

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

ZBRINJAVANJE POLIMERNOG OTPADA

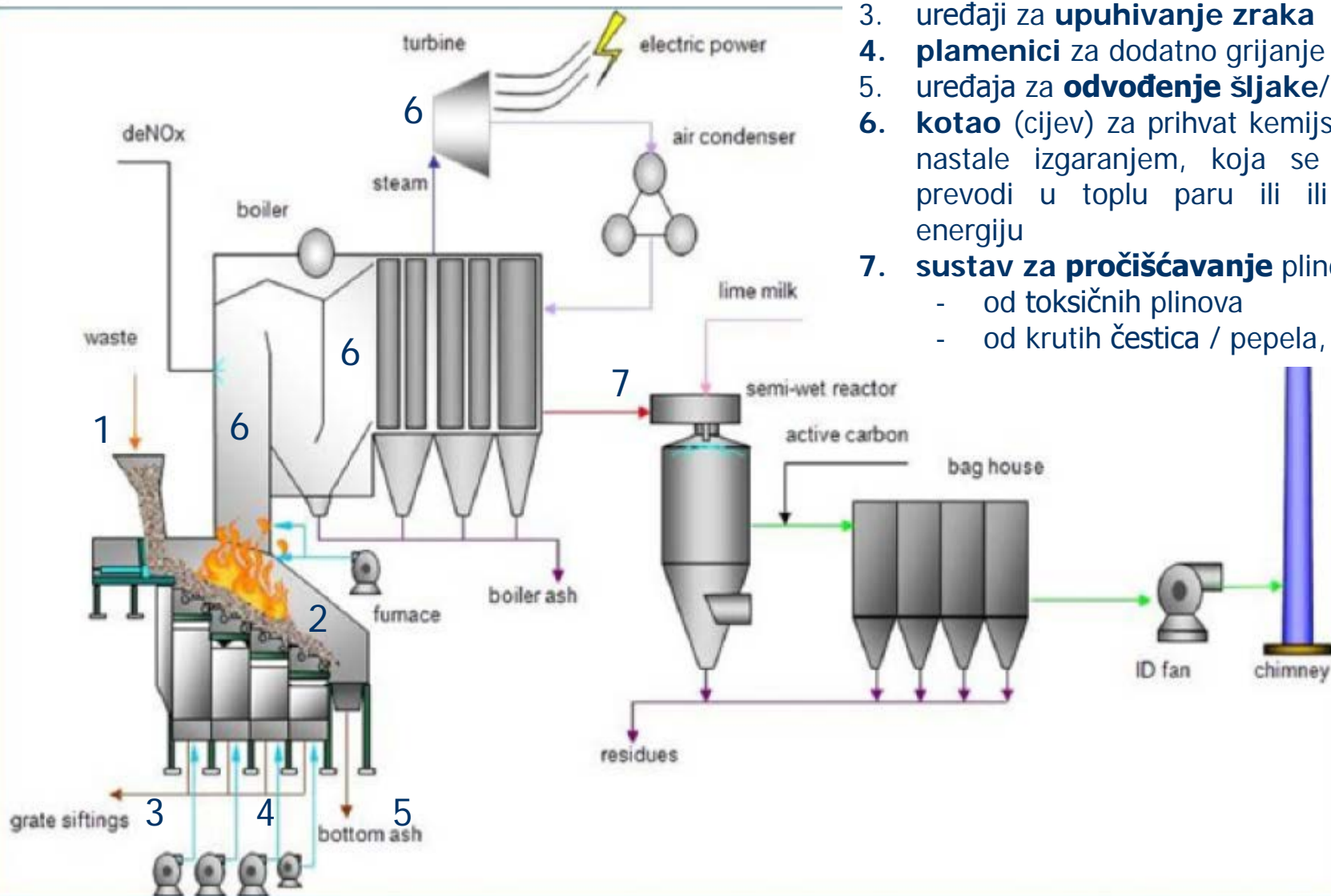
Studij: **EKOINŽENJERSTVO**

Predmetni nastavnik:

Dr. sc. Zlata Hrnjak – Murgić, red. prof.
zhrnjak@fkit.hr

Energetska uporaba spaljivanjem

1. **lijevaka** za prihvat otpada
2. **ložište** (središnji dio postrojenja za spaljivanje otpada)
3. uređaji za **upuhivanje zraka**
4. **plamenici** za dodatno grijanje ložišta
5. uređaja za **odvođenje šljake**/ pepela
6. **kotao** (cijev) za prihvat kemijske energije nastale izgaranjem, koja se hlađenjem prevodi u toplu paru ili ili električnu energiju
7. **sustav za pročišćavanje** plinovite faze
 - od toksičnih plinova
 - od krutih čestica / pepela, ...



Tehnološki postupci energetske uporabe spaljivanjem

- ❑ Spaljivanje na roštilju
- ❑ Spaljivanje u vrtložnom sloju
- ❑ Spaljivanje u rotacijskim pećima

Energetska uporaba u spalionicama podrazumijeva više **različitih sustava za spaljivanje (peći)**, konstrukcija peći prilagođeno je vrsti otpada

- visoko energetske otpad
- nisko energetske otpad
- otpad s visokim sadržajem klora,

Spaljivanje na roštilju

- najstariji način toplinske obrade **miješanog** otpada
- omogućuje kontrolirano i potpuno izgaranje otpada

Sustav se sastoji od:

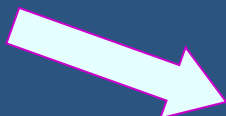
- **lijevaka** za prihvata i transport otpada do **roštilja**
- **roštilja** (*središnji dio postrojenja za spaljivanje otpada*) sastoji se od opreme za:
 - uređaja **punjenje ložišta**
 - uređaja za dobavu **zraka**
 - uređaja za odvođenje **šljake**
- **kotla** (cijev) za prihvata nastale kemijske energije izgaranjem, koja se prevodi u toplinu ili električnu energiju.
- **Sustava za pročišćavanje** plinovite faze i odvoz donjeg pepela



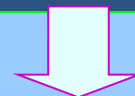
Za proces spaljivanja potrebna je manja priprema i predobrada otpada, ali je važna jer se spaljivanjem otpad stalno i nekontrolirano mijenja.

