

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju

Recikliranje i zbrinjavanje otpada

Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Katančić

OPASNI OTPAD

- **Opasni otpad** sadrži tvari koje imaju jedno od navedenih svojstava:
 - eksplozivnost, zapaljivost, nagrizanje, toksičnost, infektivnost, kancerogenost, mutagenost te otpuštanje opasnih plinova
- Glavni generatori opasnog otpada:
 - industrija, mali pogoni, različiti obrti, trgovine, ugostiteljski objekti, domaćinstva
- Svakim je danom sve veći broj opasnih tvari koje se koriste u domaćinstvima:
 - **baterije, akumulatori**
 - **lijekovi**
 - **Insekticidi, pesticidi, fungicidi**
 - **razrjeđivači, boje, lakovi**, otapala, sredstva za skidanje hrđe, sredstva za zaštitu drva , ljepila
 - uljni filtri, motorna ulja antifriz
 - boce pod tlakom (sprejevi), termometri sa živom
 - fluorescentne rasvjetne cijevi
 - kiseline, lužine, sredstva za čišćenje i odčepljivanje

Opasni otpad

- Opasni otpad iz kućanstva obično čini oko 1 % mase komunalnog otpada (ne uključujući električni i elektronički otpad - EE)
- Na razini EU to je 1-6 kg/stan/god
- Podatke je teško usporediti jer države pri izvještavanju upotrebljavaju različite postupke i kategorije (npr. uključivanje EE ili jestivih masti)
- Samo pravilno odložene opasne tvari, odvojeno prikupljene mogu se sigurno zbrinuti, materijalno ili energijski reciklirati, tako neće ugroziti zdravlje ljudi i okoliš
- Smanjivanje upotrebe opasnih tvari je poseban prioritet
- To podrazumijeva kupovanje količina opasnih tvari prema potrebi, odnosno da će se one u dogledno vrijeme i upotrijebiti
- Dobar primjer **neracionalnog** postupanja su **lijekovi, boje, lakovi...**
- Istekom roka upotrebe postaju opasni otpad

Opasni otpad

- Predaja i odvojeno prikupljanje opasnih tvari iz kućanstava:
 - **reciklažna dvorišta**
 - specijalizirane **trgovine** (vraćanje na prodajno mjesto)
 - mobilne stanice za prikupljanje opasnih tvari (periodičko skupljanje)



kontejneri univerzalne namjene, otporni na kemikalije



Opasni otpad

- U reciklažnim dvorištima građani mogu bez naknade odložiti opasne tvari, ali je potrebno pridržavati se sljedećih uputa:
 - obavezno predati odvojeno svaku vrstu opasnih tvari
 - otpadni lijekovi i dijelovi injekcija bez igle preuzimaju se samo u prozirnoj ambalaži
 - igle od injekcija, preuzimaju se samo u čvrstoj, prozirnoj neprobojnoj ambalaži, koja je dobro zatvorena ljepljivom trakom
 - živa kao metal, termometri, živini prekidači i drugi predmeti koji sadrže živu, preuzimaju se samo u **zatvorenoj** ambalaži koja je željezna ili staklena
 - sve posude, limenke i spremnike pod tlakom treba prije odlaganja isprazniti

Opasni otpad

- **Baterije i akumulatori** sadrže i teške metale koji izravno ugrožavaju okoliš i zdravlje (Hg je jaki živčani otrov, Cd ugrožava jetru i pluća)
- Teški metali povećavaju rizik od kancerogenih oboljenja
- Otpadne baterije i akumulatori vrijedan su izvor sekundarne sirovine teških metala (Npr., Cd je moguće, uz ispravno postupanje, uspješno reciklirati)
- **Boje i lakovi** su mješavina otapala, pigmenta, minerala, smola, površinski aktivnih tvari i aditiva (pigmenti su bili na bazi teških metala - Cd, Pb, Cr, Hg)
- Ostaci boja i lakova ne smiju se nikad zbrinjavati izlivanjem u kanalizaciju. Nakon čišćenja kistova i spremnika dio proizvoda završi u kanalizaciji i površinskim vodama
- Vodotopljive boje koje se razrjeđuju s vodom svako je pozitivan prinos zaštiti okoliša, ne sadrže organska otapala
- Otpadne boje uglavnom se spaljuju ali se mogu i ponovo upotrebljavati (regenerirati) ukoliko im je istekao rok trajanja, a nisu otvarane

Opasni otpad

- **Ljepila** sadrže veliki broj različitih materijala (sadrže **monomer**, polimer, **otapala**, **pigment** i dr.), Imaju jak i oštar miris i lako su zapaljiva
- Ljepila sadrže organska otapala, formaldehide i cijanoakrilate, zajedno s ambalažom čine opasni otpad
- Kod nekih ljepila udio otapala je i do 85 % te može doći do udisanja otrovnih para
- **Motorna ulja i uljni filtri** zbrinjavaju se kao opasne tvari
- Motorna ulja sadrže različite dodatke koji su naročito opasni za okoliš, npr. PCB spojeve, ali i produkte razgradnje nastali tijekom primjena ulja na povišenim temperaturama
- Pravilno odvojeno i prikupljeno otpadno ulje može se odlično materijalno i energijski oporaviti (ugljikovodici, visoka kalorična vrijednost)
- Glavni sastojak antifriza je etilen-glikol koji je otrovan
- Antifriz se može reciklirati i obnoviti njegova izvorna svojstva ili se može izdvojiti etilen-glikol i upotrijebiti u industriji plastike

