

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju

# Recikliranje i zbrinjavanje otpada

Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Katančić

# RECIKLIRANJE METALNOG OTPADA

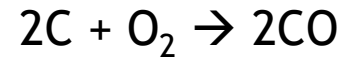
## Proizvodnja primarnog čelika (*virgin steel*)

- **Glavne metode** za proizvodnju željeza i čelika su korištenje **visoke peći** (eng. *Blast furnace, BF*), **osnovne peći na kisik** (eng. *Basic oxygen furnace, BOF*) ili **elektrolučne peći** (eng. *Electric arc furnace, EAF*)
- Budući da se željezo pojavljuje kao željezni oksid u Zemljinoj kori, rude se moraju "koncentrirati" kako bi se dobilo željezo kroz mnogobrojne procese obrade rude
- Željezna ruda se ekstrahira iz 90 % rudarenih metalnih ruda u obliku **hematita** ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) i **magnetita** ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )
- Veza kisika i željeza je snažna, a da bi se ta raskinula tj. da bi se željezo odvojilo od kisika, jača veza mora doći na mjesto za spajanje na element kisika
- **Najbolji kandidat za ovaj proces je ugljik (ugljen/koks)** jer je snaga veze ugljik-kisik puno je veća od veze željezo-kisik, posebno na visokim temperaturama pa se zato **reakcija odvija u visokim pećima na 2000 °C**
- Željezna ruda, ugljik (iz ugljena i koksa) i vapnenac se ubacuju na vrh peći. Ugljen se koristi kao gorivo za dobivanje topline izgaranjem, a koks se koristi kao reducens željezne rude

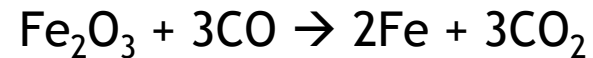
## Recikliranje metalnog otpada

### Proizvodnja primarnog čelika (*virgin steel*)

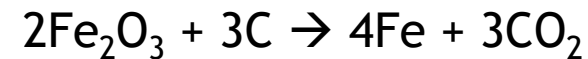
- Koks reagira s kisikom iz zraka



- CO reducira željeznu rudu u obliku hematita u tekuće željezo uz nastajanje  $\text{CO}_2$

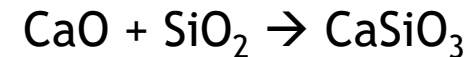


- Na dnu peći rastaljeni hematit reagira direktno s ugljikom u obliku koksa i nastaje željezo i  $\text{CO}_2$



- **Kako bi se uklonile nečistoće iz rude ( $\text{SiO}_2$  i ostali silikati), dodaje se vapnenac (i/ili glinenac/dolomit)**

- Vapnenac se raspada na CaO i reagira sa  $\text{SiO}_2$  pri čemu nastaju nusprodukti u obliku troske i prašine

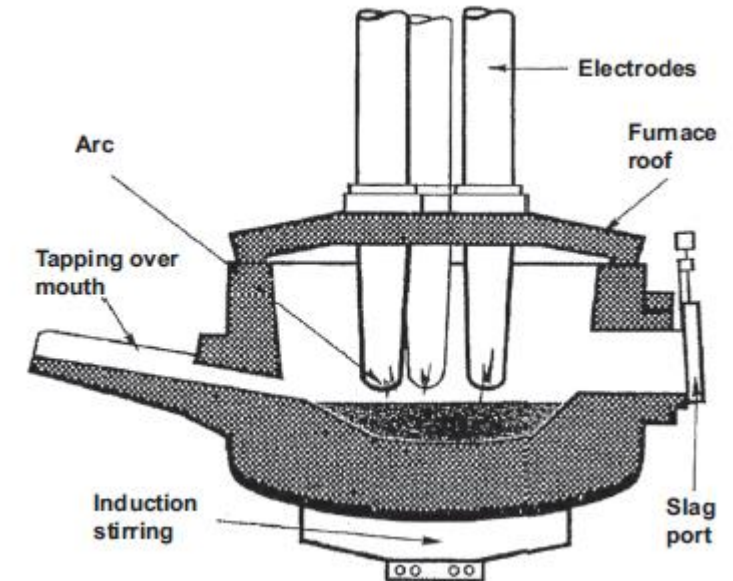


- U prosjeku na svaku tonu proizvedenog čelika nastaje 200 kg (EAF) do 400 kg (BF, BOF) nusprodukata

# Recikliranje metalnog otpada

## Proizvodnja recikliranog čelika

- Nakon prikupljanja i odvajanja, željezni materijali se tale u industrijskoj peći u pripremi za njihovu ponovnu ugradnju u nove proizvode
- **Elektrolučna peć (EAF) može iskoristiti do 100 % čeličnog otpada te je proces koji se koristi za recikliranje velike većine čeličnog otpada**
- U peći se postiže temperatura do 1800 °C
- Otpadni usitnjeni metal se ubacuje u otvorenu peć (u kojoj se nalazi od prije rastaljeni čelik) zajedno s tvarima za stvaranje troske („fluks”)
- Elektrode se spuštaju na otpad, električni luk se pali niskim naponom te počinje rasti temperatura
- Nakon što elektrode dosegnu teške slojeve taline u dnu peći, elektrode se lagano podižu dok se napon povećava kako bi se pojačala brzina taljenja
- Nakon što se metalni otpad potpuno rastali, uvodi se još tvari za stvaranje troske
- Nakon što su temperatura i kemijski sastav ispravni, čelik/željezo se izlijeva i hladi



## Recikliranje metalnog otpada

- Recikliranjem jedne tone čelika štedi se 1,1 tona željezne rude, 630 kg ugljena i 55 kg vapnenca
  - Npr. za proizvodnju jedne tone čelika u **elektrolučnoj peći** (EAF) potrebno je oko 640 kWh energije, što je jednako **6,4 milijuna BTU/toni**, **visoka peć** (BF) troši do **19 milijuna BTU/toni**
  - Da bi se proizvela tona sirovog čelika, visoka peć u procesu koristi **1400 kg željezne rude, 770 kg ugljena, 150 kg vapnenca**
  - U istom procesu elektrolučna peć koristi **880 kg recikliranog čelika, 150 kg ugljena i 43 kg vapnenca**
  - EAF je energetska i ekonomski učinkovitija
  - U prosjeku svaka tona **primarno proizvedenog čelika** emitira od **1580 do 2760 kg CO<sub>2</sub>**
  - U prosjeku svaka tona **recikliranog čelika** emitira od **400 kg do 1020 kg CO<sub>2</sub>**
  - Smanjenje od 0,6 - 2,4 tone CO<sub>2</sub> koji se emitira u zrak po toni čelika
- 
- BTU = British Thermal Unit (Britanska termalna jedinica). 1 BTU je količina topline potrebna da se temperatura jedne funte vode poveća za 1 °F ~ 1055 J