Mijenja se:

- sastav
- oblik
- gustoća
- zapaljivost i
- energijska vrijednost



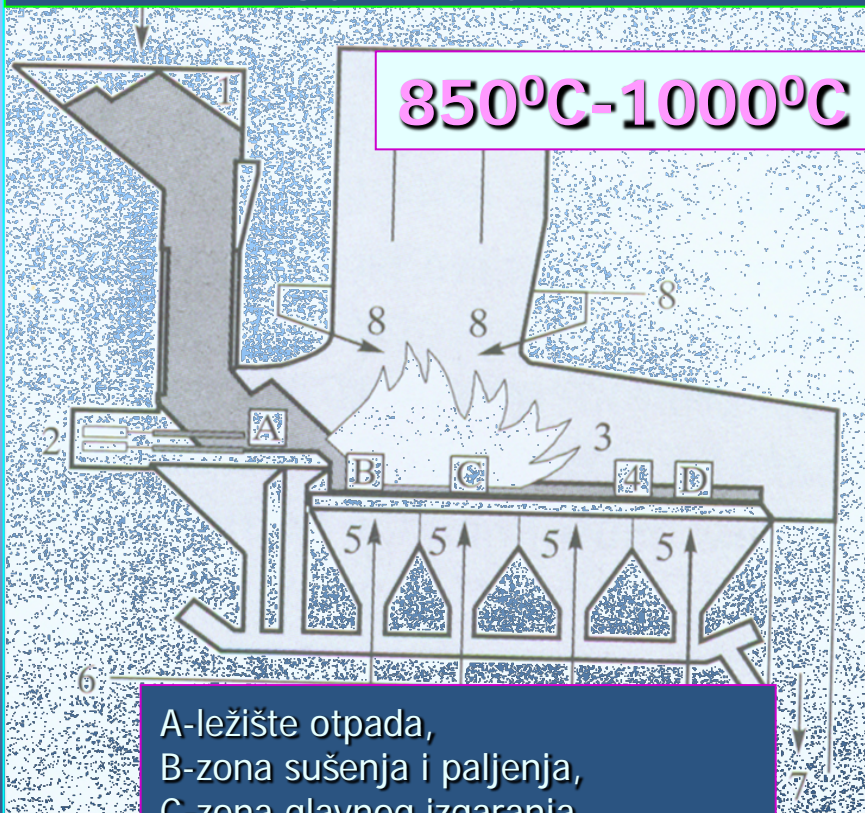
Nehomogen i promjenljiv
miješani otpad izgara na
roštilju



Koji je izuzetno **mehanički, toplinski i kemijski opterećen** - trajnost mu je **ograničena**, a utječe na proces spaljivanja, tj. na kontrolu procesa.

Kontrolirani uvjeti:

- niže koncentracija nus produkta
- uslijed potpunog izgaranja



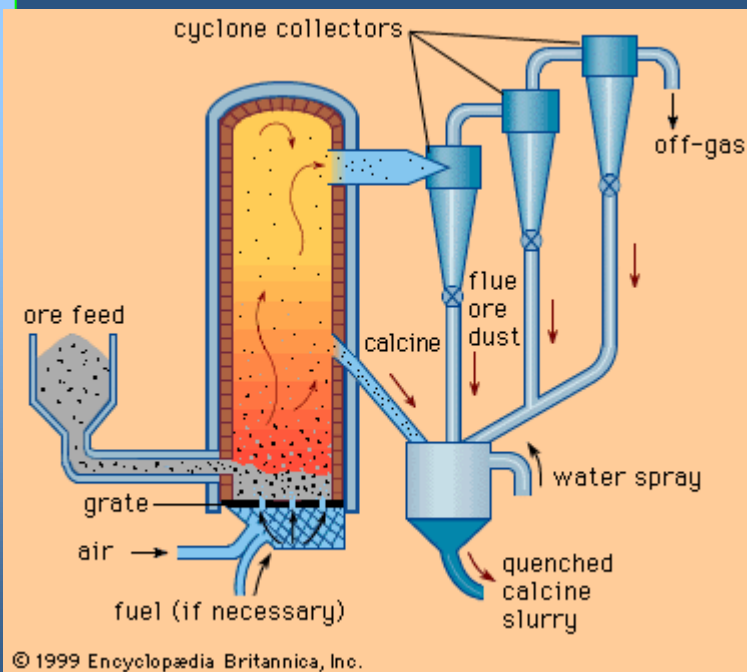
A-ležište otpada,
B-zona sušenja i paljenja,
C-zona glavnog izgaranja,
D-zona naknadnog izgaranja.

- **Toplinska razgradnja** otpada na roštilju ovisi o
 - sastavu otpada i o
 - njegovoj toplinskoj vrijednosti,
 - traje 30-90 minuta.
- Pri spaljivanju **udio neizgorenih** organskih tvari iznosi **1-3%**.

- Osnovni zadatak izgaranja je inertizacija – **mineralizacija otpada**, tj. najveća moguća toplinska *razgradnja*.
- Zbog toga je važna izvedba: **roštilja, ložište i dovođenje zraka** (*optimalna konc. zraka*) - omogućuje **potpuno izgaranje**
- Kvalitetno spaljivanje postiže se toplinskom obradom otpada pri **najnižoj temp. od 850°C** u trajanju od **2 sek.**
- Na početku procesa spaljivanja ložište se **dodatno zagrijava** s plamenicima jer se **snižava** radna temperatura **uslijed ubacivanja otpada**.

Spaljivanje u vrtložnom sloju

- Proces izgaranja u vrtložnom sloju razvijen je zbog **niske** ogrjevne vrijednosti **komunalnog otpada**, zbog visokog udjela vlažnih tvari, a malog udjela polimernog otpada **vrlo niska**.
- Proces izgaranja u vrtložnom sloju pogodan je za **istovrsni otpad** s **nižom ogrjevnom vrijednošću**.

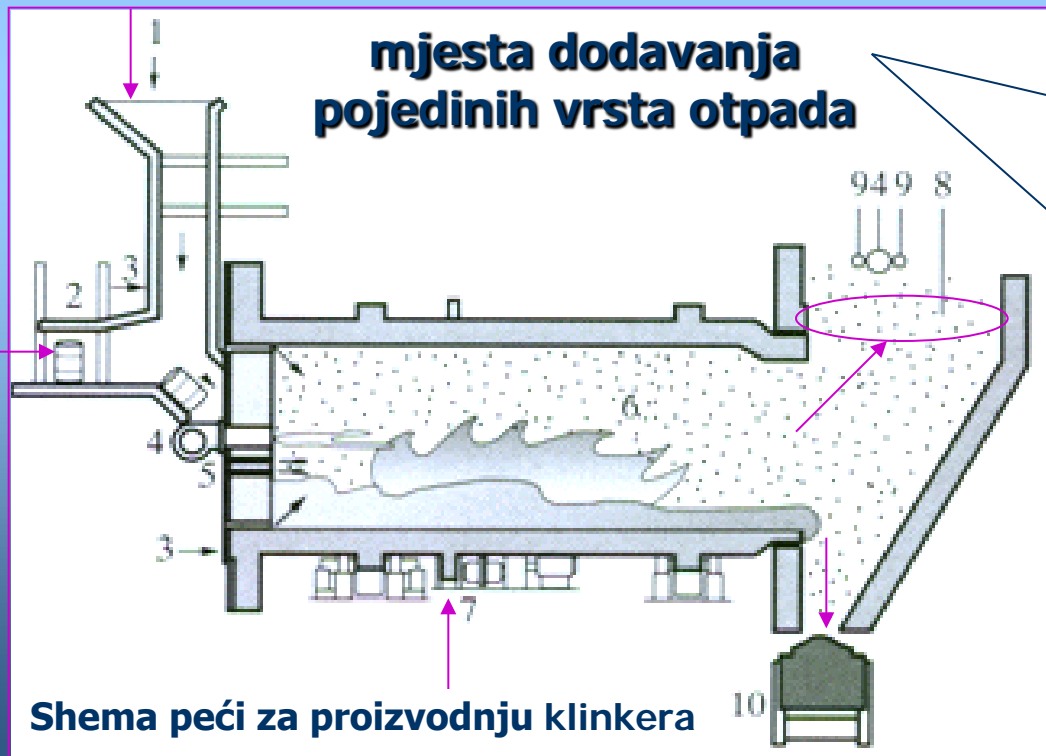


- Dobro izgaranje se postiže **neovisno o veličini** zrna **otpada**, tj. obliku tvari.
- **Manje zrna otpada** ima veću brzinu i kraće vrijeme toplinske obrade, reakcija je brža zbog **veće dodirne površine s kisikom**.
- **Veće čestice** dulje ostaju u ložištu i time je dulje vrijeme njihove toplinske obrade - izgaranja.