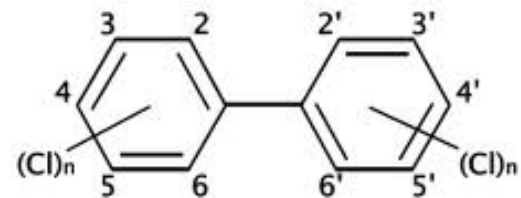
Opasni otpad

- **Farmaceutski proizvodi** (analgetici, lijekovi za zamjenu hormona, oralni kemoterapijski lijekovi, antidepresivi) često se upotrebljavaju u kućanstvima i veliki dio njih postane otpad
- Od država članica EU zahtjeva se da osiguraju prikladni sustav za prikupljanje neiskorištenih lijekova ili kojima je istekao rok trajanja
- Ta obveza se provodi tako da se od ljekarni ili reciklažnih dvorišta zahtjeva da primaju otpadne farmaceutske proizvode
- Mjesta prikupljanja mogu biti i domovi za starije i nemoćne
- Otpadne kanalizacijske vode sadržavaju izlučene farmaceutske proizvode ali i neiskorištene lijekove odbačene u umivaonike i zahode
- Prikupljeni lijekovi obično se spaljuju na visokoj temperaturi

Opasni otpad

- **Rashladni uređaji** (hladnjaci) - mogu sadržavati fluorirane i fluorklorirane ugljikovodike, koji nekontrolirano ispušteni u atmosferu oštećuju ozonski sloj
- **Sredstva za čišćenje sanitarija** - sadrže kiseline, lužine, otapala, klorirane spojeve, mogu biti zapaljivi ili korozivni
- **Sredstva za zaštitu biljaka i za uništavanje nametnika (pesticidi)** - kućanski pesticidi formulirani su za neprofesionalnu upotrebu, sadržavaju aktivne sastojke koji su otrovni za biljke i životinje za čiju zaštitu nisu namijenjeni
- Mogu biti postojani i bioakumulativni, otrovni i nadražujući, obično se ne mogu se reciklirati, u većini slučajeva uništavaju se spaljivanjem
- Profesionalni pesticidi vrlo često sadrže otrovne tvari kao npr. DDT (diklordifeniltrikloreten) koji je zbog izuzetne opasnosti zabranjen od 2004. (jedino se još u Indiji proizvodi)
- **Rasvjetne fluorescentne cijevi** - sadrže teške metale kao što je Hg

Opasni otpad



- PCB U elektroničkoj i električnoj opremi
- Poliklorirani bifenili (PCB)
 - spojevi kemijskog sastava s 2 do 10 atoma klora spojenih na molekulu bifenila, koja se sastoji od dva spojena benzenska prstena
 - sintetizirani u laboratoriju 1929., postoji 209 različitih molekula PCB
- PCB su industrijski spojevi, detektirani su kao kontaminanti u gotovo svim dijelovima globalnog ekosustava uključujući zrak, vodu, sedimente, ribe, mlijeko, divlje životinje
- Izrazito **toksični** organski aromatski spojevi dobiveni kloriranjem bifenila uz prisustvo katalizatora
- Svojstva:
 - netopljivi u vodi
 - visoki afinitet prema mastima
 - sporo razgradljivi, tj. vrlo su stabilni
 - prilikom sinteze PCB spojeva kao nusprodukti nastaju TCDD spojevi - tetraklor-dibenzodioksin i dibenzolfurani (dioksini i furani)

Opasni otpad

- PCB spojevi iznimno štetno djeluju na ljudsko zdravlje
- U organizam ulaze preko kontaminirane hrane
 - 70 % iz namirnica životinjskog porijekla
 - 25 % iz namirnica biljnog porijekla, ostalo iz vode, zraka i tla
- Prisutnost PCB spojeva u organizmu može izazvati rak limfnih čvorova i jetre, oštećenje imunološkog sustava, reproduktivnog i endokrinog sustava
- Generatori PCB spojeva su:
 - **transformatori i kondenzatori**, (dielektrična i rashladna tekućina te tekućine za prijenos topline)
 - fluidi za prijenos topline
 - u hidrauličnim tekućinama i mazivima
 - plastifikatori u bojama, adhezivima, polimerima i materijalima za brtve, aditivi u formulacijama pesticida
- Najviše kondenzatora ima **elektroprivreda**, a **transformatora** kemijska, tekstilna i metalo-prerađivačka industrija

