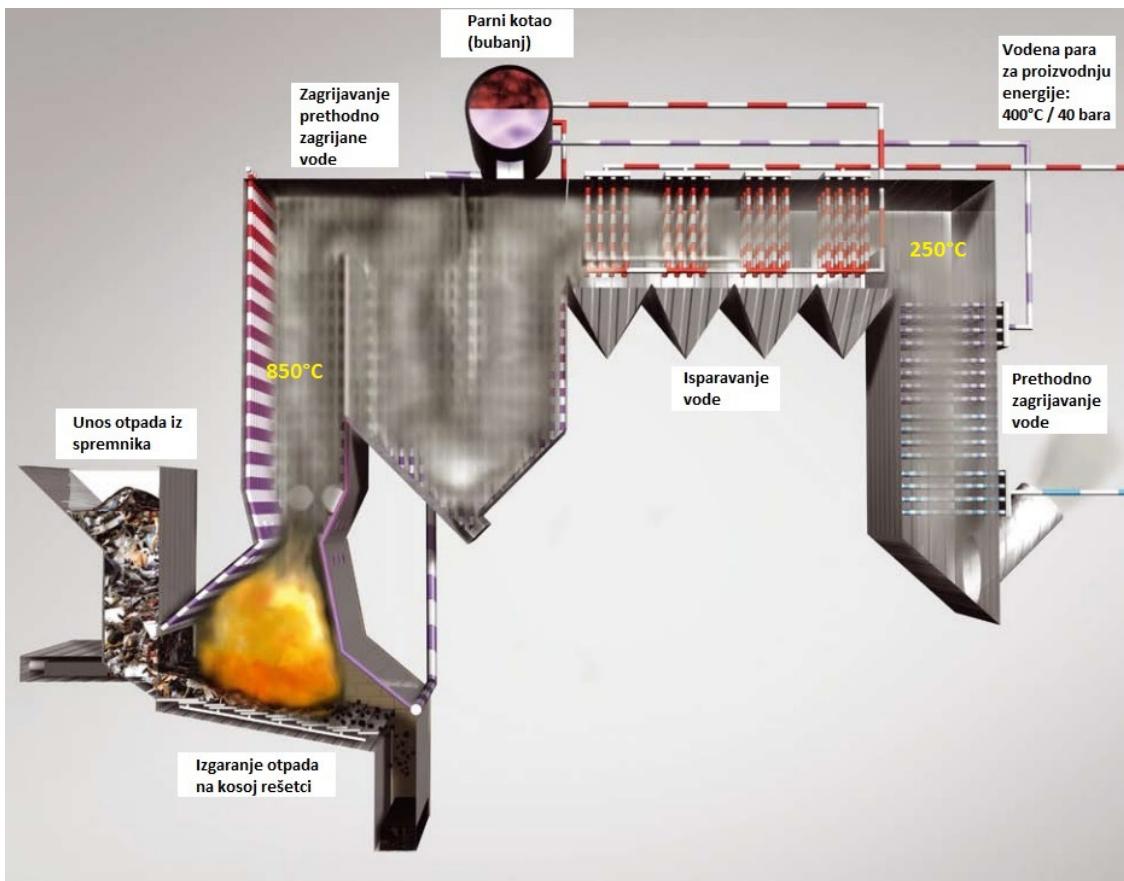
Slika 18: Upravljanje grabilicom i utovar promiješanog otpada u peć.

Otpad pada na kosu pokretnu rešetku na dnu peći kroz čije otvore ulazi zrak i omogućava izgaranje (Slika 19). Izgaranjem miješanog otpada oslobađa se 11 MJ/kg. Budući da je potrebno otprilike 1 sat da otpad izgori na temperaturi od 1000°C , izmjenjuju se faze mirovanja i pomicanja kose rešetke. U fazi pomicanja rešetke u peć se unosi novi otpad, a iz peći se odnose nezapaljive komponente nataložene na rešetci. Taj nezapaljivi talog čine šljaka, pepeo, metali i kamen. Nakon izlaska iz peći, metali se magnetski izdvajaju iz ohlađenog taloga i šalju metalnoj industriji. Šljaka se zajedno s pepelom koristi za proizvodnju cementa.



Slika 19: Peć za izgaranje otpada na kosoj rešetci.

Dimni plinovi temperature 850°C izlaze iz peći, prolaze kroz izmenjivače topline i svoju toplinu vodi predaju u cijevima (Slika 20). U prvom izmenjivaču topline cijevi s prethodno zagrijanom vodom nalaze se u zidovima komore kojom prolaze dimni plinovi. Ovako dodatno zagrijana voda odlazi u kotao odakle se preusmjerava u cijevi drugog izmenjivača topline. One višestruko ispresijecaju komoru kojom prolaze dimni plinovi. Na taj način povećana je površina za izmjenu topline te dolazi do isparavanja vode. Vodena para temperature 400°C pod tlakom od 40 bara odvodi se do parnih turbina i iskorištava za proizvodnju električne energije. Dimni plinovi ohlađeni na 250°C prolaze još jednim izmenjivačem topline gdje zagrijavaju vodu koja tek ulazi u sustav. Na ovaj način toplina proizvedena izgaranjem otpada maksimalno se iskorištava.