# Recikliranje metalnog otpada

## Nečistoće

- Čelik je željezna legura s 0,2 - 2,1 % ugljika s dodatkom drugih elemenata (Cr, Ni, Co, V, Mn, W)
- Porast udjela ugljika povećava tvrdoću u čvrstoću čelika, ali ga čini manje istezljivim
- Elementi poboljšavaju mikrostrukturu, tvrdoću, istezljivost, rastezna i tlačnu čvrstoću, trajnost, otpornost na koroziju i zavarivost
- Lijeivano željezo je legura koja ima više od 2,1 % ugljika, ima niže talište i dobru mogućnost lijevanja
- Kovano željezo ima manje od 0,2 % ugljika, žilavo, savitljivo i istezljivo, teško se zavaruje
- „Tramp” elementi - elementi koji se nalaze u čeliku, nenamjerno dodani, teško ih je ukloniti
- Za njih ne postoji komercijalno provediv proces pročišćavanja

| I A | II A |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | III A | IV A | V A | VI A | VII A | VIII |
|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|------|-----|------|-------|------|
| H   |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       | He   |
| Li  | Be   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | B     | C    | N   | O    | F     | Ne   |
| Na  | Mg   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Al    | Si   | P   | S    | Cl    | Ar   |
| K   | Ca   | Sc | Ti | V  | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga    | Ge   | As  | Se   | Br    | Kr   |
| Rb  | Sr   | Y  | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In    | Sn   | Sb  | Te   | I     | Xe   |
| Cs  | Ba   | La | Hf | Ta | W  | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl    | Pb   | Bi  | Po   | At    | Rn   |
| Fr  | Ra   | Ac |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |
|     |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |      |     |      |       |      |

- Više od 0,15 % bakra izaziva površinske pukotine tijekom vrućeg valjanja ako se provodi u oksidirajućoj atmosferi
- Prisutni Sn ima isti učinak iznad 0,05 % a kombinacija Cu i Sn pojačava učinak
- Prisutnost ovih elemenata također je odgovorna za povećanu vjerojatnost za poprečne pukotine tijekom kontinuiranog lijevanja

## Recikliranje metalnog otpada

### Nečistoće

- Razvrstavanje otpada postalo je učinkovitije, pa se npr. sadržaj bakra u metalnom otpadu smanjuje
- Nekad je potrebno u čelični otpad dodati primarno željezo iz ruda ako se proizvodi čelik s vrlo niskom tolerancijom na „tramp” elemente

### Pročišćavanje metalnog otpada

- Koriste se dva glavna principa za uklanjanje, **ispiranje** i **toplinska obrada**
- a) **Ispiranje** se provodi u kiselom ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{NO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) i u lužnatom ( $\text{NaOH}$ ) mediju za uklanjanje Zn
  - Pri niskom pH Zn se izlučuje u obliku soli,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{ZnSO}_4$  ili  $\text{ZnCl}_2$
  - Pri visokom pH u obliku cinkata ( $\text{Na}_2\text{ZnO}_2$  ili  $\text{NaHZnO}_2$ )
  - Obje reakcije su površinske te je zbog toga potrebno imati što sitniji otpad kako bi površina bila što veća
- b) **toplinska obrada** se provodi najčešće u mješavini  $\text{CO}/\text{CO}_2/\text{N}_2$  mješavini iznad  $800\text{ }^\circ\text{C}$ 
  - pri tome dolazi do isparavanja Zn, Ni, Cr, Sn

# Recikliranje metalnog otpada

## Obojeni metali

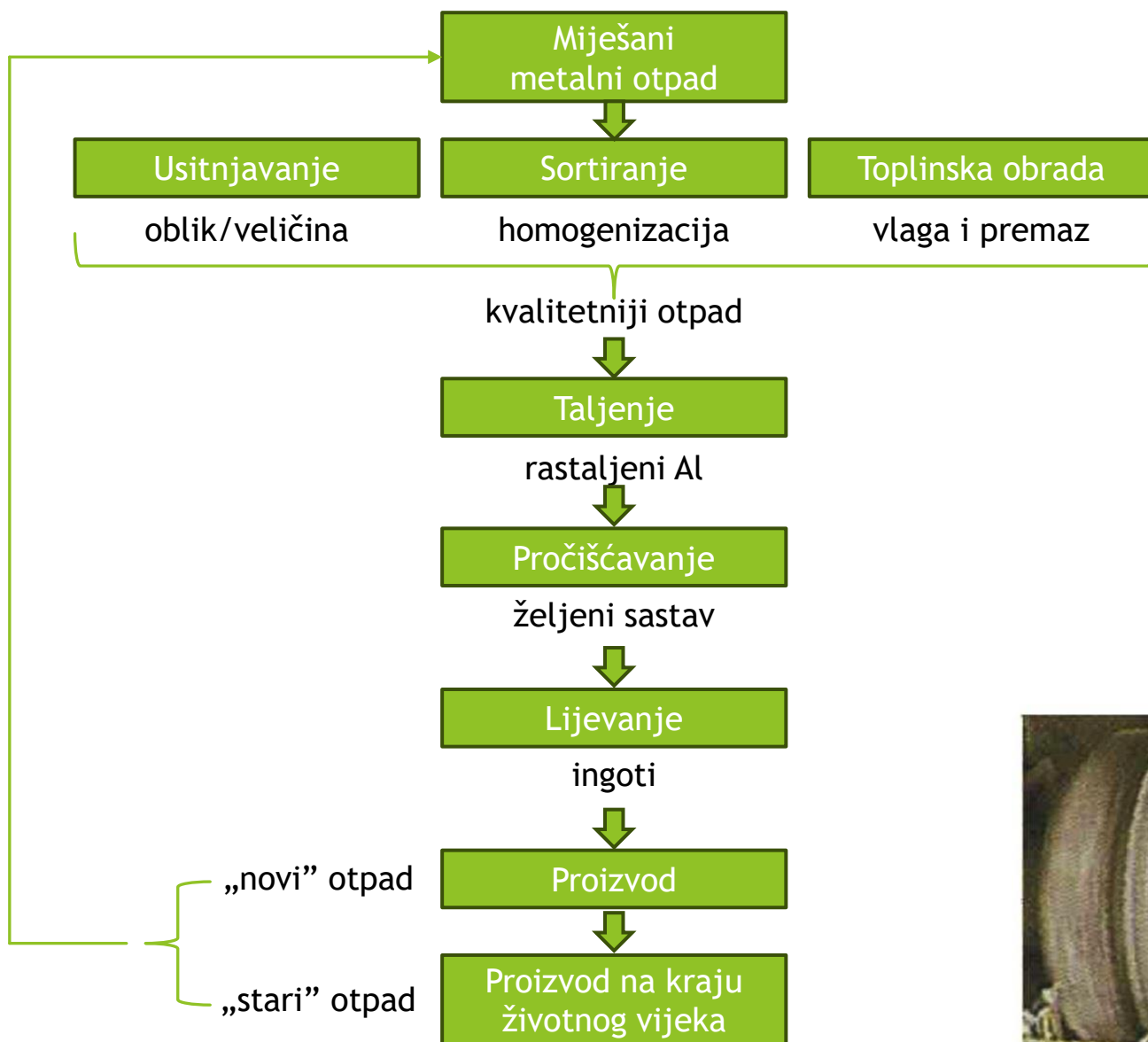
- Proizvodnja primarnog **aluminija** sastoji se od vađenja boksitne rude, konverzija Bayern procesom u Al-oksidi i zatim konverzija u aluminij Hall procesom



- Reciklirani aluminij se dobiva izdvajanjem iz metalnog otpada, rafinacijom i izlivanjem u ingote, nema energetski intenzivnih Bayer i Hall procesa
- Energija potrebna za dobivanje primarnog Al iznosi 47 MJ/kg, za reciklirani je potrebno 2,4 MJ/kg → ušteda 94 % energije i 95 % manje stakleničkih plinova
- Jedna tona recikliranog Al štedi 8 tona boksita, 14.000 kWh energije, 6400 litara nafte i 350 kg CO<sub>2</sub>
- Bakar** se proizvodi pirometalurškim procesom iz rude, a zatim se elektrolitski pročišćava
- Primarna proizvodnja ima utrošak od 16,9 MJ/kg, za recikliranje Cu utrošak je 6,5 MJ/kg → ušteda 40 %
- Reciklirani **cink** štedi 25 %, a reciklirani **kositar** i **olovo** 99 % energije