Opasni otpad

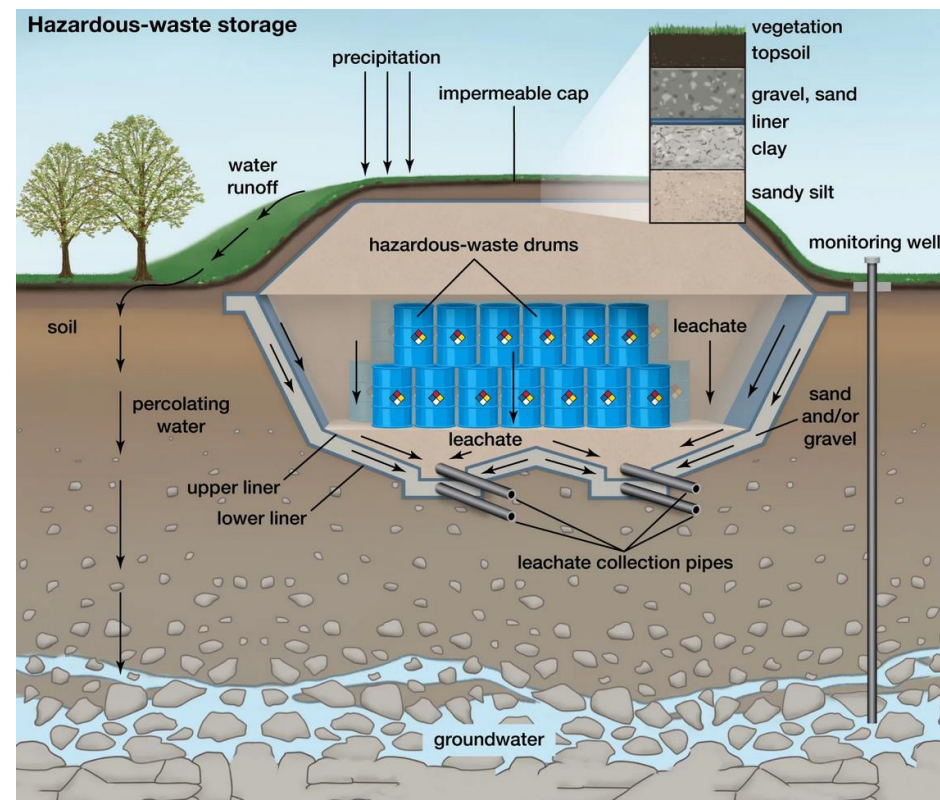
- Otpad koji sadrži PCB spojeve potrebno je zbrinuti na pravilan način spaljivanjem u spalionicama opasnog otpada
- Dugo zadržavanje PCB spojeva na visokim $T = 850-1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ razara benzenske jezgre te kao nusprodukti nastaju CO_2 i netoksični anorganski spojevi
- Spaljivanjem PCB spojeva na temp. od $250 - 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ nastaju furani i dioksini
- u HR taj se otpad izvozi u zemlje EU u skladu s Baselskom konvencijom o kontroli prekograničnog prometa opasnim otpadom
- Propisana je zabrana stavljanja u promet i korištenja PCB-a, osim u slučaju održavanja već postojeće opreme do kraja vijeka trajanja. Do 2025. godine potrebno ih je u potpunosti ukloniti iz uporabe

Opasni otpad

- **Metode zbrinjavanja/odlaganja opasnog otpada**
- **Kemijsko tretiranje** - neutralizacija, precipitacija, ionska izmjena, redukcija, oksidacija
- **Toplinsko tretiranje** - spaljivanje
- **Biološko tretiranje** - zbrinjavanje organskog otpada iz petrokemijske industrije mikrobiološki
- **Fizikalno tretiranje** - očvršćivanje, flotacija, sedimentacija, isparavanje, filtracija
- **Odlaganje** - na specijalnim odlagalištima

Opasni otpad

- **Metode zbrinjavanja/odlaganja opasnog otpada**
- **Podzemno odlaganje**
- Ukapanje duboko u podzemlje, u neaktivne rudnike koji zadovoljavaju sve geološke i tehničke zahtjeve
- **Specijalna odlagališta opasnog otpada**
- Najstariji način zbrinjavanja opasnog otpada, ne koriste se za druge svrhe
- Ukapaju se u zemlju, ne u visinu kao uobičajena odlagališta
- Podloga od HDPE, gline u više slojeva, iznimno visoka razina zaštitnih sustava
- **Odlaganje u oceanima**
- Odlaganje u velikim dubinama, u specijalnim čvrsto zatvorenim spremnicima
- Izbjegava se zbog velikog rizika, dopušteno pod strogo određenim uvjetima



Opasni otpad

- **Metode zbrinjavanja/odlaganja opasnog otpada**

- **Duboke bušotine**

- Česta metoda odlaganje tekućeg opasnog otpada je utiskivanje u duboke bušotine
- Uključuje pumpanje otpada duboko u zemlju, ispod razina podzemnih voda u porozne stijene
- Te su bušotine regulirane kako bi se osiguralo da otpad ne zagađuje izvore pitke vode ili površinske ekosustave
- SAD ima približno 800 mjesta za duboko utiskivanje koja mogu prihvatiti milijune litara opasnog otpada godišnje
- Ta se mjesta podvrgavaju rigoroznim ispitivanjima i nadzoru kako bi se otkrilo i spriječilo curenje, sa senzorima postavljenim na više dubina kako bi se osigurala sigurnost

- **Enkapsulacija**

- Uključuje zatvaranje opasnog otpada u čvrsti materijal kao što je beton ili plastika kako bi se spriječilo ispuštanje kontaminanata u okoliš
- Ova je metoda osobito korisna za kruti i polukruti otpad, uključujući onečišćeno tlo, mulj i azbest
- Obično uključuje miješanje opasnog otpada s vezivnim sredstvom i zatim izlivanje u kalupe da se stvrdne
- Time se znatno smanjuje pokretljivost opasnih komponenti, čineći otpad lakšim i sigurnijim rukovanje i skladištenje
- Ova metoda se često koristi za dugotrajno skladištenje radioaktivnog otpada i drugih materijala koji zahtijevaju stabilno zadržavanje