- **Toplinska obradba otpada u vrtložnom sloju s aspekta zaštite okoliša, osigurava:**
 - potpuno izgaranje,
 - manje količine dimnih plinova,
 - minimalne potrebe za odlaganjem,
 - dobra termodinamička svojstva,
 - brzo pokretanje i zaustavljanje postrojenja veća iskoristivost postrojenja
- Sve specijalizirane spalionice otpada imaju dobre uvjete za spaljivanje **PO** uz poštivanje mjera zaštite okoliša.

Spaljivanje u rotacijskim pećima

- **Rotacijske peći za proizvodnju cementnog klinkera** sve se češće koriste za **zbrinjavanje** otpadnih materijala, a posebno što se tiče **polimernog materijala** kao što su gume i ambalaža.
- Rotacijske su peći **primjerene za kruti, kašasti i tekući otpad**, a **vrijem zadržavanja** otpada u rotacijskoj peći **prekratko je za potpuno izgaranje** pa se primjenjuje *kombinacija* s roštiljem i/ili komorom naknadnog izgaranja.



- 1-dodavanje krutog otpada,
- 2- dodavanje bačvi,
- 3-primarni zrak,
- 4-plamenik za tekući otpad,
- 5-dodavanje, kašastog i tekućeg otpada,
- 6-prostor izgaranja,
- 7-pogon rotacijske peći,
- 8- komora, naknadnog izgaranja,
- 9-ubrizgavanje vode,
- 10-otpremanje šljake.

Temperature **materijala** i **plinova** u cementnoj peći suhog postupka sa ciklonskim izmjenjivačem topline

Najčešće peći u hrvatskoj cementnoj industriji i karakteristike spalionica otpada

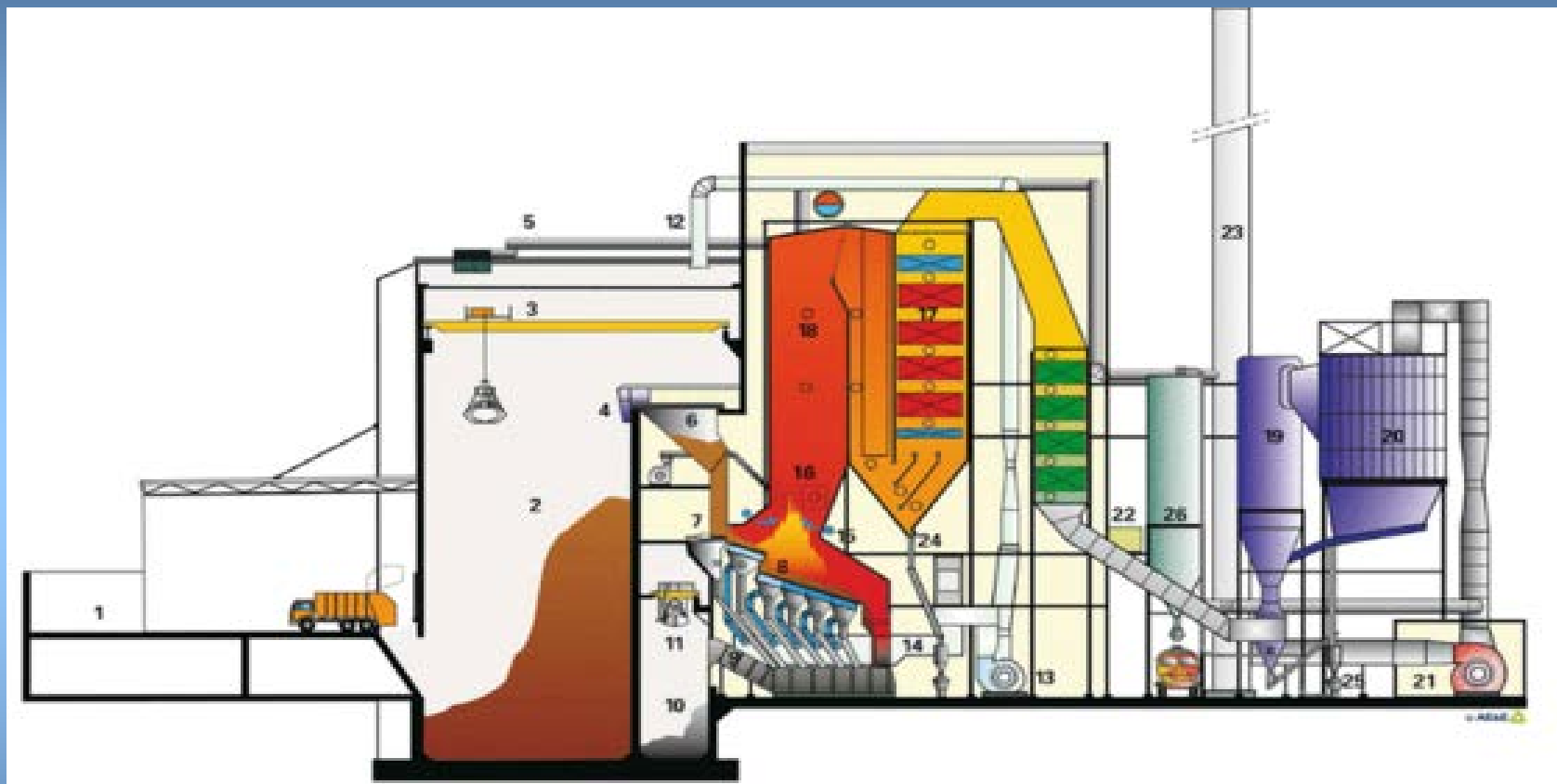
Parametar	Cementna peć	Spalionica opasnog otpada
Najviša temperatura plamena	> 2200 °C	> 1500 °C
Najviša temperatura materijala	1400-1500 °C	> 1400 °C
Zadržavanje plinova > 1100 °C	6-10 sekundi	0-3 sekunde
Zadržavanje materijala > 1100 °C	20-30 minuta	2-20 minuta
Oksidacijska atmosfera	Da	Da
Turbulencija Reynolds-ov broj	> 100.000	> 100.00

■ Uporaba plastičnog otpada u cementnim pećima

- Cement je, uz vapno i gips, najvažnije vezivno sredstvo u građevinarstvu. To je fino mljeveno hidraulično vezivo za mort i beton koji se uglavnom sastoji od spojeva kalcijeva oksida sa silicijevim dioksidom te aluminijeva i željeznog oksida, nastalih sinteriranjem ili taljenjem.
- Pri izboru goriva treba ispitati njegov mogući utjecaj na tijek proizvodnje u postrojenju, kao i utjecaj na kvalitetu cementa te ekonomski opravdanu cijenu.
- Stalna poskupljenja fosilnih goriva od 70-tih godina potaknula su prelazak na jeftinija zamjenska goriva. Tako se već od ranih 80-tih godina koriste gumeni pneumatici, mljeveni otpad te plastični kućni otpad kao gorivo.