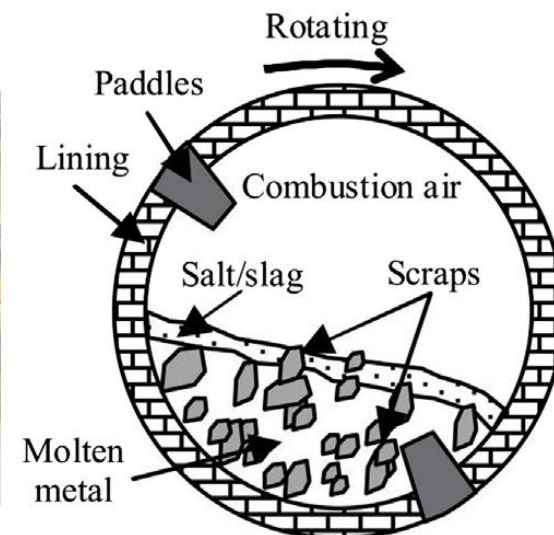
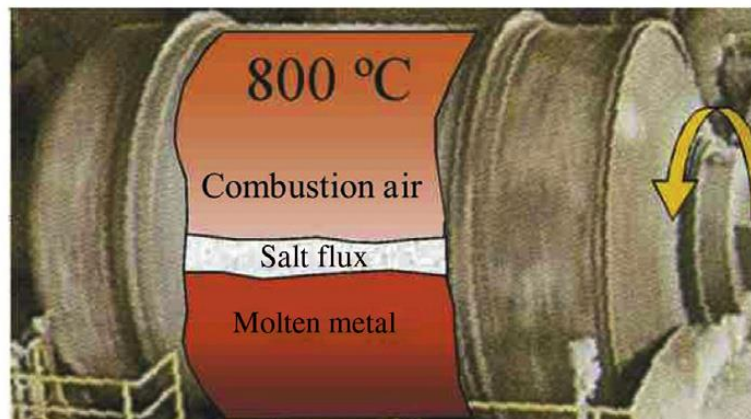


# Recikliranje metalnog otpada



## dijagram toka recikliranja Al

- usitnjavanje kako bi se dobila što manja frakcija koje se brže tali
- toplinska obrada uklanja vlagu iz otpada i premaze koji se mogu nalaziti na površini (boja, adhezivi, tinta, ulja,...)
- taljenje uz prisutnost soli (fluks)  $\text{KCl-NaCl}$ ,  $\text{KCl-MgCl}_2$  koje pomažu u uklanjanju  $\text{Li}$ ,  $\text{Ca}$
- ponekad se provodi i dodatno pročišćavanje isplinjavanjem da se ukloni otopljeni vodik
- aluminij željene čistoće se izlijeva u ingote koji se dalje prerađuju u konačne proizvode



## RECIKLIRANJE ELEKTRIČNOG I ELEKTRONIČKOG (EE) OTPADA

- Uslijed brzog napretka tehnologije novi elektronski uređaji sve su pristupačniji, pa se u svijetu stvara nekoliko **milijuna tona** elektronskog otpada, godišnje
- Osim što se nagomilava u golemim količinama, ova vrsta otpada je **vrlo opasna** za prirodu i za zdravlje
- Razlikujemo 10 vrsta EE otpada
  - veliki kućanski uređaji: štednjaci, strojevi za pranje rublja, hladnjaci
  - mali kućanski uređaji: usisavači, glačala, tosteri, fenovi
  - informatička oprema (IT) i oprema za telekomunikacije: računala, pisači, kopirke, kalkulatori, telefoni, mobiteli
  - oprema široke potrošnje za razonodu: radio i TV, videokamere, hi-fi uređaji, glazbeni instrumenti
  - rasvjetna oprema
  - električni alati: bušilice, pile, šivaći strojevi
  - igračke, sportska oprema: videoigre, računala za biciklizam, trčanje,...
  - medicinski uređaji: uređaji za dijalizu, kardiološki uređaji, radioterapijska oprema
  - instrumenti za nadzor i upravljanje: detektori dima, termostati, instrumenti za nadzor
  - samoposlužni aparati: uređaji za izdavanje toplih napitaka, bankomati

## Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

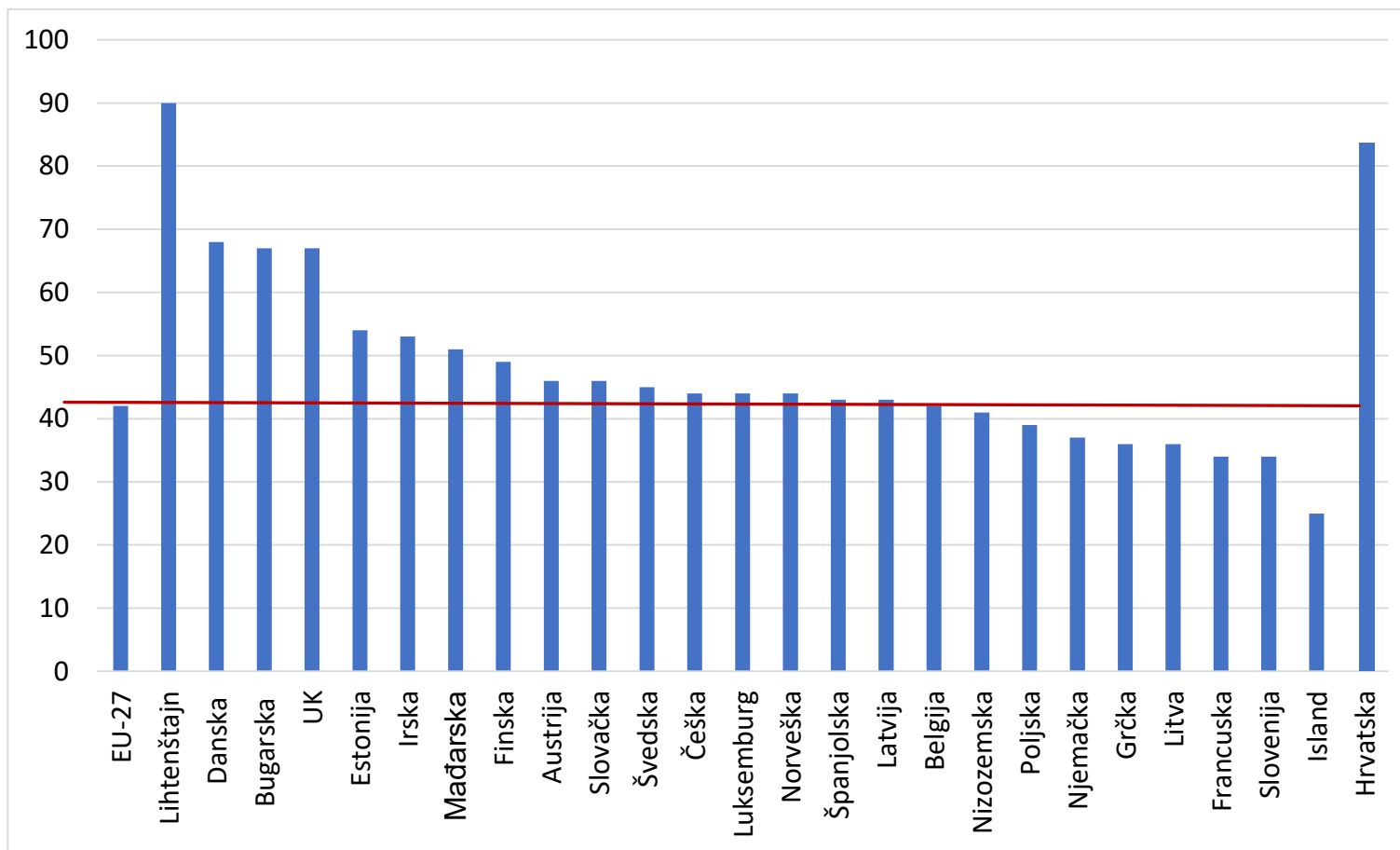
- **EE otpad** klasificiran je kao **opasni otpad** i ne smije završiti u komunalnom otpadu, te se **mora skupljati odvojeno** od ostalog otpada, spada u **posebne kategorije otpada**, za koje je uspostavljen sustav **proširene odgovornosti proizvođača**
- Zbog opasnih tvari koje su sadržane u električnim i elektroničkim uređajima:
  - toksični metali, npr. berilij, kadmij, olovo, živa, šesterovalenti krom
  - bromirani usporivači gorenja (BFRs), npr. polibromirani bifenili (PBB), polibromirani difenil eteri (PBDE)
- **Plastika** - 3-4 kilograma prosječnog računala. Pri spaljivanju, u određenom temperaturnom intervalu mogu nastati otrovni plinovi PBDE, kao i mnogi organski halogenati. U računalu se nalaze različite vrste plastike (za tiskane pločice, za kućišta, omoti kabela), stoga ih je ponekad vrlo teško identificirati i reciklirati
- **Teški metali u EE otpadu**
  - **Cd** - sadrže ga otpornici, infracrveni čitači, poluvodiči
  - **Hg** - sadrže je svjetlosne žarulje u ravnim ekranima, sklopke, sva ožičenja u tiskanim pločama
  - **Be** - nalazi se na matičnim pločama i konektorima
  - **Pb** - koristilo se u katodnim cijevima (CRT), većina spojeva na pločama je zaštićena olovom
  - **Cr(VI)** - koristi se za zaštitu od korozije kod galvaniziranih čeličnih pločica i konektora
  - **P** - koristi se kao premaz unutarnje strane monitora

## Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

- U Hrvatskoj se godišnje kupi preko 100 tisuća računala
- Ta računala nakon svega 5-6 godine postaju dio EE-otpada
- Prosječan građanin EU tijekom života odbaci oko 1 tone EE-otpada
- EE-otpad važan je izvor sekundarnih sirovina, pa se u mnogim zemljama prikuplja i ponovno koristi ili reciklira
- EE-otpad javlja se i u komunalnom i u industrijskom otpadu, a troškovi njegova oporavka iznimno su visoki
- Znatno je lakše i ekonomski isplativije reciklirati veliki bijelu tehniku iz kućanstava (80-90 %) od računala
- Države EU proizvode od 4 do 15 kg (prosjek 11 kg) EE-otpada/god/ stanovniku, u HR 2021. g, oko 9 kg/god./stanovniku, količine rastu oko 10 % svake godine

## Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

Stopa recikliranja u 2021.



## Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

- U Europi za E-otpad od početka 2003. g. objavljene su smjernice u Direktivi Europske unije - Direktiva iz 2008/98/EZ o otpadu i 2012/19/EU o otpadnoj električnoj i elektroničkoj opremi (**WEEE**) (Waste Electrical and Electronic Equipment) koja regulira prikupljanje i reciklažu E-otpada, u svim njegovim fazama
- U stvaranju direktiva sudjelovale su vodeće svjetske kompanije i brendovi, IT i foto industrije poput HP-a, Canona...
- Svaki proizvođač odgovoran je za svoje proizvode isporučene nakon kolovoza 2005. godine
- U skladu s lokalnim propisima, IBM (Lenovo) osigurava skupljanje i obradu proizvoda koje je stavio na tržište nakon 13. kolovoza 2005.
- Prepoznatljivi su po logou kante za smeće, koji se stavlja izravno na opremu, i također za proizvode stavljene na tržište prije 13. kolovoza 2005., kada se isti zamjenjuju s ekvivalentnim proizvodom ili proizvodom s istim funkcijama
- Lenovo nudi kupcima vraćanje i recikliranje otpadne električne i elektroničke opreme **iz domaćinstava i gospodarskih poduzeća** u Hrvatskoj (kućna i uredska računala)
- Vraćanje i moguće obnavljanje i **oporaba stručne električne i elektroničke opreme** (Asset Recovery Services) (serveri, radne stanice)



## Primjer postupanja EE-otpadom: oporaba tvrtke CE-ZA-R, Spectra media, Metis

- Sakupljač sav sakupljeni E otpad odvozi do svog područnog skladišta. Skladišta E otpada moraju udovoljavati propisima iz područja sigurnosti za opasan otpad:
  - nadstrešnice za kontejnere, nepropusne podne površine, protupožarne uređaje i sve ostale uređaje propisane zakonom
- Svaki područni sakupljač ima drobilicu žarulja, prijevoz drobljenih žarulja u bačvama je puno sigurniji jer fluorescentne i štedne žarulje sadrže Hg

E-otpad podijeljen je u 10 kategorija:

- veliki kućanski uređaji
- mali kućanski uređaji
- oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije
- oprema široke potrošnje za razonodu
- rasvjetna oprema
- električni i elektronički alati
- igračke, oprema za razonodu i sportska oprema
- medicinski uređaji
- instrumenti za nadzor i upravljanje
- samoposlužni aparati

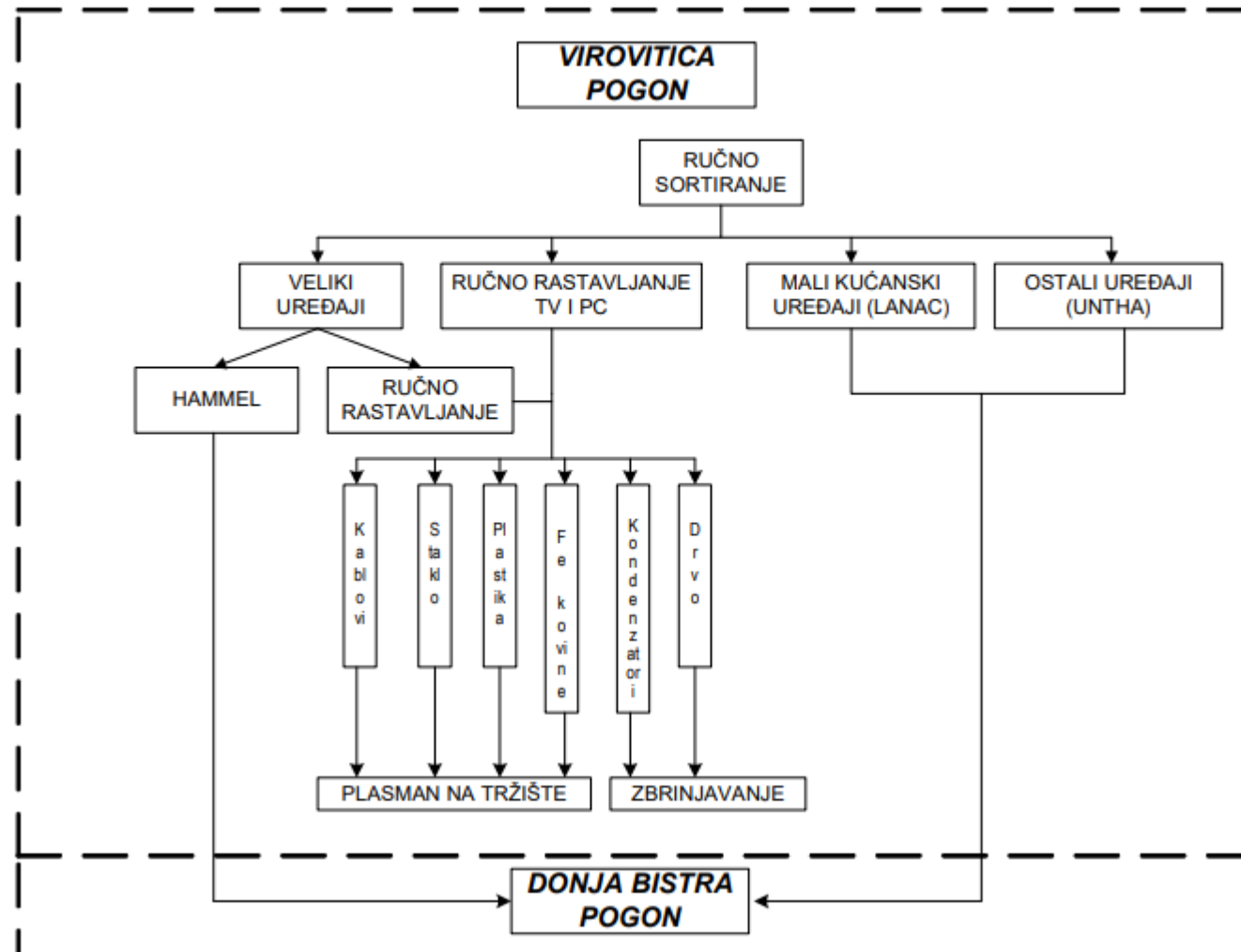
- CE-ZA-R
- METIS (Ist, Prim-Gor, Lič-Senj Ž.)