Opasni otpad

- **Metode odlaganja opasnog otpada**

- **Makroenkapsulacija**

- Uključuje zatvaranje velikih količina opasnog otpada u trajnu, nepropusnu barijeru kao što su čelični ili betonski spremnici
- Ova se metoda koristi za glomazni otpadni materijal, uključujući kontaminirani otpad, veliku opremu i drugi industrijski otpad
- Spremnici su dizajnirani da izdrže fizikalnu i kemijsku degradaciju, osiguravajući dugoročno zadržavanje opasnih materijala
- Makrokapsulacija je osobito korisna za upravljanje otpadom koji se ne može lako obraditi ili smanjiti u volumenu, pružajući sigurno rješenje za odlaganje i skladištenje

- **Spaljivanje**

- Spaljivanje na visokim temperaturama kako bi se pretvorio u pepeo, dimni plin i toplinu
- Učinkovito za smanjenje volumena otpada i uništavanje toksičnih organskih spojeva (dioksina i furana)
- Spaljivanjem na visokim temperaturama, do 1200°C, mogu se razgraditi kompleksne opasne tvari
- Nastali pepeo, koji još uvijek sadrži opasne komponente, mora se odložiti na sigurna odlagališta
- Moderne spalionice opremljene su pročišćivačima, filtrima i elektrostatskim taložnicima kako bi se smanjio utjecaj na okoliš

Opasni otpad

- Primjeri dobre prakse prikupljanja opasnog otpada iz kućanstava
- **Luksemburg** - integrirani sustav prikupljanja otpada u kojem je osigurana infrastruktura za široko i besplatno prikupljanje opasnog otpada iz kućanstva: postoji 18 fiksnih sabirnih mjesta na koja građani mogu donijeti svoje opasne tvari (1 mjesto na 35 000 stanovnika), mobilno skupljanje provodi se četiri puta godišnje, a prikupljanje iz kućanstava provodi se na zahtjev.
- Na taj se način prikupi više od 5 kg opasnog otpada/stan/god
- **Finska** - služba za zaštitu okoliša postavila je 50 spremnika za besplatno prikupljanje raznih tokova otpada, uključujući i opasni otpad iz kućanstava. Kako bi bili što pristupačniji spremnici su smješteni na benzinskim postajama i supermarketima.
- Radi sigurnosti može im se pristupiti samo tijekom radnog vremena, a lokalna policija sudjeluje u zaštiti lokacija na kojima nema osoblja. Spremnici su namijenjeni za opasni otpad iz kućanstava: 1) rashladne tekućine, tekućine za kočnice i spojke, 2) otpadna ulja i filteri, 3) razrjeđivači, aceton 4) tekućine za pranje, 5) boje, ljepila, lakovi, sredstva za zaštitu drva, 6) spremnike pod tlakom i sprejeve, 7) pesticidi i dezinficijensi, fotografske kemikalije.
- Neke vrste se mogu odložiti samo u reciklažnim dvorištima (EE otpad i impregnirano drvo besplatno, azbestni otpad 10 Eur za 100 litara)

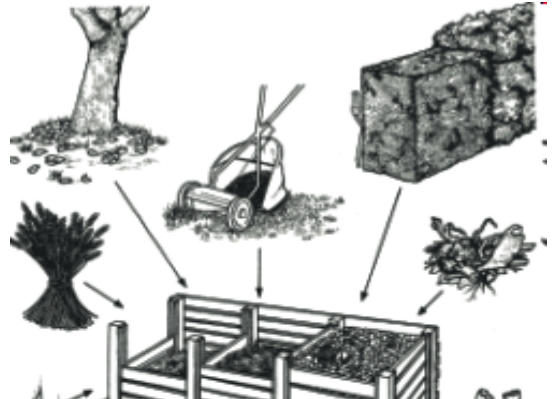
Opasni otpad

- Primjeri dobre prakse prikupljanja opasnog otpada iz kućanstava
- **Danska (Odense)** - svako kućanstvo dobije 40-litarsku crvenu kutiju za pohranu i prijevoz opasnog otpada iz kućanstva. Kutija se može predati: 1) na zahtjev, izravno iz kućanstva uz naknadu, 2) u stambenim četvrtima kamionom za opasni otpad, 3) osobno na mjestima za preuzimanje opasnog otpada iz kućanstava, 4) osobno u običnim reciklažnim dvorištima tijekom određenih vikenda.
- Odense svake godine prikupi 300 t opasnog otpada iz kućanstava (1,6 kg/stan), najveći dio su boje i lakovi (65-75%), ostalo su kiseline, pesticidi, sprejevi i druge kemikalije.
- Prikupljanje se financira općom naknadom za otpad koju plaćaju sva kućanstva (3,3 Eur/stan godišnje)
- **Estonija (Tallin)** - upotrebljavaju se preinačeni pomorski teretni kontejneri opremljeni policama, ladicama i odgovarajućim spremnicima. Kontejneri su smješteni na najfrekventnijim lokacijama kako bi bili blizu građanima. Tom se praksom prikupljanje opasnog otpada iz kućanstava povećalo s 12 t (0,03 kg/stan/god) 2000. na 158 t (0,4 kg/stan/god) 2013.
- Trošak jednog kontejnera iznosio je 3700-4500 Eur (ovisno o veličini), a trošak upravljanja jednim sabirnim mjestom 46 Eur/mjes 2004. do 70 Eur/mjes 2013.