Slika 20: Generator pare.

Vodena para odvedena iz generatora pare pogoni parnu turbinu. Proizvedena mehanička energija se potom u generatoru pretvara u električnu energiju koja se predaje u električnu mrežu. Vodena para se iz turbine odvodi prema izmjenjivaču topline gdje se kondenzira pritom predajući oslobođenu toplinu vodi koja se crpkama prenosi u toplinsku mrežu Grada Beča. Ukupna energetska učinkovitost postrojenja je 76%.

Kako bi ispušni plinovi OS Pfaffenau zadovoljavali najviše zdravstvene i ekološke standarde, dimni plinovi se pročišćavaju u četiri koraka.

- 1) Uklanjanje prašine iz dimnih plinova u elektrostatskom taložniku provodi se na način da se prolaskom kroz taložnik čestice prašine električki negativno nabijaju djelovanjem emisijskih elektroda te pod utjecajem visokonaponskog elektrostatskog polja talože na pozitivno nabijene ploče (taložne elektrode). Talog se periodički uklanja trešnjom taložnih elektroda ispod kojih su posude u kojima se nakuplja prašina. Ta prašina zbrinjava se kao i šljaka.
- 2) Uklanjanje toksičnih tvari ispiranjem vodom i vapnenim mlijekom (Slika 21). Vodom se uklanjuju klor i fluor, najčešće produkti izgaranja plastičnog otpada te teški metali poput žive. Vapnenim mlijekom odnosno suspenzijom kalcijevog hidroksida u vodi uklanja se sumporov dioksid pri čemu nastaje suspenzija gipsa. Otpadne vode nastale prilikom ispiranja se primjерено pročišćavaju unutar pogona OS Pfaffenau prije puštanja u gradski sustav odvodnje. Sporedni proizvodi pročišćavanja ovih voda su talog s toksičnim tvarima koji se odlaže u rudnike soli (39) te gips koji se koristi u građevinarstvu i industriji papira, tekstila, gume i boja (40).



Slika 21: Ispiranje ispušnih plinova vodom (lijevo) i vapnenim mlijekom (desno).

- 3) Uklanjanje organskih onečišćujućih tvari poput dioksina i furana, teških metala i fine prašine provodi se adsorpcijom na aktivni porozni koks površine $300 - 400 \text{ m}^2$. Iskorišteni koks se svakodnevno zamjenjuje nekorištenim i odlaže se kao opasni otpad.
- 4) Uklanjanje dušikovih oksida ostvaruje se putem reakcije s amonijakom otopljenim u vodi pri čemu na površini keramičkog katalizatora nastaju dušik i vodena para. Procesu prethodi hlađenje dimnih plinova na temperaturu od 180°C prolaskom kroz još jedan izmjenjivač topline.

Pročišćeni dimni plinovi SO Pfaffenau sadrže 90% manje prašine od dopuštene granice. Kvaliteta ispušnih plinova se kontinuirano prati odgovarajućim mjernim instrumentima i dokumentira (39).

Piroliza (otplinjavanje) je termička degradacija tvari bez prisustva kisika pri čemu nastaju sintetski plin (smjesa ugljikovog monoksida, vodika, metana i viših ugljikovodika, uključujući katran, parafine i ulja) i negorivi kruti ostatak. Temperature su relativno niske i kreću se između 300 i 800°C . Ogrjevna moć sintetskog plina iz pirolize je $10-20 \text{ MJ/m}^3$ (3).

Rasplinjavanje (gasifikacija) je postupak djelomične termičke degradacije tvari u prisustvu kisika, ali s nedovoljnom količinom kisika da bi gorivo u potpunosti oksidiralo. Plin poput zraka ili vodene pare koristi se kao izvor kisika i služi kao plin-nosilac za uklanjanje produkata reakcije s mjesto reakcije. Proizvodi su sintetski plin (metan, vodik i ugljikov monoksid) ogrjevne moći $10-15 \text{ MJ/m}^3$ i negorivi kruti ostatak. Proses se odvija pri temperaturama obično iznad 750°C .

Elektrana na biomasu u Güssingu

U procesu gasifikacije mogu se koristiti razni otpaci (iz drvne industrije, iz pročišćavanja otpadnih voda ili odbačena hrana) kao energenti za dobivanje električne i toplinske energije. Prva komercijalna kogeneracijska elektrana - toplana s brzim interno cirkulirajućim fluidiziranim slojem je elektrana na biomasu u **Güssingu** sagrađena 2001. godine (Slika 22). Električna snaga postrojenja je 2 MW, a toplinska 4,5 MW.