Prednost spaljivanja npr. auto guma u cementnim pećima je zamjena za gorivo (ugljen) a čađa kao neizgoreni dio dodaje se u cement (doprinosi njegovoj kvaliteti)

Postrojenje za spaljivanje na rešetkama s vertikalnim kotlom i sustavom za kontrolu onečišćenja zraka (WSP Environmental Limited, 2013.)



Primitak i skladištenje otpada

1. i 2. prihvat otpada
3. dizalica za otpad
4. kontrolna kabina
5. ventilacija

Izgaranje

6. i 7. dovod otpada
8. pokretne rešetke
9. ispuštanje pepela
10. sakupljanje pepela,
11. distribucija pepela
12. ulaz zraka
13. cirkuliranje zraka
14. distribucija zraka
15. dr. faza ulaska zraka
16. početak gorenja
17. parni generator

Obrada plina

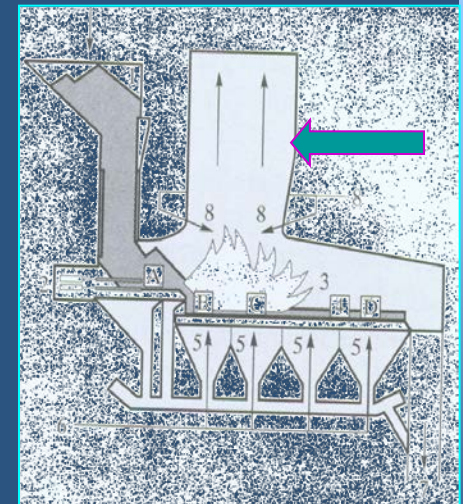
18. Dodavanje reagensa
19. Reaktor za sušenje
20. vrećasti filter
21. Inducirano sušenje
22. Kontrola emisija
23. Ostatak
- 24.-26. Obrada ostatka

Vrijednosti **dozvoljenih emisija** za postrojenja za spaljivanje otpada u EU

		Razdoblje	EU	Švedska	Norveška	Njemačka	Nizozemska	UK
Čestice	mg/Nm ³	dnevno	10	10	10	10	5	10
TOC	mg/Nm ³	0,5-8 h	10	10	10	10	10	10
HCl	mg/Nm ³	dnevno	10	10	10	10	10	10
HF	mg/Nm ³	dnevno	1	1	1	1	1	1
SO₂	mg/Nm ³	dnevno	50	50	50	50	50	50
NO_x	mg/Nm ³	dnevno	200/400 ¹	200/400 ¹	200	200	200	200/400 ¹
CO	mg/Nm ³	dnevno	50	50	50	50	50-150 ²	50
Hg³	mg/Nm ³	dnevno	N/A	N/A	N/A	0,03	0,03	N/A
		0,5-8 h	0,05	0,05	N/A	0,05	0,05	0,05
Cd, Tl	mg/Nm ³	0,5-8 h	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Metali	mg/Nm ³	0,5-8 h	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Dioksini i Furani	ng/Nm ³	6-8 h	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Energetsko vrednovanje otpada kod spaljivanja

- Energetsko vrednovanje otpada **započinje** u kotlu – gdje se **kemijska energija** dobivena postupkom izgaranja **oporavlja** za dobivanje **električne** ili **toplinske energije**, na tri načina:
 - direktnim prijenosom toplinske energije (*kroz tzv. parni ciklus*) ili kao procesna para u industriji
 - konverzijom toplinske energije u **električnu energiju pomoću** turbina
 - direktnim korištenjem toplinske energije i generiranjem **električne energije** kroz kogeneraciju.
- **Kotao** - obuhvaća cijev kotla i **roštilj** i **ložište**,
- - u cijevnom dijelu kotla hlade se **vrući**
- dimni plinovi iz ložišta - temp. od 1000-1200°C
- **hlađenjem dimnih plinova dobiva se energija** kao;
 - topla voda ili
 - vodena para ili se
 - **prevodi u električnu energiju**



- Prema podacima iz pripreme dokumentacije za **TE-TO** za grada **Zagreb (1997)**, procijenjeni su efekti proizvodnje energije u električnu i toplinsku energiju:

- godišnja proizvodnja otpada **286 kg/stanovniku**
- donja ogrjevna vrijednost otpada **7,3 MJ/kg**
- specifična proizvodnja pare na izlazu iz kotla
- za komunalni otpad (4 MPa, 400°C) **2,3 kg pare/kg otpada**
- proizvodnja električne energije **0,15 MWh/t**
- pare odnosno **345 kWh / kućanstvu** **345 kWh/t otpada**
- proizvodnja toplinske energije
- (ukupni stupanj iskorištenja) **4,3 MJ/kg otpada**

BEČ. Količina oporabljenog otpada iznosi **250.000 t/g**,
produkti su:

40 000 MWh električne energije

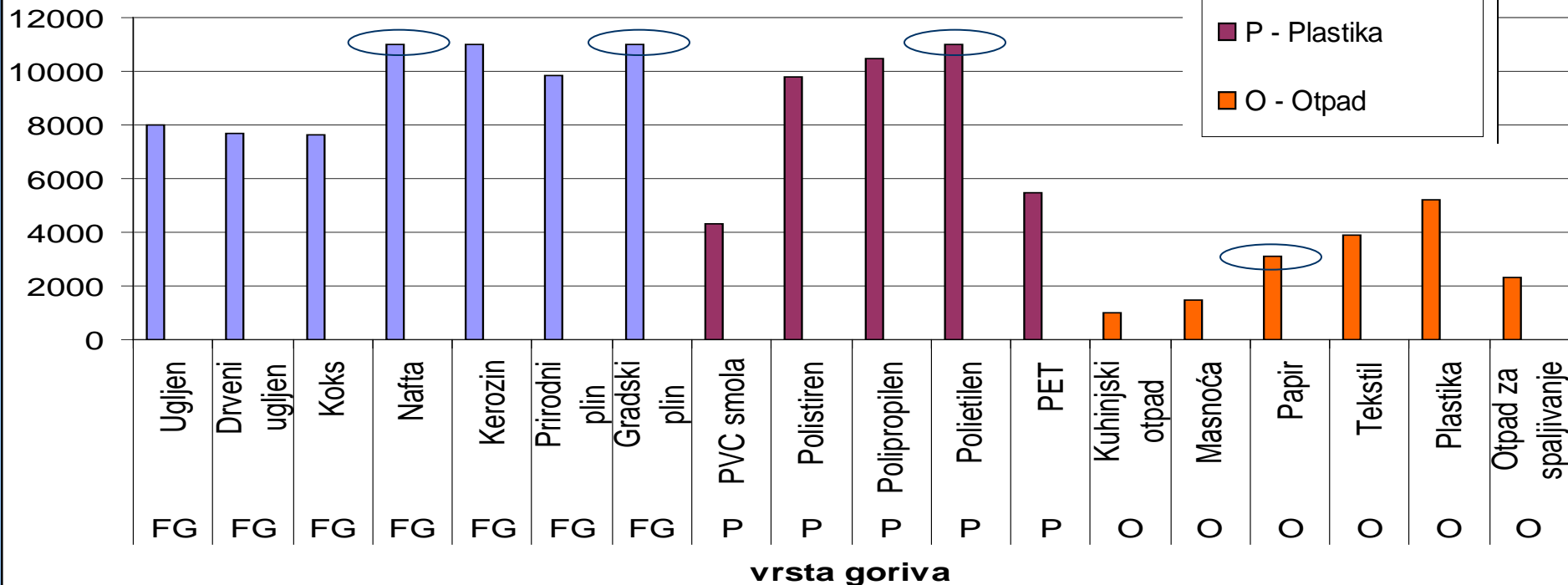
470 000 MWh toplinske energije

6 000 t željeza

60 000 t klinkera, pepela i troske

Prikaz kalorijske vrijednosti otpada prikupljenog u spalionicama

Kalorije, kcal/kg
(kcal/m³ za plin)



Npr. - **plastika je dvostruko kaloričnije gorivo od papira**, a od svih plastičnih materijala najkaloričniji je **polietilen** koji ima slične kalorijske vrijednosti **kao plin ili nafta**.

Može se zaključiti da je **otpad koji sadrži visokokaloričnu plastiku vrlo vrijedan izvor energije** te se u budućnosti može očekivati njegovo sve veće korištenje.

Prednost energijske uporabe

- Alternativni izvori energije
- Spaljuje se PO koji je zahtjevan za druge oblike recikliranja te nije ekonomski isplativ :
 - smanjuje se volumen otpada,
 - spaljuje se heterogen otpad (snižava troškove recikliranja),
 - toksičan, kontaminiran
- Spaljivanjem otpad se sterilizira što zapravo znači da se **kontrolirano detoksificira**.
- Sav sadržaj ugljika spaljivanjem prelazi u CO₂, niži staklenički efekt od metana koji nastaje na odlagalištima. Ovako nastao CO₂ može se reciklirati
- U spalionicama se **kontrolira emisija** dioksina u okoliš i ona je smanjena do gotovo beznačajne razine.

- Anorganske se komponente mineraliziraju u inertne i neutralne mješavine
- Spalionice otpada mogu se promatrati kao **elektrane** koje kao gorivo koriste obnovljive organske izvore poput papira, kućnog otpada, tekstila.
- Općenito, smatra se da je postupak spaljivanja ekonomičan ako se postrojenje za spaljivanje nalazi u području sa **80 000 - 200 000 stanovnika**.
- **NEDOSTATAK**
- recikliranje je jednokratno
- CO₂ se ne reciklira
- nepoželjne emisije,
 - kiselina
 - nastajanje organo-klornih spojeva, klordioksini i klorfurani.

OPORAVAK U OTOPINI

Otopinski oporavak podrazumijeva **razdvajanje** heterogenog polimernog otpada u **otapalu** bez razgradnje.

Na kraju postupka - **povrat otapala** iz uporabljene otopine.

U usporedbi s oporavkom u taljevini- postiže se visoka razina kvalitete polimera.

Postoji mogućnost primjene dobivenih polimera kod alternativnih postupaka prerade - npr. izrada pređe za vlakna.

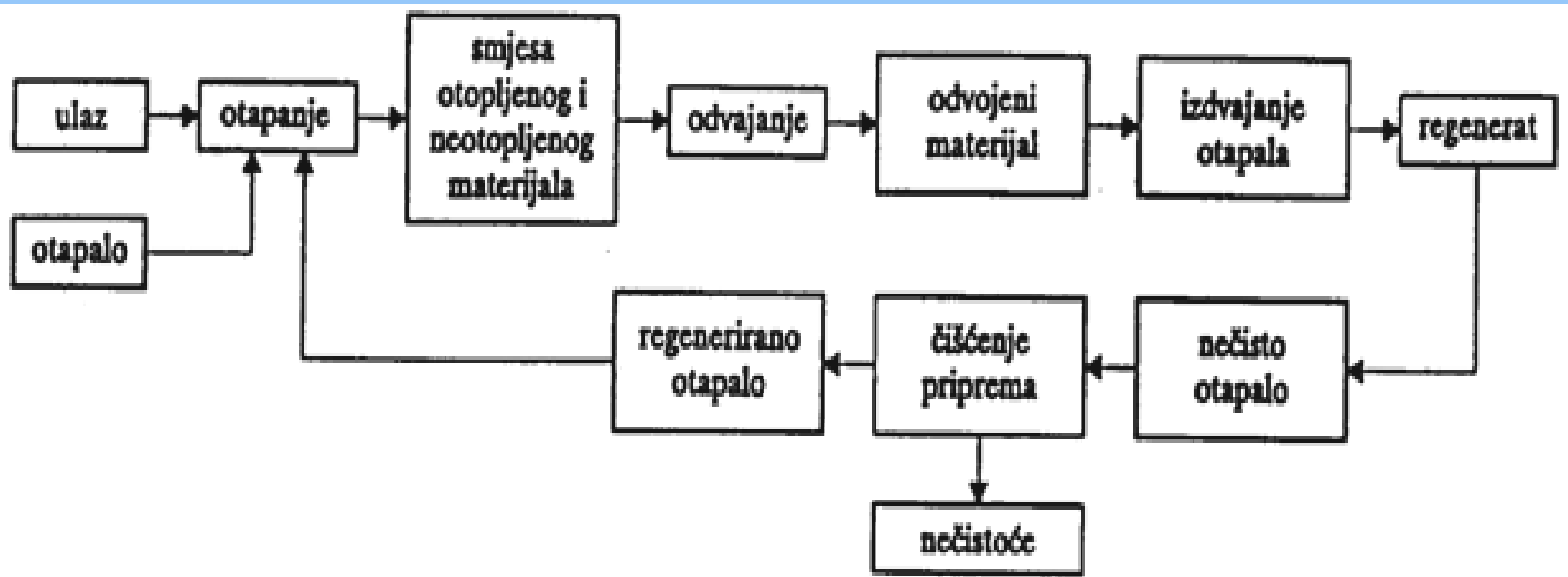
Nedostaci otopinskog postupka su **visoki troškovi** investicija u sam postupak.

Pogodnost na ovaj način se opravljaju polimeri materijali koji se dobivaju iz otopine, npr. vlakna, boje

Postoje dvije mogućnosti vođenja postupka:

- **Stimulativna otapala:** upotrijebljeni polimeri se dovode u otapalo i odvajanje se postiže postupno.
- Prednost ovog postupka je **istodobno otapanje više polimera** u tijeku jednog ciklusa, a nedostaci su slab učinak odvajanja, osjetljivost sustava na nečistoće, visoki troškovi pri izradbi sirovina.
- **Selektivna otapala:** u određenom otapalu otapa se i izdvaja iz mješavine pojedinačno **određeni polimeri** i na taj način se odvija odvajanje.
- **Prednosti** ovog postupka su: visoki učinak odjeljivanja željenog polimernog materijala (njegova visoka kvaliteta), jednostavno dobivanje sirovine i manja osjetljivost sustava na nečistoće,
- **nedostatak** je što se u jednom ciklusu može dobiti samo jedan polimerni materijal, proces se mora višestruko ponavljati, a
- neophodno je zbrinjavanje otapala .