Opasni otpad

- Primjeri dobre prakse prikupljanja opasnog otpada iz kućanstava
- **Bruxelles** - građani mogu otpadne kućanske kemikalije odložiti u mobilnom kamionu. Periodično se zaustavlja na stotinjak lokacija u gradu i na svakoj se lokaciji zadrži 45 min. Ta je usluga dostupna jednom mjesečno ili jednom svaka dva mjeseca, ovisno o lokaciji.
- Procjenjuje se da je tom vrstom mobilnog prikupljanja prikupljeno 0,4 kg/stan/god. Prije preuzimanja otpad se pregledava kako bi se izbjegla kontaminacija i opasnost za zdravlje te kako se postigao što veći potencijal oporabe (tekućine i kruti otpad trebaju se donijeti odvojeno u izvornoj ambalaži na kojoj je naziv proizvoda). Osoblje se osposobljava za osnovno poznavanje kemikalija kako bi moglo primjenjivati kriterije za prihvrat otpada.
- Komunikacija uključuje: jasne upute za građane, brošure, internetske stranice i mobilne aplikacija za informiranje o rasporedu prikupljanja. Usluga je besplatna za građane.
- **Ujedinjeno Kraljevstvo** - „RePaint” mreža za ponovnu uporabu boja. Sponzorira ju veliki distributer boja koji osigurava znanje, eksponiranost i financiranje. U okviru te mreže ostaci boja se prikupljaju, prerađuju u nove boje i distribuiraju besplatno ili po niskoj cijeni pojedincima, zajednicama i dobrotvornim udrugama. Primjenjuju se strogi kriteriji prihvata kako bi se izbjegla kontaminacija (npr. Boja se prihvaća samo ako je još uvijek u izvornim spremniku).
- RePaint ima 74 mjesta za odlaganje koja vode volonteri i godišnje ponovno distribuira više od 300 000 litara boje. Godišnji trošak upravljanja mjestom za odlaganje iznosi približno 10 000 Eur.

KOMPOSTIRANJE

- Kompostiranje je biološki proces kojim se obrađuje biorazgradivi, tj. biološki otpad
 - Mikroorganizmi se hrane organskim otpadom i pritom ga razgrađuju, a produkti razgradnje su CO₂, voda i kruti dio humus tj. kompost, koji se dalje koristi kao zemlja
 - Najčešće se kompostira:
 1. industrijski/poljoprivredni otpad, otpad iz proizvodnje hrane, drvo, kruti otpad kod pročišćavanje voda
 2. razdvojeni komunalni otpad - otpad od hrane i iz dvorišta/vrtova, sa zelenih površina
 - Kompostiranje ima za cilj:
 - smanjiti količinu otpada
 - ekološki zbrinuti biorazgradivi otpad
 - uništenje patogenih organizama
 - nastajanje proizvoda-komposta
 - nastajanje bioplina
- 



Kompostiranje

- **Kompostiranjem** nastaju produkti:
 - humus (sloj zemlje)
 - anorganski materijali
 - korisni produkti za uzgoj biljaka (dušik, fosfati i kalij)

Proces kompostiranja:

- Kompostira se biootpad, tj. organske tvari (ugljikovodici), aerobno se razgrađuju u prisustvu kisika, kao konačan produkt nastaje CO₂, voda, toplina i kompost
- **Prije početka** kompostiranja biootpad potrebno je **usitniti**
- Posebno se tehnološki mora pripremiti granje, žbunje, grmlje, reznice drveća, kore drveta, drvene oblice do Ø 12 mm, božićna drvca, zelenila od čišćenja parkova, lišće, suha i zelena trava i mljeti na optimalnu debljinu i dužinu kako bi se dobila kvalitetna masa za kompostiranje
- Brzi strojevi (čekić drobilica, čekić mlin, rezni mlin) i spori strojevi (jednovaljčane ili dvovaljčane drobilice, pužni mlinovi)
- Prosijevanje kroz sito da se dobiju **čestice definirane veličine, 50-150 mm**
- Mehaničko ili strojno uklanjanje većih kontaminanata (plastika, metal)

Kompostiranje

- **Prva faza** je faza raspadanja u kojoj glavnu ulogu imaju mikroorganizmi (bakterije, ...) prvi napadaju kompostnu masu i razgrađuju je
- Toplina je generirana metaboličkim aktivnostima mikroorganizama sadržanih u raspadajućem materijalu
- **Temperatura u početku raste do 70 °C**
- U toj fazi kompostni materijal je dezinficiran, **većina sjemenki ostaje sterilna, a štetočine su ubijene**
- Prvo se razgrađuju topljivi spojevi poput aminokiselina, proteina, šećera i masnih kiselina
- Na kraju faze raspadanja, raspadnuti materijal se razgrađuje do njegovih sastavnih dijelova tako da termofilni mikroorganizmi mogu zatvoriti njihove aktivnosti i izumrijeti
- Oni služe kao hranjiva tvar za druge mikroorganizme i gljivice. Raspadni materijal se promijenio iz zelenog u smeđi ili crno-smeđi, a **temperatura pada na oko 55 °C**