Slika 22: Elektrana na biomasu u Güssingu

Postrojenje svakodnevno prima 60 tona usitnjene biomase s 20 % vlage. Bazira se na procesu učinkovitijem od izgaranja, a to je rasplinjavanje.

- Biomasa ulazi u prvi reaktor s fluidiziranim slojem u koji se ubrizgava vodena para temperature 400°C te dolazi do rasplinjavanja u anaerobnim uvjetima pri temperaturi od 850°C . Drugim riječima, lomi se kompleksna polimerna struktura biomase da bi se razvio sintetski plin (smjesa vodika, ugljikovog monoksida i ugljikovog dioksida) te kruti ostatak kao nusprodukt. Ukoliko je emergent drvna

masa, kruti ostatak je drveni ugljen. Fluidizirani sloj je olivin - pjesak koji sadrži nikal i krom. Ima ulogu katalizatora i medija za prijenos topline. Također održava temperaturu u reaktoru stabilnom.

- Smjesa pjeska i produkti reakcije uzdižu se unutar reaktora i prelaze u ciklon gdje se sintetski plin odvaja od pjeska i krutine koji padaju u drugi reaktor s fluidiziranim slojem gdje krutine izgaraju.
- Sintetski plin se hlađi u izmjenjivaču topline predajući toplinu lokalnom toplovodu te potom pročišćava prolaskom kroz filtre i ispiranjem.

Dobiveni sintetski plin može se iskoristiti za:

- proizvodnju električne i toplinske energije ,
- proizvodnju bioplina i
- sintezu goriva, točnije dizela i kerozina, uz pomoć katalizatora pri određenoj temperaturi i tlaku postupkom koji se naziva Fischer-Tropsch sinteza (41).

Odlaganje otpada na odlagalište

Posljednji korak postupanja s otpadom je njegovo odlaganje na odlagalište. Odlagalište otpada ili deponij je građevina namijenjena odlaganju otpada na površinu ili pod zemlju (4). S obzirom na vrstu otpada koja se odlaže na odlagalište, razlikuju se tri tipa odlagališta otpada:

- odlagališta za opasni otpad,
- odlagališta za neopasni otpad i
- odlagališta za inertni otpad.

Komunalni i industrijski otpad koji ne posjeduje karakteristike opasnog otpada odlaže se na odlagališta za neopasni otpad (4). Prema podacima Agencije za zaštitu okoliša, u razdoblju od 2005. do 2014. godine 97% odlagališta otpada u Hrvatskoj bilo je namijenjeno odlaganju komunalnog otpada (42). Na takva odlagališta otpada odlaže se kruti otpad iz domaćinstava, trgovina, ureda, ulica i talog septičkih jama (Slika 23) (43).



Slika 23: Odlagalište otpada Totovec.

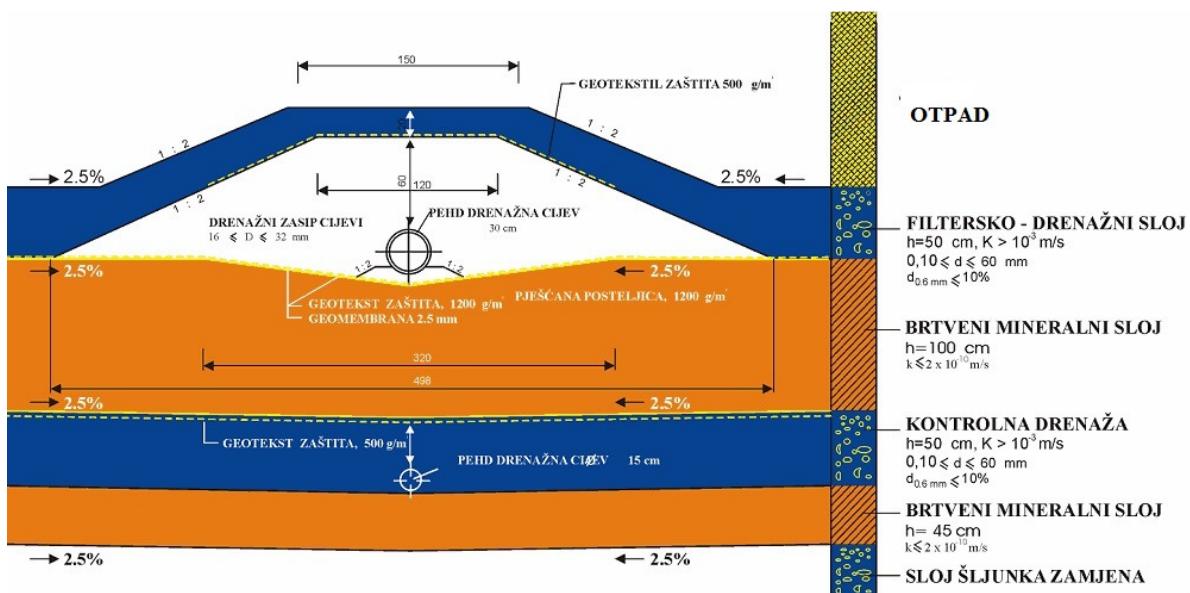
Budući da odložen otpad može onečistiti i zagaditi površinske i podzemne vode, tlo, zrak, ugroziti zdravlje ljudi i pridonijeti efektu staklenika čak i nakon prestanka rada (44), potrebno je propisno i promišljeno graditi odlagalište otpada.