- Otopinski oporavak sastoji se od tri koraka:
 - otapanje,
 - odvajanje te
 - stupnjevito odvajanje otapala i polimera.



Biorazgradnja plastike

- postupci za proizvodnju biorazgradljivih sintetskih polimernih materijala su:
 - miješanje plastike s punilima koja su podložna razgradnji pod utjecajem mikroorganizama
 - postupci pri kojima se u polimerne lance ugrađuju oslabljena mjesta kopolimerizacijom
 - u polimernu taljevinu dodaju se fotosenzibilizatori koji iniciraju fotolizu plastičnog materijala.
- Plastika se miješa sa punilima (škrob, glukoza), ukopa se u zemlju gdje punilo razgrade mikroorganizmi, a plastika se brzo razgradi u niskomolekulne proizvode.
- Biorazgradljivi sintetski polimeri su:
 - Polikaprolakton (PCL)
 - Poli(vinil alkohol) (PVA)
 - Poli(vinil acetat) (PVAc)

Odlaganje

- **Odlaganje otpada** - najstariji je način zbrinjavanja otpada, ali najmanje poželjan.

Odlaganje polimernog otpada znači **ekonomsku** i **ekološku** štetu, iako je plastični otpad neutralan javlja se u okolišu kao mikroplastika.

Njegova **nerazgradljivost** u odlagalištu je prednost jer nema negativnih emisija plinovitih i kapljevutih produkata, kao posljedica razgradnje.

Zabrana odlaganja **plastičnog** otpada nakon 2025. godine prema Direktivi iz 2014, (Zero Plastics to Landfill)

RECIKLIRANJE GUME

Zakonski okvir

- **Pravilnik o gospodarenju otpadnim gumama**
 - propisuje gospodarenje otpadnim gumama (skupljanje, skladištenje, uporaba)
 - osiguranje sredstava za gospodarenje otpadnim gumama (naknade),
 - način vođenja podataka o gospodarenju otpadnim gumama
- **Načinu prikupljanja otpadnih guma – prema pravilniku**
 - **skupljanje, skladištenje, oporavak**

Zakonski okvir

- Otpadna guma je svaka vrsta otpadne gume koju posjednik radi oštećenja, istrošenosti ili drugih uzroka ne može upotrebljavati te ju odbacuje ili namjerava odbaciti
 - Otpadne gume moraju se reciklirati!
 - Postupak **recikliranja** ima prednost u odnosu na **energetsku** uporabu!
 - Recikliranjem otpadnih guma mora se obuhvatiti najmanje **70% količine otpadnih guma** (*određujemo na temelju uvezene količine u prethodnoj godini*).
-
- Zakonodavstvo vezano za automobilsku industriju zahtjeva **95% recikliranja automobila do 2015. godine**
 - Smatra se da 70% gume u upotrebi koristi za auto guma.

Otpadne gume čine:

- otpadne gume osobnih automobila,
- autobusa,
- teretnih automobila,
- kombiniranih automobila,
- mopeda, motocikala,
- radnih strojeva,
- radnih vozila i traktora,
- zrakoplova i drugih letjelica.

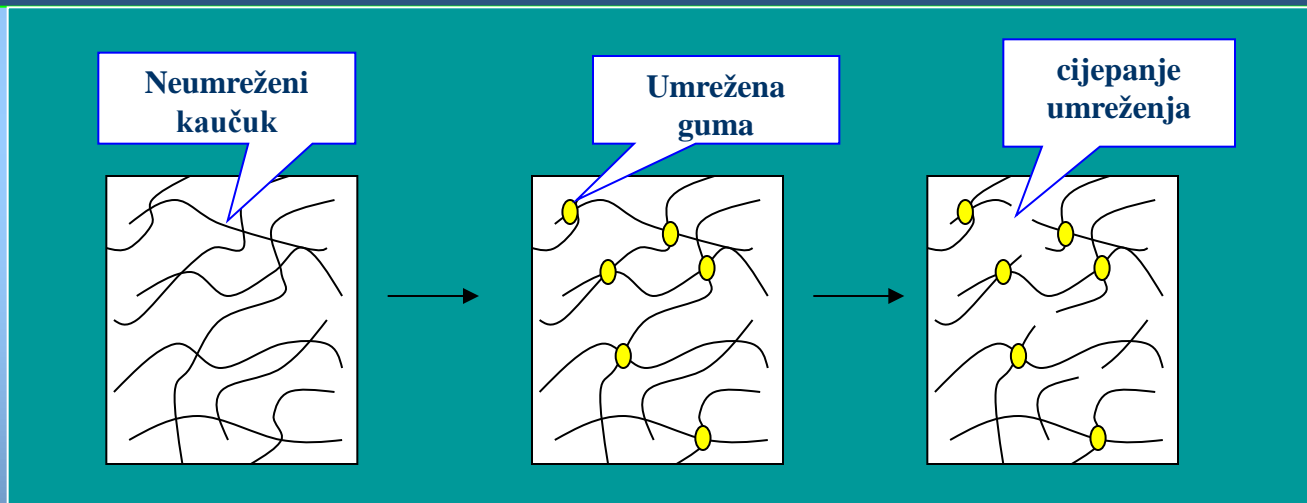


Prikupljanje:

- ovlaštene sakupljači za određeno područje (županija, prema šiframa)
- vulkanizeri, veliki prijevoznici, radionice i sl.
- **Odbačene otpadne gume ako se ne zbrinu ujedno predstavljaju i opasni otpad.**

- **Recikliranje** gume podrazumijeva **recikliranje vuklanizirane** (umrežene) gume što iznosi 94 % od ukupne primjene, a ostalih 6% **odnosi se na termoplastične elastomere** (neumrežene).
- Uz **auto gume**, gumeni otpad čine - gumena crijeva, različite brtve te različiti gumeni proizvodi ojačani vlaknima.
- Recikliranje guma je zahtjevan i složen postupak pa se tako dio reciklira, a dio se spaljuje – energetski oporavlja.
- Tako, **pred 30** godina recikliralo se i do **20% gume** jer se je upotrebljavala kao sirovina primarnu proizvodnju auto guma.
- No, upotrebom sintetskih guma u proizvodnji auto guma te njihovim **ojačavanjem s vlaknima i čelikom** (radijalne gume) smanjilo je recikliranje i ponovnu upotrebu na **svega 2%**.
- Ne **kontroliranim spaljivanjem** guma dolazi do velikog onečišćenja okoliša budući da kao produkti gorenja nastaju različiti **aromatski spojevi** kao što su benzen, toluen, ali i sumporni i klorirani spojevi i kiseline.