Kompostiranje

- **Druga faza** je faza konverzije
- Osim bakterija, gljivice (mezofilna miješana flora) postaju aktivnije. U toj fazi dolazi do raspada tvari koje se teško razgrađuju poput celuloze i lignina (drva)
- Na kraju faze konverzije **temperatura pada na 35-55 °C**
- **Treća faza** je faza sazrijevanja
- Počinje **formiranje humozne tvari, temperatura pada ispod 35 °C**
- Osim mikroorganizama, brojni mali organizmi poput grinja, skokuna i nematoda ulaze u raspadni materijal, oni ograničavaju rast gljivica
- Kompostni crvi kombiniraju mineralnu i organsku frakciju i proizvode tzv. složeni glineni kompost. **Zreli kompost** može se prepoznati po njegovoj boji, humozna tvar daje mu **tamno smeđu boju**
- Labava i mrvljiva struktura pokazuje da je proces raspadanja završio, kompost se **biološki stabilizirao** i smanjila se emisija neugodnih mirisa
- Postupak kompostiranja traje relativno dugo, više mjeseci



Kompostiranje

- **Kontrola procesa kompostiranja**
- Industrijsko kompostiranje je pod utjecajem brojnih važnih parametara tehnološkog procesa
- Da bi se osiguralo intenzivno raspadanje, potrebno je **pažljivo konstruirati kompostnu brazdu**, jer se greške u toj fazi mogu ispraviti velikim naporom kasnije. Idealna dimenzija brazdi je **širina 3 m, visina 1,5 m**
- Da bi se postiglo brzo kompostiranje, moraju biti dostupni sljedeći uvjeti:
 - **snabdijevanje hranjivim tvarima:** glavne važne hranjive tvari su ugljik (C) i dušik (N), koji moraju biti dostupni u dovoljnim količinama, u pravom omjeru i planiranom vremenu
 - **snabdijevanje kisikom:** stalni dovod svježeg zraka u raspadni materijal je potreban da se osigura dovoljno snabdijevanje kisikom, vodom i bakterijama
 - **temperatura:** većina mikroorganizama aktivna u toku kompostiranja je termofilna (optimalno 50-65 °C) i mezofilna (25-45 °C). Intenzivni proces raspadanja pojavljuje se u termofilnom dometu, a sazrijeva u mezofilnom
 - **pH vrijednost:** većina mikroorganizama preferira pH neutralnu vrijednost



Kompostiranje

Omjer ugljika-dušika

- Omjer C/N opisuje volumen omjera C prema N u organskim spojevima
- **C/N omjer** u ulaznom materijalu **određuje brzinu i razvoj procesa raspadanja**
- Mikroorganizmi zahtijevaju energetske bogate ugljične spojeve da održavaju stabilni životni proces
- Spojevi dušika su potrebni da se izgrade proteini za rast i reprodukciju
- **Bez točnog omjera C/N** u ulaznom materijalu, **proces je usporen**, a u ekstremnim slučajevima dolazi do zastoja
- **Povoljan omjer C/N je 20:1 do 40:1**
- Ako je **veći od 40:1**, postoji **nedostatak dušika** i mikroorganizmi se ne mogu prikladno razvijati → **sporo raspadanje, nisko hranjivi kompost**
- Ako je nedovoljno ugljika (omjer **manji od 20:1**), mikroorganizmi ne mogu formirati dovoljno tvari koje traže njihove stanice, **konzumiraju i vežu manje dušika**
- **Dušik se gubi i ispušta kao velika količina plina u atmosferu** u obliku amonijaka (NH_3) ili se može isprati kao nitrat (NO_3^-)
- Kada se planira brazda mora se uzeti u obzir omjer C/N u mješavini ulaznog materijala

Kompostiranje

- Sadržaj dušika i omjer C:N različitih tvari koje se obično kompostiraju

Otpadni materijali	Dušik % na suhe tvari	C:N omjer Na osnovi suhe tvari
Kravlji gnoj	1,7-2,0	18
Konjski gnoj	1,2-2,3	25
Aktivni mulj	5,0	6
Ljuske krumpira	1,5	25
Slama od pšenice	0,3-0,5	130-150
Slama od žita/zobi	1,1	48
Trava	2,4-6,0	12-15
Svježe lišće	0,5-1,0	41
Piljevina	0,1	200-500
Otpaci hrane	3,2	16
Miješani papir	0,19	230
Vrtni otpad	2,0	23

Kompostiranje

Kisik

- Kisik **potreban za proces aerobnog raspadanja** se dostavlja u kompostni materijal svježim zrakom koji ima 21 % kisika
- **Mikroorganizmi** odgovorni za proces raspadanja **ne mogu koristiti kisik direktno iz zraka**
- Kisik sadržan u zraku mora najprije biti **otopljen u tekućoj fazi** i tada je dostupan mikroorganizmima
- **Zbog toga je sadržaj vlage** brazdi važan. Ako ima dovoljno vlage u brazdama, krute čestice komposta su pokrivene vodenim filmom koji apsorbira dio kisika u zraku te je tada dostupan živućim mikroorganizmima na površini kompostnih čestica
- **Prosječni sadržaj vode kompostnih brazdi treba biti 40-50 mas%**
- Ako je **sadržaj vlage prenizak**, opskrba kisikom je preniska, bakterije postaju neaktivne, a **proces raspadanja se usporava ili zaustavlja**
- Ako je **sadržaj vode previsok**, kisik u zraku se potiskuje u šupljine i javlja se truljenje → rezultat su neugodan miris i usporavanje procesa raspadanja

Kompostiranje

Kisik

- U praksi se pravilna razina vlage određuje **testiranjem u šaci**
- Uzme se šaka materijala sa hrpe na **dubini od barem 20 cm** i stisne
- Ako je **materijal presuh**, **raspada se** nakon otvaranja šake
- Ako je **materijal prevlažan**, **voda se cijedi** kroz prste kada se stisne
- Ako je **sadržaj vlage idealan**, **uzorak ostaje u obliku stisnute loptice** u otvorenoj šaci, materijal se osjeća kao isušena spužva