Odlagalište komunalnog otpada treba biti smješteno ni predaleko ni preblizu naselju kako bi troškovi transporta otpada bili prihvatljivi, a neugodni mirisi, prašina i buka ne bi negativno utjecali na kvalitetu življenja u naselju. Površina odlagališta treba biti dovoljno velika za prihvat otpada u predviđenom roku te mora biti dovoljno tla za dnevno prekrivanje otpada. Naime, otpad se svakodnevno razastire u tankom sloju i sabija teškim strojevima (kompaktorima), a na kraju dana prekriva slojem zemlje. Tako se kukcima, glodavcima i drugim životinjama ograničava pristup otpadu, smanjuje mogućnost pojave požara te širenje neugodnih mirisa (4). Topografske, geološke i hidrološke karakteristike terena trebaju biti

takve da utjecaj odlagališta na okoliš bude minimalan. Idealne su visoravni i blage padine, vodonepropusni teren (gline, škriljci) i što niža razina podzemnih voda, s čim manjim oscilacijama. Razina podzemnih voda prati se u okolini odlagališta mjernim uređajima postavljenim na dubinu od 6 m ispod najniže točke odlagališta. Podzemne vode ispod odlagališta otpada se ne koriste za vodoopskrbu zbog mogućnosti prodiranja procjednih voda iz odlagališta (43). Procjedne vode su sve vode (oborinske, površinske i podzemne) koje dođu u kontakt s odloženim komunalnim otpadom (4). Procjedne vode potencijalno sadrže organske i anorganske otrove poput kloriranih ugljikovodika i fenola te arsena, kadmija, olova, kroma i nikla.

Kako bi se okoliš zaštitoio od štetnog djelovanja procjednih voda, u propisno uređenim odlagalištima otpad se odlaže na vodonepropusnu podlogu (Slika 24, 44) koja se sastoji od više slojeva koji se međusobno izmjenjuju:

- vodonepropusni sloj gline, plastične folije, asfalta ili bitumena,
- vrlo slabo propusna sintetička geomembrana i geotekstil koji ju štiti od mehaničkih oštećenja (45) i
- drenažni sloj šljunka u kojem se nalaze cijevi za odvod procjednih voda sa sitnim rupicama (44).



Slika 24: Vodonepropusna podloga odlagališta otpada.

Nakon što se na vodonepropusnu podlogu naslagao određen broj slojeva otpada, zadnji sloj prekriva se vodonepropusnim pokrovom koji se sastoji od više prirodnih i umjetnih slojeva:

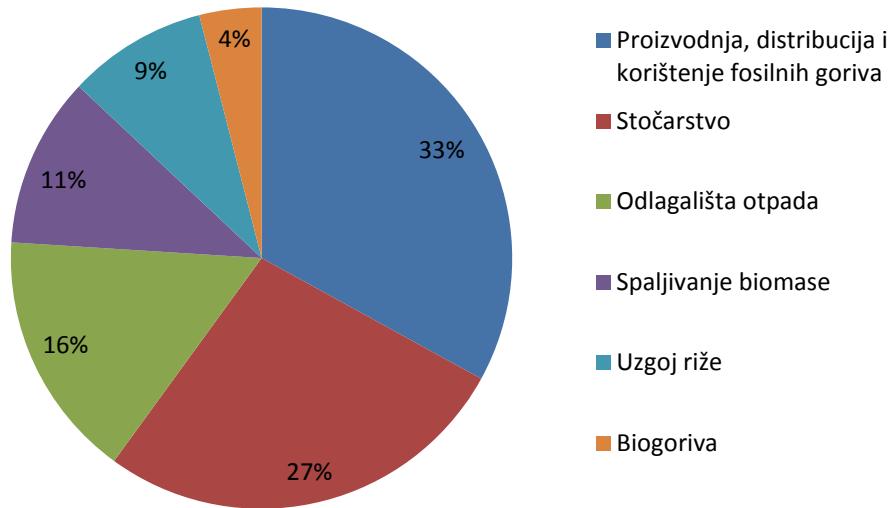
- plinodrenažnog sloja (30 cm) inertnog materijala poput šljunka koji dolazi na površinu otpada,
- vodonepropusnog sloja geokompozita ili gline (80 cm),
- geodrena (sloja umjetnog drena) i
- pokrovnog sloja humusa (80 cm) (4).

Pokrov takozvanog tijela odlagališta sprječava prodiranje oborinskih voda u odloženi otpad i omogućava njihovu sigurnu odvodnju (4) i korištenje u tehnološkom smislu (44).