- Guma je materijal dobiven **vulkanizacijom kaučuka** (polimera) kod kojeg dolazi do **kemijskog povezivanja polimernih lanaca** pri čemu nastaje **umreženje, mreža**, elastičnih svojstava.
- Procesom **prerade kaučuka** u gotov proizvod zadanog oblika odvija se **ujedno i proces umreženja** (vulkanizacija).
- **Umreženja onemogućuju taljenje i otapanje materijala** stoga je potrebno provesti **devulkanizaciju**, tj. cijepanja umreženja (degradaciju) da se dobije kaučuk koji se **ponovo može koristiti kao sirovina** za dobivanje gumenih proizvoda.



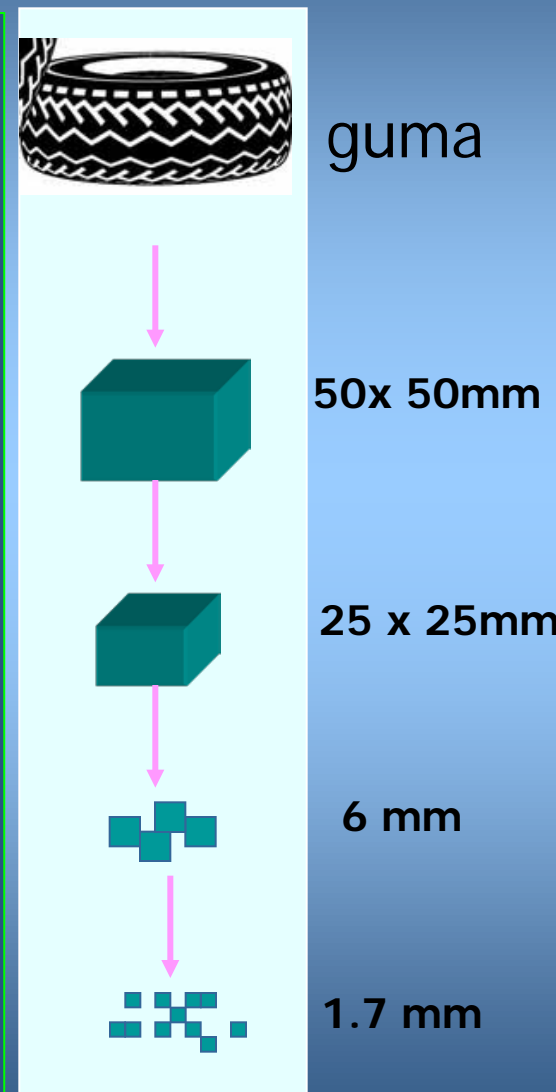
- Gumu nije moguće - taljenjem prevesti u novi proizvod budući da se ne može rastaliti.
- Umreženi polimeri (gume) ne mogu se otapati.
- Iz navedenih razloga postupak recikliranja gume je zahtjevniji nego što je to slučaj kod plastike.

Recikliranje otpadnih guma

- U **zadnjih desetak godina** razvijeno je **nekoliko tehnoloških postupka recikliranja gume**, što podrazumijeva ponovnu upotrebu gume kao:
 - **Mehanički proces usitnjavanja**
 - punila u novim gumama
 - čestice gume u vezivu (binder)
 - **Kemijski procesi**
 - Devulkanizacija
 - Tretiranje površine gume – umiješavnje u termoplast
 - Termo-kemijski proces
 - Iridacijski proces
 - Dobivanje goriva (ulja)
 - Dobivanje plina –piroliza
 - **Spaljivanje / proizvodnji cementa**
 - Dobivanje energije
 - **Biološki proces**
- Najstarijih oblik recikliranja gume «Heater/Pan Process», prvi puta izveo Hall 1858. godine.

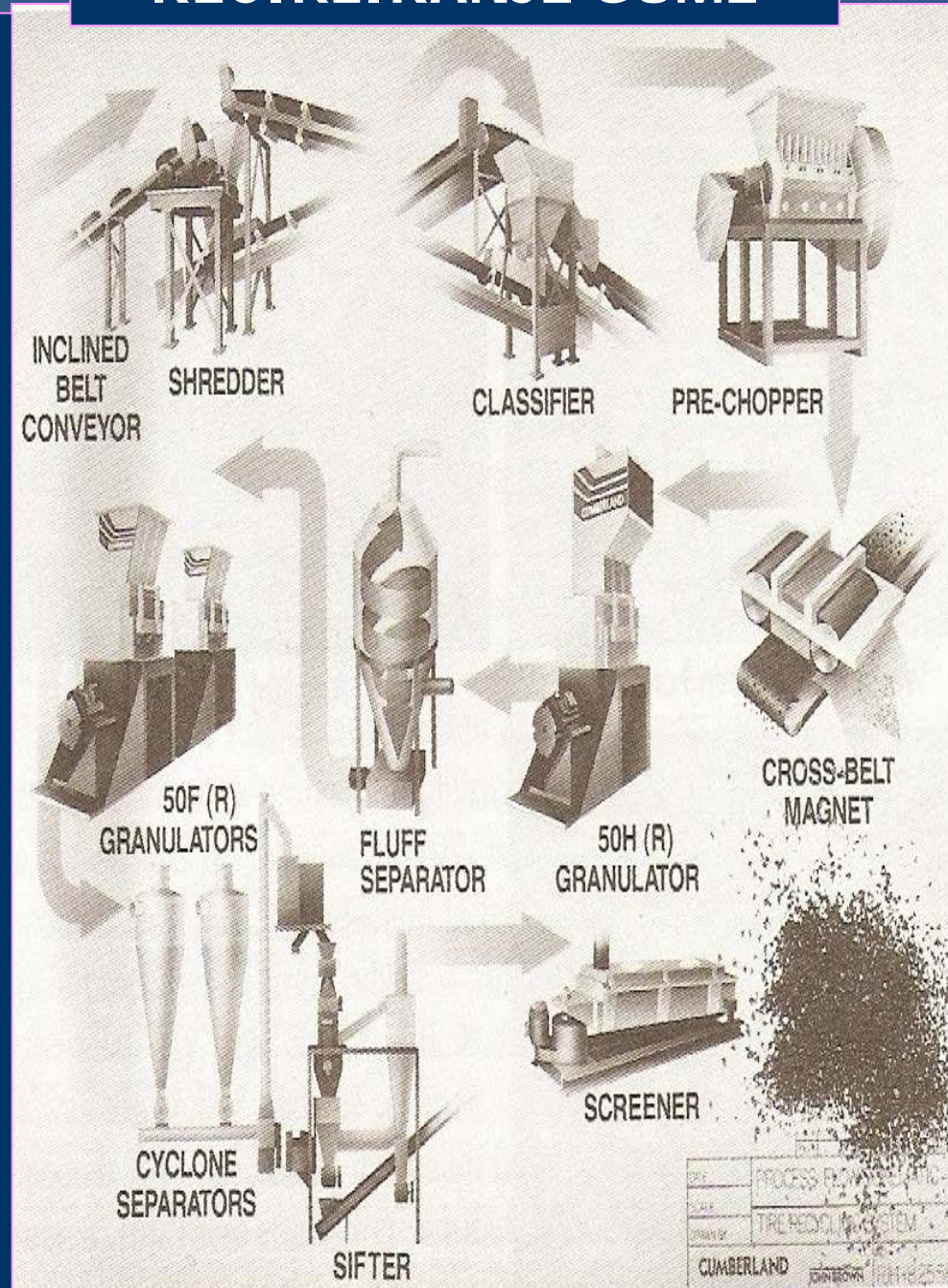
Mehanički proces recikliranja

- **Mehaničko usitnjavanje gume**
- -je proces koji se sastoji od 4 koraka:
 - mljevenja
 - razdvajanja
 - granuliranja
 - razdvajanja
- Ovim postupkom se dobivaju visoko kvalitetne čestice gume (1,7 mm) **čistoće od 98-99%**, uklonjena vlakna i čelik.
- Ovako usitnjena guma, koristi se kao **punilo** ili se proizvode novi proizvodi iz čestica gume povezanih vezivom (smolom, tj. polimerom).