Presuho



Premokro

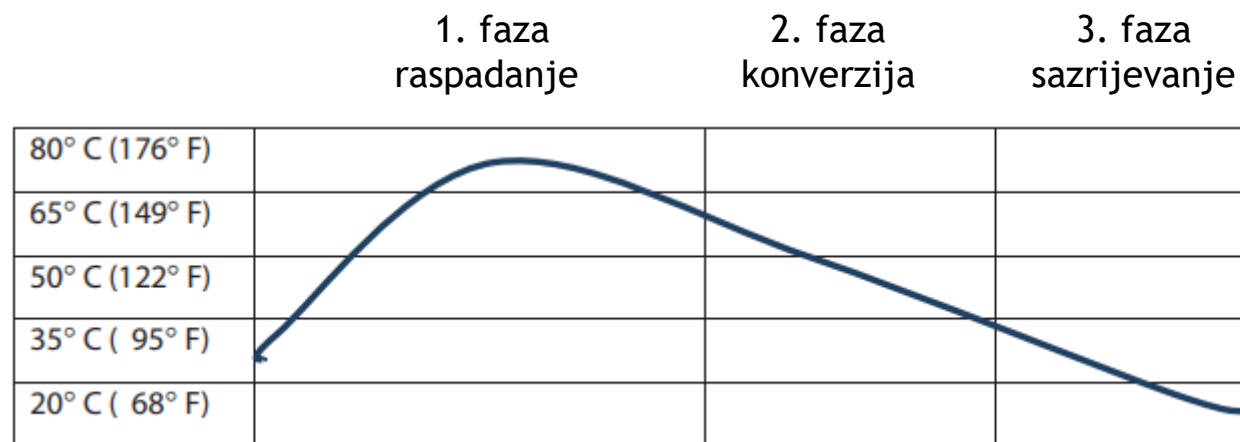


Pravilna razina vlage

Kompostiranje

Temperatura

- Temperatura u tijelu brazde je najvažniji indikator u toku kompostiranja za napredak procesa raspadanja
- Da bi se osigurao proces raspadanja, **temperatura se mora mjeriti barem jednom na dan** duž brazde
- Mjeri se sondama koje treba provući u jezgru brazde zbog unutarnjih različitih temperatura
- **Temperatura > 55 °C** je potrebna u brazdi u vremenu od 2 tjedna za pouzdanu dezinfekciju



Kompostiranje

pH vrijednost

- Aktivnost mikroorganizama te time i brzina procesa raspadanja također utječu na pH vrijednost kompostiranog materijala
- pH vrijednost u lužnatom do 11 nema negativni efekt na napredak procesa raspadanja, ali **pH vrijednost** znatno **ispod 5** u materijalu **usporava mikrobnu aktivnost**, posebno na početku procesa raspadanja
- **U mikrobnoj fazi**, u kojoj se jedva može zabilježiti bilo kakav rast jer se bakterije moraju prilagoditi novom okruženju, **metabolička aktivnost povećava se eksponencijalno s povećanjem pH vrijednosti**
- pH vrijednost se mjeri u prvom tjednu kompostiranja i na kraju procesa kompostiranja

Kompostiranje

Okretanje komposta i zalijevanje

- Zalijevanje brazdi osigurava da se **održava optimalna razina vlage** u brazdama za najbolji proces raspadanja
- Zalijevanje je moguće ili ručno ili direktno kod okretanja koje je najbolja metoda, jer se dodana vlaga i bakterije distribuiraju kroz brazdu u toku okretanja
- U toku procesa raspadanja dolazi do lokalne promjene u strukturi i raspodjeli vlage u kompostnoj brazdi
- Zbog težine mase materijala iznad njega, **donji sloj brazde se zbija i višak vlage se skuplja na dnu brazde**
- Da bi se osigurali homogeni uvjeti za raspadanje cijele brazde, potrebno je **redovno okretanje komposta**
- Kao rezultat, materijal se olabavljuje, dopušta se prodor kisika, mikrobna aktivnost se stimulira i dolazi do povećanja temperature
- **Sprečavaju se anaerobne zone i procesi te neugodan miris**
- U toku okretanja, suhe i vlažne zone brazde se izmiješaju, a razina vlage se ujednači
- Osigurava se da sve čestice brazde budu u centru dovoljno dugo, a visoke temperature garantiraju dezinfekciju kompostnog materijala, klice i sjeme divljih biljaka se pouzdano uništavaju

Kompostiranje

Okretanje komposta i zalijevanje



Kompostiranje

- Proizvedeni kompost nije spreman za prodaju odmah nakon raspadanja, nego se mora **prosijati** (probrati) da se dobiju tražene veličine čestica u serijama kao što je traženo ili prema specifikaciji kupca
- Metalne čestice se otklanjaju iz komposta magnetskim separatorom koji odstranjuje željezo i metalne ostatke iz materijala pomoću elektro- ili permanentnog magneta
- Kamenje i staklo iz komposta se uklanjaju u separacijskim bubnjevima na temelju različite gustoće materijala
- Kompost se prosijava na dimenzije čestica ovisno o namjeni:
 - kao poljoprivredno gnojivo 0-40 mm
 - za miješanje za vrtlarenje i uređenje 0-20 mm
 - kao gnojivo za privatne vrtove i za povrtnu zemlju 0-10 mm