Procjedne vode se prikupljaju cijevima u drenažnim slojevima vodonepropusne podloge i pročišćavaju ili rasprskavanjem po odlagalištu radi isparavanja vode. Njihov sastav i količina se mijenjaju s vremenom.

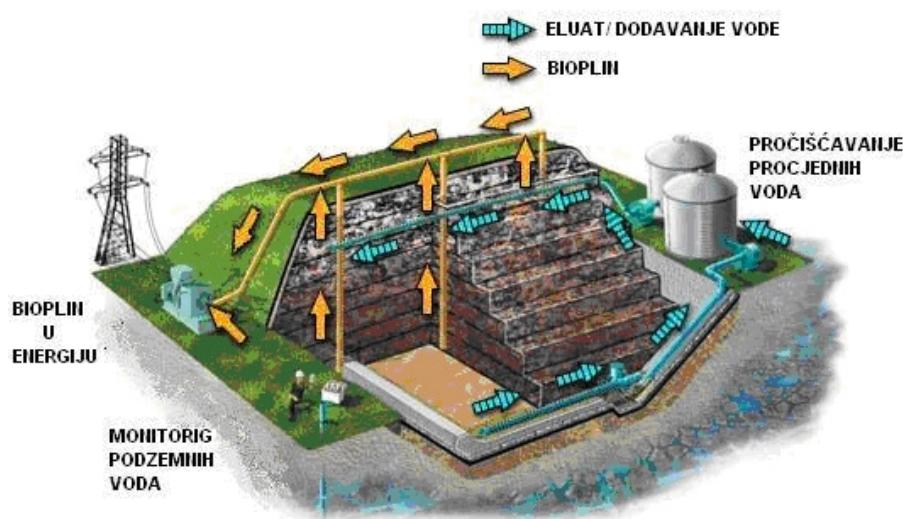
Tijelo odlagališta otpada je bioreaktor u kojem se odvijaju različiti fizički, kemijski i biološki procesi čiji glavni produkt je, osim procjedne vode, biopljin (deponijski plin). Na početku su biološke reakcije aerobne, no zatrpanjem otpada novim otpadom i pokrovnim slojem postaju anaerobne što je okruženje idealno za proizvodnju bioplina budući da je otpad dovoljno vlažan. Sastav i količina bioplina mijenja se s vremenom, no proizvodnja je najveća u prvih 10 do 30 godina otpada (43).

Metan, sastavni dio bioplina, staklenički je plin s 25 puta većim stakleničkim potencijalom nego ugljikov dioksid (46). Prema informacijama bečkog *Instituta za upravljanje otpadom*, metan u značajnoj mjeri difundira iz odlagališta otpada u atmosferu (Slika 25) (47).



Slika 25: Sektorski doprinos emisijama metana.

U doticaju metana sa zrakom može doći do eksplozije ako je volumni udjel metana 5 do 14% (48). Stoga treba pripaziti na kretanja metana unutar odlagališta otpada, a najboljim se pokazalo kontrolirano iskorištavanje bioplina za dobivanje energije. Sustav za otplinjavanje tijela odlagališta sastoji se od perforiranih horizontalnih cijevi postavljenih u drenažne slojeve, vertikalnih cijevi i vodova (Slika 26) (50). Nakon što se skupi, deponijski biopljin se pročišćava od fluoriranih i kloriranih ugljikovodika, sumporovodika, čestica i vlage, tlači i iskorištava za dobivanje električne i toplinske energije. Ogrjevna vrijednost deponijskog plina kod odnosa CH₄ 52,6% i CO₂ 43,5 % iznosi 21 MJ/m³ (49).



Slika 26: Sustav za otplinjavanje Županijskog centra za gospodarenje otpadom „Kaštjun“.