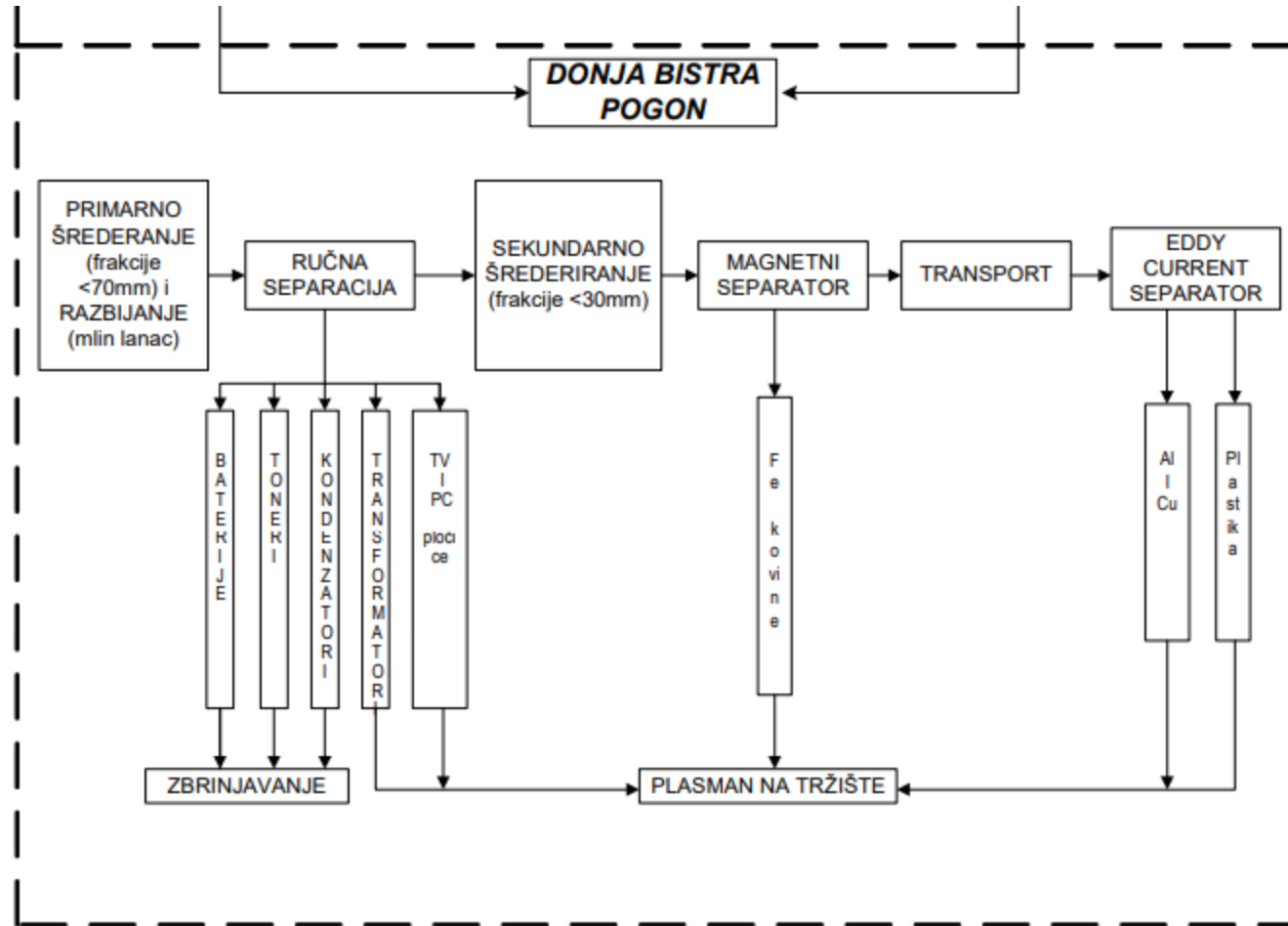
Spectra media



Primjer postupanja EE-otpadom:  
oporaba tvrtke Spectra media

**Dijagram procesa reciklaže EE otpada**





U uporabi EE otpada se primjenjuje mehaničko usitnjavanje i odvajanje. U Hrvatskoj se za sada ne rade složeniji procesi oporabe kao npr. izdvajanje plemenitih metala iz tiskanih ploča, dodatna uporaba bromirane plastike ili spaljivanje na visokim temperaturama

## Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

### Bijela rashladna tehnika

- Tri glavna materijala u otpadnoj bijeloj tehnici su **metal, staklo i plastika**
- Željezni metali više od 50 %, obojeni do 10 %, 20-25 % plastike, ostatak ulja i rashladni medij
- **Prvi korak je uklanjanje ulja i rashladnog medija**
- **Prije** su se kao rashladni medij koristili **fluoroklorouglicji** (CFC, HCFC) koji **oštećuju ozonski omotač**
- Danas su zabranjeni (ciklopentan kao rashladno sredstvo), ali se i dalje nalaze u starim uređajima (procjena da postoji u EU preko 100 milijuna takvih uređaja)
- Nakon sigurnog uklanjanja rashladnog sredstva i ulja ručno se uklanja prazni kompresor
- Ulje se odvaja od rashladnog plina i pročišćava, **odvojeni plin se komprimira** za ponovno korištenje
- Ručno se uklanjaju staklo, kablovi, prekidači koji sadrže Hg i kondenzatori i odvojeno se zbrinjavaju
- Ostatak je metal i plastika (ABS od kojeg se izrađuje kućište, poliuretani koji se koriste kao toplinska izolacija), odlaze na usitnjavanje
- Dalje se za razdvajanje koriste ranije prikazane metode (**magnet, vrtložne struje, cikloni**)
- **Usitnjavanje se provodi u inertnoj atmosferi ( $N_2$ )** jer je ciklopentan koji se koristi i kao sredstvo za napuhavanje PU spužvi **eksplozivan**

# Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

## Bijela rashladna tehnika

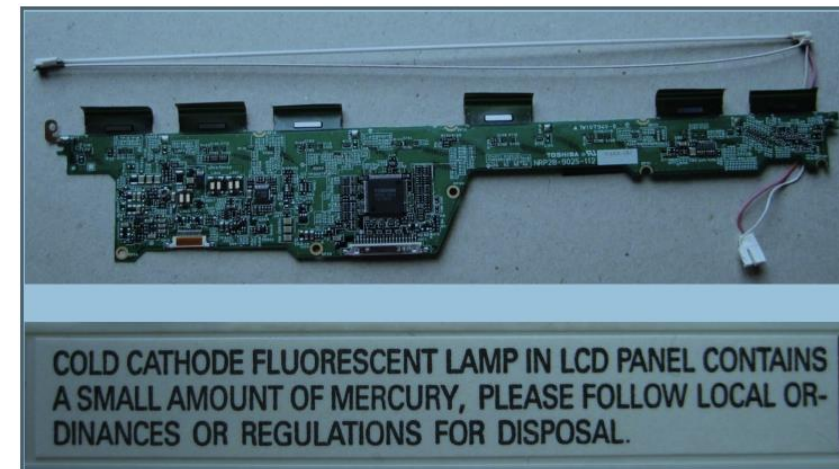


<https://www.youtube.com/watch?v=6o5VJiQVwyg>

## Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

### LCD/LED monitori

- Prve generacije LCD monitora su imale **pozadinsko osvjetljenje** bazirano na živi → **opasni otpad**
- Današnji LED monitori ne sadrže živu, ali još uvijek je veliki broj monitora starije generacije u upotrebi i godinama će završavati na otpadu
- LED monitori sadrže As, Ga ili CdS u slučaju LED monitora baziranih na kvantnim točkama (npr. Samsung QLED)
- Zbog sadržaja žive u LCD panelima nije ih moguće direktno drobiti već je potrebno **ručno rastavljanje**
- U skladu sa zahtjevima EU monitori se moraju dizajnirati tako da se lako mogu rastaviti - „*design for disassembly*” (DfD)
- Uklanjanje žive se odvija u kontroliranim, ventiliranim uvjetima kako bi se koncentracija držala ispod granične vrijednosti od  $20 \text{ g/m}^3$
- Rastavljanjem se mogu dobiti frakcije: pocinčani čelik, aluminij, reciklabilna plastika (ABS, HIPS, polikarbonat), bakar iz kablova, indij iz ekrana, **tiskane elektroničke pločice (PCB)**



## Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

### Tiskane elektroničke pločice (*printed circuit board, PCB*)

- Mehanički i električki povezuje elektroničke komponente, sastoji se od **podloge od izolatorskog materijala** na kojoj se različitim postupcima oblikuje **vodljiva struktura**
- Podloga se tipično izrađuje od celuloznih vlakna impregniranih fenolnom smolom ili staklenih vlakana impregniranih epoksidnom smolom, koriste se i drugi materijali kao što su fluoropolimeri i keramika
- Sadrži brojne vrijedne i plemenite metale, Au, Ag, Pd, Sn, Ni, Cu, Al



| Metal | Sadržaj (%) | Cijena (\$/kg) | Vrijednost* (\$) |
|-------|-------------|----------------|------------------|
| Cu    | 9,7         | 3,6            | 349,2            |
| Al    | 5,8         | 1,7            | 98,6             |
| Ni    | 0,69        | 10,5           | 72,5             |
| Sn    | 2,15        | 13             | 279,5            |
| Ag    | 0,06        | 315            | 189              |
| Au    | 0,023       | 24.434         | 5.620            |
| Pd    | 0,01        | 6.100          | 610              |

\* za tonu PCB-a

- profitabilnija ekstrakcija metala iz PCB-a nego iz rude
- najveća ekonomska vrijednost za Cu, Sn, Ag, Au i Pd

## Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

### Tiskane elektroničke pločice (*printed circuit board, PCB*)

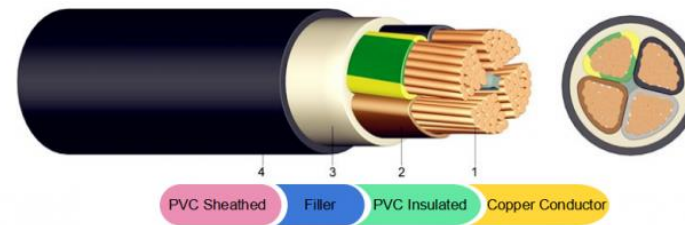
- Prvi je korak ručno rastavljanje na komponente: baterije, kondenzatori, transformatori
- Slijedi drobljenje i usitnjavanje, razdvajanje pomoću magneta i vrtložnih struja
- Za izdvajanje željenih metala koriste se **pirometalurški** ili **hidrometalurški** proces
- **Pirometalurgija** uključuje spaljivanje u visokoj peći (*blast furnace, BF*) ili plazma peći, taljenje i sinteriranje i reakcije u plinskoj fazi na visokoj temperaturi
- **Hidrometalurgija** se sastoji od serije kiselinskog ispiranja ili jetkanja (halidi, tiourea, tiosulfat), nakon čega slijedi proces odvajanja i pročišćavanja adsorpcijom, ionskom izmjenom, redukcijom i kristalizacijom da bi se dobili željeni metali
- **Staklena vlakna** se izdvajaju iz drobljenih pločica **ciklonima**, dok se **polimerne smole spaljuje na visokim temperaturama** jer vrlo često sadrži bromirane usporivače gorenja



# Recikliranje električnog i elektroničkog otpada

## Recikliranje električnih i komunikacijskih kablova

- Vodiči - Al, Cu
- Izolacija - polimeri (PE, PVC, poliesteri)



- moguće na tržište staviti kabel s izolacijom - najniža cijena
- razdvojene frakcije postižu najvišu cijenu

# POLIMERNI/PLASTIČNI OTPAD

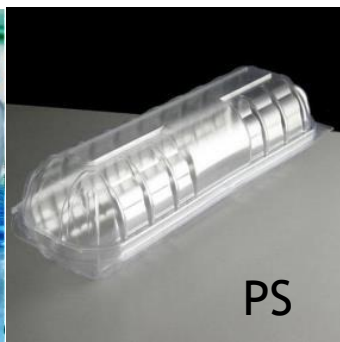
## Polimeri

- Polimeri su (većinom) organski materijali, tj. molekule velike molekulske mase (makromolekule), koje nastaju sintezom molekula male molekulske mase (monomera) procesima polimerizacije gdje dolazi do kemijskog povezivanja monomera u makromolekulu
- Najjednostavniji polimer je polietilen, nastaje polimerizacijom etena (etilena)



- Otkriveni su krajem 19. i početkom 20. stoljeća, masovna upotreba od 1930.-ih
- Molarne mase preko 50.000 g/mol pa sve do 6.000.000 g/mol
- **Većina se dobiva od nafte** (4 % godišnje proizvodnje nafte), mali udio je biljnog porijekla (celuloza, kitozan, prirodna guma)
- Uglavnom nisu biorazgradljivi

# Polimerni/plastični otpad

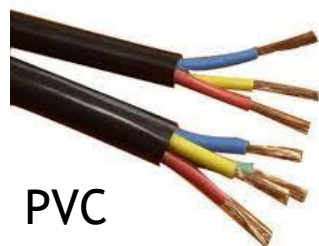


Ambalaža



stiren-butadien

Transport



Elektronika



Građevina

poliester



Odjeća



Medicina

- lako se prerađuju
- jeftini
- lagani
- žilavi
- savitljivi
- široki raspon svojstava