Kompostiranje

- Optimiranje procesa

Problem	Razlog	Mjera
Preniska temperatura u svježoj brazdi (<50 °C)	1. Nedovoljno vlage 2. Previsok C/N omjer 3. Nedovoljno izmiješan i usitnjen materijal 4. Niski pH 5. Niska temperatura zraka	1. Okrenuti i navlažiti 2. Dodati spojeve bogate dušikom 3. Po potrebi ponovo usitniti materijal 4. Dodati CaCO₃ i okrenuti 5. Povećati volumen brazde, dodati svježi kompost
Previsoka temperatura (T>75 °C)	1. Prenizak C/N omjer 2. Akumulirana vrućina	1. Dodati drveni materijal (reznice, slama), često okretati i vlažiti 2. Okretati nekoliko puta i vlažiti
Razvijanje NH ₃ na početku faze raspadanja	1. Prenizak C/N omjer 2. pH previsok	1. Dodati spojeve bogate ugljikom (piljevina, slama) 2. Snižavati pH dodatkom kiselih tvari
Presuhi kompost	1. Previše vlage ishlapilo zbog vrućine, sunca ili vjetra	1. Okretati i vlažiti materijal
Prevlažni kompost	1. Natopljen zbog kiša 2. Prečesto i intenzivno vlaženje 3. Nepravilna mješavina na početku procesa	1. Okretati češće nakon prestanka kiše 2. Prestati vlažiti, često okretati 3. Dodati suhi materijal (slama)
Neugodan miris	1. Nedovoljno aeracije ili ventilacije 2. Previše vlaženja 3. Nastanak anaerobnog procesa	1. Okretati i dodati suhe tvari 2. Dodati glomazni materijal 3. Pokriti s membranom tijekom jakih kiša

Kompostiranje

Uobičajeni sustavi za kompostiranje

- **Na otvorenom** - slaže se trapezoidna gomila, ili u obliku brazde gdje se razgrađuje organski otpad na otvorenom, na zraku
- Okreće se 1-2 puta tjedno, kompost se dobije za 3-4 mjeseca
- **U kontejnerima** - zatvoreni sustav, dosta je skuplji, ali je znatno kraće vrijeme razlaganja jer je znatno lakše kontrolirati procesne parametre
- Okreće se svaki sat, kompost se dobije za 1-2 mjeseca
- **U halama** - između potpuno zatvorenog i otvorenog sustava, jeftinije od kontejnera, a bolja kontrola parametara nego kod potpuno otvorenog sustava
- Okretanje 3-4 puta tjedno, kompost se dobije za 2-3 mjeseca



Kompostiranje

- **Biostabilat**
- **Produkt mehaničko-biološke obrade (MBO) otpada** (u centrima za gospodarenje otpada, CGO)
- Ulazni materijal u MBO postrojenje predstavlja miješani komunalni otpad preostao nakon odvajanja (primarne selekcije) na mjestu nastanka više vrsta otpada (papir, metal, plastika, staklo, tekstil, biorazgradivi otpad,...)
- Automatska separacija otpada omogućuje povrat korisnih sirovina iz otpada, a **biorazgradiva frakcija** koja se ranije neobrađena odlagala na odlagalištima otpada, **se obrađuje i inertizira/stabilizira**
- Predviđeni izlazni produkti procesa mehaničko-biološke obrade otpada su:
 - **inertizirana biostabilizirana frakcija** - „biostabilat“, proizvod sličan kompostu (CLO, *Compost like output*)
 - čisti kompost
 - goriva frakcija - gorivo iz otpada (RDF, *refuse-derived fuel*), neregiciklabilna plastika, papir, karton. Usitnjava se u jednoličnu veličinu zrna, ili peletira kako bi se proizveo homogeni materijal koji se može koristiti kao zamjena za fosilna goriva u npr. tvornicama cementa
 - otpad pogodan za materijalnu uporabu

Kompostiranje

- **Biostabilat**

- Cilj biološke obrade otpada je dobiti **produkt koji je stabiliziran i neaktivan**, te koji se može odlagati na odlagalište (CLO) ili koristiti kao humus u slučaju obrade odvojeno sakupljenog biootpada
- Kada **ulaznu sirovinu čini odvojeno sakupljen biorazgradivi otpad** iz kuhinja, vrtova i parkova tada se **proizvod aerobne obrade** otpada (kompostiranja) naziva **kompost**
- Kada **ulaznu sirovinu za aerobnu obradu čini biorazgradivi otpad izdvojen u postupku mehaničke obrade miješanog komunalnog otpada**, tada se proizvod označava kao “**sličan kompostu**” (Compost like output)
- Razliku između ove dvije vrste komposta čini njihova čistoća i upotrebljivost kao materijala za oplemenjivanje poljoprivrednih tla
- Najvažnije za uspješno iskorištavanje ove vrste otpada je provesti pravilno odvajanje biološki lako razgradljivih tvari već u kuhinji, tj. mjestu nastanka
- U smeđu posudu/vrećicu za biootpad dozvoljeno je odlagati:
 - kuhinjski otpad (kore voća i povrća, kruh, talog kave i sl.)
 - vrtni ili zeleni otpad (granje, lišće, otkos trave, gnjilo voće i sl.)
 - ostali biootpad (božićna drvca, kosa, piljevina i sl.)