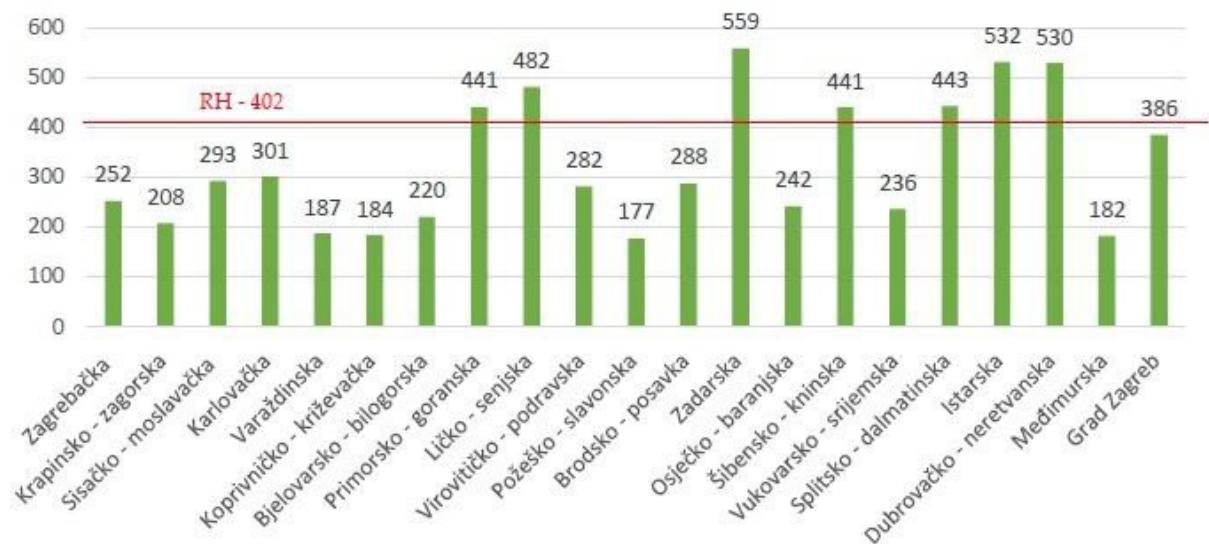
Nakon zatvaranja odlagališta ne staju momentalno i kemijsko - fizikalni procesi u tijelu odlagališta. Rezultat toga je smanjenje volumena odloženog otpada i slijeganje pokrovnog sloja odlagališta. S vremenom potpuno inertan komunalni otpad postiže gustoću od 1300 kg/m^3 (42). Monitoring odlagališta provodi se u trajanju od približno 30 godina nakon njegovog zatvaranja. Većina zatvorenih odlagališta prenamjenjuje se u prostore za rekreaciju.

U Hrvatskoj se komunalni otpad organizirano prikuplja od otprilike 96% stanovništva. Usprkos tome, postoji približno 3.000 divljih odlagališta otpada. Službenih je odlagališta otpada ukupno 148 od kojih samo dvadesetak odgovaraju propisanim uvjetima (43).

Ideje za rad s učenicima

Teme za raspravu

1. Što je otpad?
2. Pogledajte grafički prikaz: Količina prikupljenog komunalnog otpada u Hrvatskoj po stanovniku i županiji.



Zbog čega takav nesrazmjer? Stanovnici kojih županija nadmašuju prosjek Hrvatske i zašto?

3. Proučite red prvenstva gospodarenja otpadom u EU. Imate li kakvu bolju ideju? Objasnite!
4. Zašto reciklirati?
 - čuvamo prirodu i prirodne resurse,
 - smanjujemo onečišćenje zraka, vode i tla,
 - štedimo energiju,
 - smanjujemo količinu otpada na odlagalištima otpada,
 - otvaramo nova radna mjesta....
5. Zašto razvrstati otpad prije prerade materijala?
6. Kupujete li reciklirane proizvode? Ako ne, zašto ne? Ako da, koje?
7. Organizirati debatu na temu *Aktualni prijedlozi za gospodarenje otpadom (ni)su dugoročno održivi?* (<http://zg-magazin.com.hr/aktualni-prijedlozi-za-gospodarenje-otpadom-nisu-dugorocno-odrzivi/>). Podijeliti učenike u dvije skupine oprečnih mišljenja, zadati im da dodatno istraže aktualne politike gospodarenja otpadom (koji su izazovi i prijedlozi rješenja) i debatiraju o tom u opuštenom ili zadanim (npr. <http://hdd.hr/wordtest/debatni-prog/formati-debate/>) formatu.
8. Ako se otpad u propisnom odlagalištu otpada nalazi između vodonepropusne podloge i pokrova, od kud procjedne vode?

Samostalan rad

- Kako izgleda Möbiusova petlja u 3D?

Izradite vlastitu Möbiusovu petlju od papira.



<https://www.youtube.com/watch?v=IRVOwuHU-M0>

- Istraži i prezentiraj tehnološki proces reciklaže papira.
- Istraži i prezentiraj tehnološki proces reciklaže stakla.
- Istraži i prezentiraj tehnološki proces reciklaže plastike.
- Istraži i prezentiraj tehnološki proces reciklaže aluminija.

Timski rad

- Napravite vlastiti kompost prema uputama na sljedećim korisnim web stranicama:

- <http://www.cistoca-ri.hr/Pocetna/Djelatnost/Odrzavanje-zelenih-povrsina/Kompostiranje.aspx>
- http://www.vgcistoca.hr/docs/Vodic_kompostiranje.pdf
- [http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/zelena-akcija.production/document_translations/957/doc_files/original/UPUTE_ZA_KOMPOSTIRANJE_U_KANTI.pdf?1418670788](http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/zelena-akcija.production/zelena_akcija/document_translations/957/doc_files/original/UPUTE_ZA_KOMPOSTIRANJE_U_KANTI.pdf?1418670788)

Zadaci

- Izračunaj koliko godišnje tvoje kućanstvo proizvede otpada po vrsti otpada u kg!

Za ovaj zadatak učenici trebaju napraviti istraživanje u kućanstvu i zabilježiti:

Masa po vrsti otpada koje u svom kućanstvu odlažu kroz 7 dana.