Kućanski uređaji

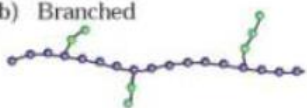
# Polimerni/plastični otpad

## Vrste polimera

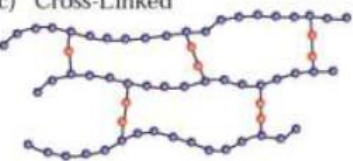
(a) Linear



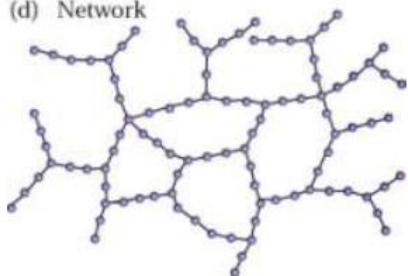
(b) Branched



(c) Cross-Linked



(d) Network



- **Termoplasti** - neumreženi, mogu biti linearni ili razgranati lanci
- **Mogu se višestruko taliti** bez gubitka svojstava
- Polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS),...

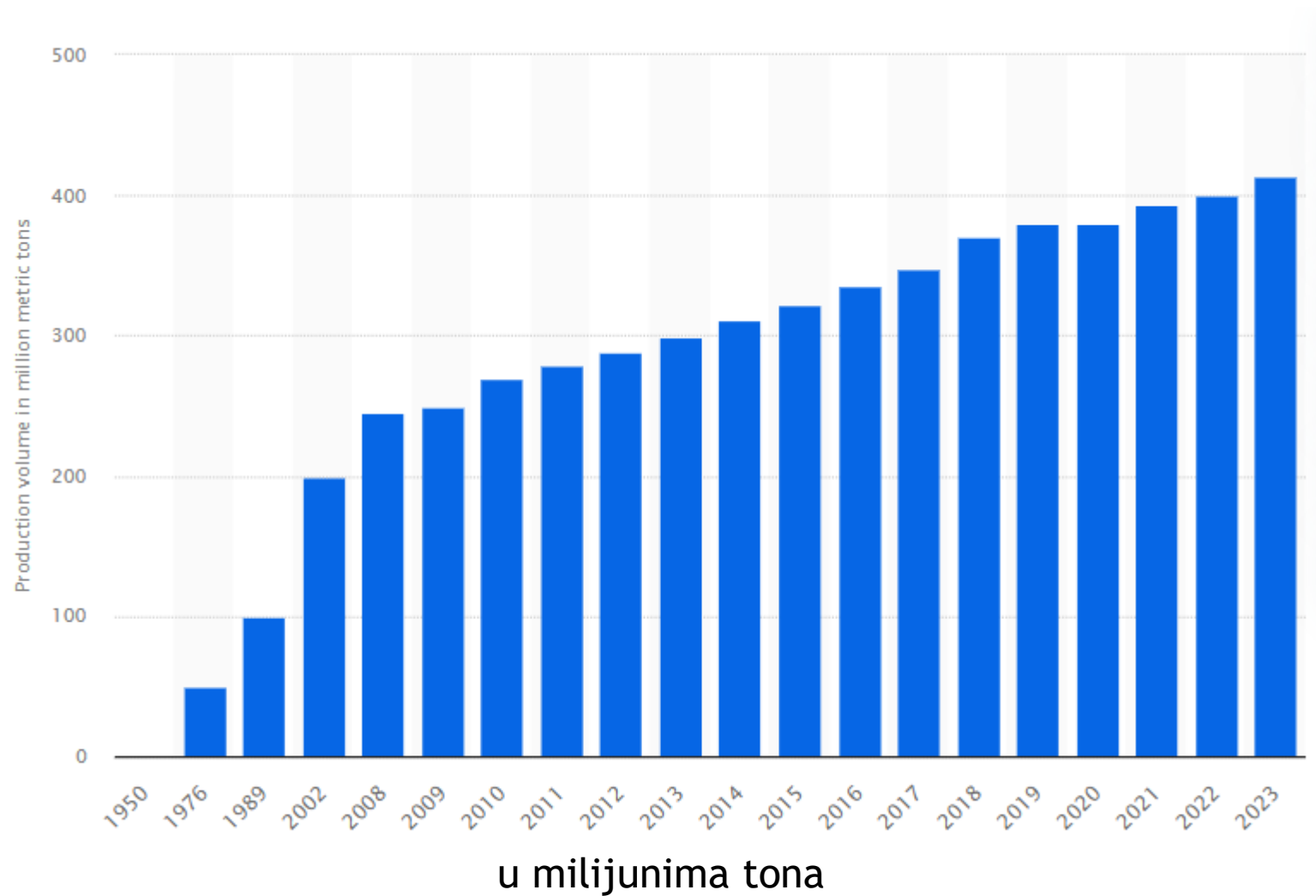
- **Elastomeri** - umreženi, kemijski povezani lanci
- Gumeni materijali, visoka istezljivost
- **Ne mogu se pretaljivati**

- **Termoseti** - gusto umreženi, kemijski povezani lanci
- Tvrdi i snažni materijali
- **Ne mogu se pretaljivati**
- Epoksidne, polisterske, alkidne smole,...

- **Termoplasti i termoseti** pripadaju u **plastiku** - karakteristična plastična deformacija

## Polimerni/plastični otpad

### Svjetska godišnja proizvodnja plastike



# Polimerni/plastični otpad

## Upotreba plastike po sektorima



- 40 % - ambalaža
- 20 % - građevina
- 10 % - auto industrija
- 6 % - elektronika
- 4 % - zabava i sport
- 3 % - agrikultura
- 17 % - ostalo

|                 | % upotrebe | % u otpadu<br>nakon 1. godine |
|-----------------|------------|-------------------------------|
| Ambalaža        | 40         | 82                            |
| Elektronika     | 6          | 48                            |
| Auto industrija | 10         | 31                            |
| Građevina       | 20         | 13                            |
| Ostalo          | 24         | 45                            |

## Polimerni/plastični otpad



- Neodgovorno odbačena plastika vidljivo i dugotrajno onečišćuje okoliš, ne uklapa se u prirodne kružne tokove - **nije biorazgradljiva**
- 75.000 do 300.000 t/god završi u morima u EU



## Polimerni/plastični otpad

### Zašto plastična ambalaža?

- Od sredine dvadesetog stoljeća dolazi do **značajnih promjena u načinu života** u razvijenim zemljama
- One su imale **veliki utjecaj na način pakiranja robe**, to se posebno odnosi na hranu i piće, ali i na svu ostalu robu široke potrošnje
- Smanjenje veličine obitelji jedinice, zbog smanjenog nataliteta. To je povećalo broj obitelji s jednim djetetom i povećalo broj jednočlanih i dvočlanih kućanstava nego ranije. To znači **zahtjev za manjim pakiranjima, tj. više pakiranja po kg hrane**
- Porast broja kućanstava u kojima su svi odrasli, rade izvan kuće. To znači manje formalnih obroka gdje su svi zajedno. Obroci su potrebni u različito vrijeme i s minimalnim pripremama
- Ovo donosi veću potražnju za praktičnošću u smislu veličine porcije i hrane koja se može pripremiti za jelo u kratkom roku
- Potreba za gotovim jelima i različitim formatima pakiranja