Vrsta OTPADA	Masa
Miješani otpad (odlagalište)	
Papir (reciklaža)	
Staklo (reciklaža)	
Metal (reciklaža)	
Kompost (reciklaža)	
PET ambalaža (reciklaža)	
Ostala plastika (reciklaža)	

Nakon toga treba izračunati:

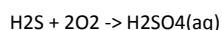
- Koliko iznose godišnje količine otpada po vrsti u kg? Koliki su maseni udjeli pojedinih vrsta otpada (%)? Usporedite ih s hrvatskim prosjekom!
- Koliko masenog udjela u % se reciklira, a koliko odlazi na odlagalište?

- Prosječna molarna masa polietilena je 84,500 g. Koliko je monomera prisutno u ovom polimeru?

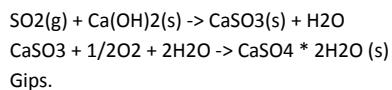
-
3. Da bi se proizvela 1 tona aluminija u Hrvatskoj, potrebno je otprilike 14 000 kWh električne energije. Izračunaj kolika je neizravna emisija CO₂!

Emisijski faktor za električnu energiju u Hrvatskoj je 0,323 kg/kWh. Faktor označava kolika je izravna ili neizravna emisija za različite energente. U slučaju električne energije taj faktor se računa za pojedine zemlje i on ovisi o tzv. energetskom miksu, tj. na kakav način se dobiva električna energija u pojedinoj zemlji. Ako se radi pretežno o termoelektranama na fosilna goriva onda će faktor biti veći, ako se radi o obnovljivim izvorima energije – hidroelektranama, vjetroelektrana i sl. onda će faktor biti manji.

4. Prilikom proizvodnje biološke obrade otpada u mezofilnim anaerobnim uvjetima nastaje biopljin koji je smjesa metana, ugljikovog dioksida i sumporovodika. S obzirom da je sumporovodik nagrizajuća tvar, prije puštanja bioplina u opticaj, sumporovodik oksidiraju bakterije roda Thiobacillus. Napišite jednu od mogućih jednadžbi oksidacije sumporovodika! Što je produkt ove reakcije? Kojeg je agregatnog stanja?



5. Pročišćavanje dimnih plinova koji su nastali prilikom izgaranja otpada sumporov dioksid se ispire u reakciji s vapnenim mlijekom. Napišite i izjednačite kemijsku reakciju. Koji kemijski spoj je produkt reakcije? Koja su njegova svojstva i za što se može koristiti?



6. Izračunaj koliko je energije potrebno da bi se 1000 L vode temperature 12°C zagrijalo na 100°C!

$$Q = m * c * \Delta t$$

Specifični toplinski kapacitet vode je 4,186 J/kgK

7. Izračunaj koliko energije može proizvesti bioplinsko postrojenje na silažu, ako je poljoprivredna površina iz koje se dobiva silaža 25 ha?

Literatura

1. Zakon o održivom gospodarenju otpadom, Narodne novine, 94/13
2. M. Juračić: *Otpad i odlagališta otpada*,
https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/07_Odlagalista_otpada.pdf
3. S. Dobrović, D. Schneider: *Energija iz otpada*,
<http://marjan.fesb.hr/~fbarbir/PDFs%20Obnovljivi%20izvori/Dodatni%20materijali%20i%20predavanja/Otpad%20Dobrovic%20Schneider%20CTT.pdf>
4. D. Barković: *Automatsko razvrstavanje otpada*, diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2015.
5. Okvirna direktiva o otpadu, 2008/98/EC
6. Direktiva o odlagalištima otpada (1999/31/EC)
7. Original Unverpackt: *Der erste Laden*, <http://original-unverpackt.de/supermarkt/>
8. Privredna banka Zagreb: *Utjecaj na okoliš*, <https://www.pbz.hr/hr/utjecaj-na-okolis>
9. In My Back Yard projekt: Pravilno postupanje s otpadom, Velika Gorica, 2015.,
<http://imby.hr/project/edukativna-brosura-2/>
10. Komunalno poduzeće Križevci d.o.o.: *Zeleni otoci*, <http://komunalno.hr/cistoca/zeleni-otoci>
11. Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada, NN 50/05 i NN 39/09
12. Agencija za zaštitu okoliša: *Upute i pojmovnik za određivanje otpada prema Katalogu otpada*, Zagreb, 2012
13. V. Simončić, Z. Milanović: *Aktualni prijedlozi za gospodarenje otpadom (ni)su dugoročno održivi?*, <http://zg-magazin.com.hr/aktualni-prijedlozi-za-gospodarenje-otpadom-nisu-dugorocno-odrzivi/>
14. Zelena akcija: *Razumijeti otpad*, Zagreb, 2012.
15. R. Schmid, C. Schmidt-Dannert, R. Hammehle: *Biotechnology: An Illustrated Primer*, Wiley, Hoboken, 2014.
16. Thayer school of Engineering at Dartmouth: Forest and paper industry,
<https://engineering.dartmouth.edu/~d30345d/courses/engs171/Paper.pdf>
17. Leksikografski zavod Miroslav Krleža: Papir, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=46541>
18. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Reciklacija papira,
<http://materijali.grf.unizg.hr/media/RECIKLACIJA%20PAPIRA.pdf> i Recikliranje papira (Vježba 4)
http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba_4.pdf
19. Vetropack Straža d.d.: *Recikliranje stakla*, <http://recikliranje-stakla.com/>
20. Berryman: *What happens to Glass – The Recycling Journey*, <http://www.berrymanglassrecycling.com/glass-recycling/the-glass-recycling-journey/>
21. www.recikliraj.hr
22. J. Pelleg: *Mechanical Properties of Ceramics*, Springer International Publishing, 2014.
23. Waste recycling: *Recycling glass*, http://www.wasterecycling.org.uk/home_recycling/recycling_glass.php
24. C.L. Stanitski & co.: *Chemistry in Context – Applying Chemistry to Society*, McGraw-Hill, SAD, 2000.
25. *Kemijski rječnik*, <http://glossary.periodni.com/rjecnik.php>
26. Plastics Europe – Association of Plastics Manufacturers: *How plastic is made*,
<http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/how-plastic-is-made.aspx>
27. C. Jeavans: Plastic recycling comes full circle, http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/magazine/7470662.stm
28. Leksikografski zavod Miroslav Krleža: Čelik, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=13250>
29. *The Bureau of International Recycling*, <http://www.bir.org/>
30. S. Peretin: *Unapređenje razvrstavanja kućanskog otpada*, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010., <https://www.fsb.unizg.hr/library/fileopen.php?id=1063>
31. Zagrebački holding – Podružnica Čistoća: Odvoz opasnog otpada, <http://cistoca.hr/default.aspx?id=248>

-
32. T. Sofilić, I. Brnardić: *Održivo gospodarenje otpadom*, Metalurški fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Sisak, 2015., <https://www.simet.unizg.hr/nastava/predavanja/preddiplomski-sveucilisni-studij-metalurgija/3-godina-preddiplomskog-studija/odrzivo-gospodarenje-otpadom>
33. wien.at: *Producing biogas from kitchen waste*, <https://www.wien.gv.at/english/environment-leisure/vienna-biogas.html>
34. Umweltzentrum Simmering, Biogas Wien: *Wien macht Biogas*,
<http://www.wku.at/Downloads.6.0.html?&L=1>
35. S. Zafar: *Biological Cleanup of Biogas*, <http://www.bioenergyconsult.com/biological-desulphurization-of-biogas/>
36. Bioenergy Plant: *Energy Crop Digestion Plant Strem*,
<http://www.smallestnpp.eu/documents/stremBioenergyPlant.pdf>
37. Europäische Zentrum für erneuerbare Energie: *Biogasanlage Strem - Biogas (Biologische Vergasung)*,
http://www.eee-info.net/cms/netautor/napro4/appl/na_professional/parse.php?mlay_id=2500&mdoc_id=1000051
38. City of Vienna, Municipal Department 48 - Waste Management, Street Cleaning and Vehicle Fleet: *Waste Management in Vienna*, Beč, 2013.
<https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/service/publikationen/pdf/abfallwirtschaft-en.pdf>
39. Vienna municipal environmental protection project group: *MVA Pfaffenau*, <http://www.wku.at/MVA-Pfaffenau.11.0.html?&L=1>
40. D. Vrklijan, M. Klanfar: *Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina – Gips*,
http://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/GIPS.pdf
41. Güssing Renewable Energy: *GRE DFB multi-fuel gasification*,
<http://www.gussingrenewable.com/htcms/en/wer-was-wie-wo-wann/wie/thermische-vergasungfifc-reaktor.html>
42. Agencija za zaštitu okoliša: *Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj*,
<http://www.azo.hr/GospodarenjeOtpadomU>
43. M. Juračić: *Otpad i odlagalista otpada*,
https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/07_Odlagalista_otpada.pdf
44. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost: *Odlagalista otpada i sanacije*,
http://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje_otpadom/odlagalista_otpada_i_sanacije/
45. N. Hrnčić i M. Hrnčić: *Prilog izgradnji brtvenih sustava na odlagalištu otpada*, Tehnički glasnik, 2011.
46. United States Environmental Protection Agency
<https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/ch4.html>
47. Agenda 21 Radio: *What are the main sources of methane emissions?*, <http://agenda21radio.com/?p=7013>
48. Leksikografski zavod Miroslav Krleža: Enciklopedija, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=40379>
49. *Bioplín i deponijski plin*,
<http://rgn.hr/~dkarasal/NIDS/GOSPODARENJE%20PLINOVIMA%202/Bioplín%20i%20deponijski%20plín.pdf>
50. Kaštjun: *Sustav otpalinjanja*,
http://www.kastjun.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=26&lang=hr