## Polimerni/plastični otpad

### Zašto plastična ambalaža?

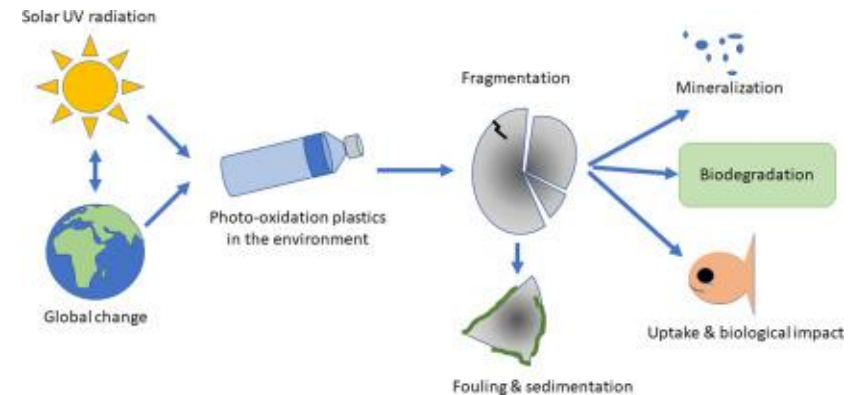
- **Oko 70 % ambalaže koristi se za hranu i piće**, ostali sektori su zdravstvena njega, kozmetički proizvodi, kemikalije, odjeća, električna i elektronička oprema → svi trebaju pakiranje kako bi se osiguralo da roba potrošaču ostane u prihvatljivom stanju
- Današnja globalna industrija pakiranja procijenjena je na više od 400 milijardi USD, grubo podijeljeno na 36 % papira i kartona, 34 % plastike, 17 % metala (čelik i aluminij) i 10 % stakla, ostatak se sastoji od materijala kao što su drvo i tekstil
- Prvi plastični materijali otkriveni u 19. stoljeću (PS, PVC), široka upotreba kao ambalažni materijal od 1940.-ih
- **Plastika je zamijenila tradicionalnije materijale (staklo, metal)**
  - Ambalaža za vodu i gazirana pića od PET-a umjesto stakla
  - Boce od HDPE za mlijeko umjesto stakla
  - Savitljive plastične vrećice za juhe, umake, hranu za kućne ljubimce
- Plastika je donijela **veću otpornost na lom od stakla**, omogućila **manju masu** pakiranja, što se odrazilo na ukupne manje troškove pakiranja i troškove prijevoza
- Npr. staklena boca od 500 mL ima oko 400 g, PET boca od 500 mL ima masu oko 10 g

## Polimerni/plastični otpad

- Vizualno onečišćenje okoliša



- Razgradnja uslijed utjecaja okoliša (temperatura, UV zračenje, mehaničko naprezanja,...) vodi fragmentaciji plastike i nastanku **mikroplastike**



- Polimerne makromolekule su inertne i neopasne, **problem** predstavljaju niskomolekularni spojevi - **aditivi** koji se dodaju u plastiku
- antioksidansi, UV stabilizatori, usporivači gorenja, omekšavala (npr. ftalati u PVC-u) se mogu ispirati (*leaching*) u zemlju i vode

## Polimerni/plastični otpad

- **Plastični otpad može biti i opasni otpad**
  - ambalaža sredstava za čišćenje sadrži lužine i klorirane spojeve
  - sredstva za zaštitu biljaka i uništavanja nametnika
  - ostaci motornih ulja
  - medicinski otpad - šprice, kateteri, sistemi za infuziju
  - ostaci ljepila, boja i lakova - sadrže visoke udjele organskih otapala, pigmente na bazi teških metala



# Polimerni/plastični otpad

## Mikroplastika

Mikroplastika je posvuda. No, postoji način da je uklonite iz vode koju pijete

Tihana Janić Dauenhauer  
10.03. 08. ožujka 2024.



Foto: Shutterstock

MIKROPLASTIKA se u novije doba nalazi posvuda. Ima je u čaju koji smo naručili u kafiću, u vodi,

Google oglasi

Više ne prikazuj taj oglas

Zašto ovaj oglas?

NAJNOVIJE NAJČITANIJE VEZANO

6 min EK kaznila česku i austrijsku željezničku tvrtku zbog suzbijanja konkurencije

14 min FOTO Sudar auta i kombija na Podravskoj magistrali, kombi se zapalio

15 min Održana prva sjednica Vijeća za hrvatski jezik

Koliko mikroplastike unosimo u tijelo? Nalazi se u mesu, mlijeku, ribi, vodi, zraku

Index Food  
08.02. 03. veljače 2023.



Foto: Shutterstock

Google oglasi

Više ne prikazuj taj oglas

Zašto ovaj oglas?

NAJNOVIJE NAJČITANIJE VEZANO

42 min Domaća juha od virganja: Dobili smo recept iz 50-godišnjeg restorana Zganjer

1 h Lokal u Rijeci proglašen najboljim kafićem u Hrvatskoj koji nudi specialty kavu

Alarmantni rezultati studije: 'Pronašli smo mikroplastiku u baš svakoj posteljici koju smo testirali'

Mikroplastika je pronađena i u arterijama, krvi i majčinom mlijeku



NE MELJITE PLASTIKU Iz trgovina se masovno povlače mlinci za krupnu sol

06. 05. 2024. 09:29

AUTOR: ST.B.



Znanstvenici upozoravaju: Otkrivamo sve više mikroplastiku u ljudskim organima



NAJČITANIJE

NIJEMCI PROMIJENILI PRAVILA  
Zabranjene gume koje su u Hrvatskoj jako popularne, kazne i do 120 eura: 'Dovoljno ...

IZMJENE UVJETA  
Zagrebačka banka poslala važnu obavijest svojim korisnicima, evo što se mijenja...

SLOVO ZAKONA  
Donosimo 'cjenik policijskih usluga': Evo koliko trebate dati agrijesite li nešto od ovoga

ISPOKRISTITE PRAVNU  
FOTO Ovaj stari namještaj vam

ZABRINJAVAJUĆE SPOZNAJE

Ljudski mozak sadrži sve više plastike: Za 8 godina njen udio u mozgu porastao za 50 posto

Piše Marijana Matković, ponedjeljak, 26.8.2024. u 11:30



# Polimerni/plastični otpad

## Mikroplastika

- Mikroplastika (MP) su vrlo male, krute čestice sintetskih polimera
- Općenito, pojam “**mikroplastika**” se odnosi na **čestice manje od 5 mm**, prihvaćeno jer je to granična veličina koju može progutati većina organizama
- Novije definicije uključuju
  - mezoplastika 1-5 mm
  - mikroplastika 0,1-1 mm
  - nanoplastika <0,1 mm
- **Primarna MP** je **proizvedena kao male čestice** i koristi se u specifičnim proizvodima, abrazivna kozmetika i proizvodi za osobnu njegu (*peeling* kreme), kao i za abrazivna sredstva za čišćenje
  - može dospjeti u vodu putem postrojenja za obradu komunalnih voda
- **Sekundarna MP** nastaje fragmentacijom polimernih materijala tijekom upotrebe, trošenje guma, pranje tekstilne odjeće, i raspadom većih plastičnih proizvoda

# Polimerni/plastični otpad

## Mikroplastika

- Čestice MP stvaraju biofilm u morima i oceanima - smanjuju prodor svjetla važnog za vodene organizme
- Različiti tipovi MP na različitim dubinama
- Zbog fizikalno-kemijskih svojstava MP i visokog omjera površina/volumen, različita vodena onečišćenja se mogu adsorbirati na površinu MP, pa može djelovati kao vektor za transport onečišćenja na velike udaljenosti
- EU ograničila/zabranila korištenje MP u kozmetičkim proizvodima