RECIKLIRANJE GUME

- U "šrederu" gume se usitnjavaju na veličinu **50 x 50 mm**, slijedi **razdvajanje** vlakana i čipsa gume koji se ujedno razvrsta po veličini, a veći čips se vraća natrag "šreder". Ostali čip se dalje prenosi u "choper" gdje se usitni na veličinu **25 x 25 mm** i potom prolaze preko magnet-ske trake gdje se ukloni od **90-95 % čelika iz guma**.
- Slijedi daljnje usitnjavanje u granulatoru – **6mm**, ponovo se odvaja **metal** na magnetskoj traci te se izdvajaju zaostale **pahulje vlakana** u ciklonom.
- Gumene čestice se dalje usitnjavaju u granulatoru – **1,7 mm**.



<https://www.youtube.com/watch?v=ldE-mam2rq8>



■ Primjena mljevene gume

Punilo:

- U asfaltu – do 60 %
- U proizvodnji gume – do 10 % (*inertno punilo – povećava viskoznost, a smanjuje čvrstoću*)
- U auto gumama – do 1.5 %

Čestice gume s vezivom:

1. Vezivo su obično **uretanske ili epoksi smole.**

Različite podloge

- **dječja igrališta, staze, prostirke, otirači, atletske staze.**

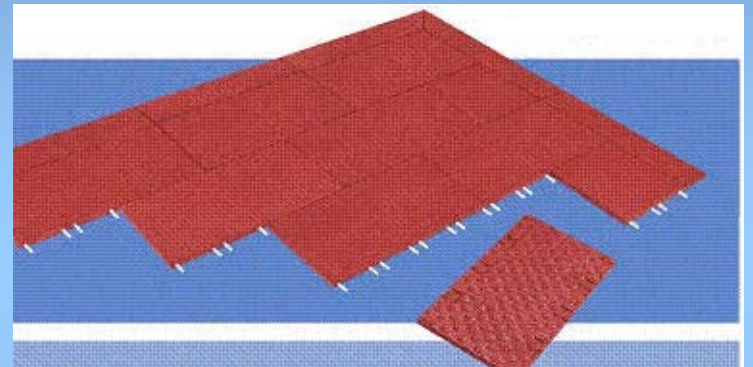
2. Vezivo termoplast - **polietilen**

- **porozna gumena crijeva za natapanje**

-takva crijeva sastoje se od 70% čestica gume (30 mesh) i 30 % polietilena. Crijeva se proizvode ekstrudiranjem a uslijed nemješljivosti dolazi do razdvajanja i nastajanje poroznih gumenih crijeva.

- **Ploče za zvučnu izolaciju**
- **Umjetni grebeni – kao staništa za ribe**
- **Plivajući dokovi**
- **Asfaltna guma – do 20% kod izgradnje cesta, autoputa**





- Lancaster-Bambury proces - jedan od najstarijih.

U tom procesu se **gumeni otpad oslobođen vlakana miješa** se sa **sredstvom za oporavak, melje** velikom brzinom kod visokih tlakova. Materijal dostiže temperature od 250 °C za 3-12 minuta, potom se hladi, očisti i profiltrira (ocijedi).

- Toyota je razvila proces prema kojem **se nevulkanizirana guma, mljevena guma, plastifikacijsko ulje** i sredstvo za oporavak pomiješaju u omjeru **100:30:10:1** te se zajedno mastificira u mlinu ili ekstruderu i dobije se mješavina (compound) koja sadrži devulkaniziranu gumu.
- Guma se dodaje u ekstruder i to 10 kg/h, zatim se hladi u vodenoj kupelji, brzina rotacije vijaka je 100-400 rpm, a temperatura od 50-400 °C.

Kemijski proces

- Kemijska **devulkanizacija**- miješanje gumenog praha sa *sredstvom za oporavak* (peptizer),
- **Najčešće korištena sredstva za oporavak su: disulfidi; arildisulfid** (difenildisulfid, tiofenol i njihove cinkove soli i merkaptani).
- Sredstvo za oporavak se koristi za cijepanje umreženja,
- **Metoda se kombinira sa toplinskom i/ili mehaničkom energijom zbog ubrzanja procesa,**
- **Nedostatak** kemijske devulkanizacije je **toksičnost kemikalija** koje se pritom upotrebljavaju kao i uvjeti kod kojih se devulkanizacija provodi.
- (De-Link proces) podrazumijeva miješanje fino mljevenog gumenog praha, tzv. De-Link smjese u mlinu ili mikseru kod sobne temperature.
- **Čvrstoća** i otpornost na kidanje materijala dobivenog miješanjem **30% tako reciklirane gume** sa **originalnom gumom** je jednaka onoj koja se dobije iz originalne gume, ali su neka druga svojstva nešto više narušena u odnosu na originalnu gumu.

Termo-kemijski proces

- Heater/Pan proces - utjecaj **topline** u kombinaciji s kemijskim sredstvima gdje se cijepaju umreženja i dolazi do plastifikacije gumenog otpada.
- **Mljevena guma** se podvrgava **tlaku para 48 sati**, uz dodatak **sredstva za oporavak** koji taj proces skraćuje na 5-10 sati na temp. od 180°C,
- Ovaj proces može oporaviti veliki broj različitih vrsta guma , međutim uvijek je predugačak za praktičnu primjenu.
- **Digester ili Alkalni proces (Marks 1899.)**, vrlo je važan jer omogućuje **recikliranje ojačanog gumeni otpad (gumeni otpad s vlaknima)**
- Vlakna iz ojačanog gumenog otpada se prvo uklanjaju miksanjem u alkalnoj, vodenoj, plastifikacijskom ulju (sa peptizerom),
- Mješavina se zagrijava uz miješanje u autoklavu na temperaturi od 180-210 °C, 5-24 sata,
- **Nedostatak ovog procesa je duljina trajanja i onečišćenje koje pritom nastaje uslijed upotrebe kemikalija.**

Iridacijski proces

- Mikrovalovi se mogu primijeniti za devulkanizaciju guma
- Materijal se zagrijava u mikrovalnoj komori gdje apsorbira mikrovalove preko dipolnih rotacija ili ionske vodljivosti.
- Dipolna rotacija vrlo je važna za zagrijavanje polarnog materijala kao što su nitriline i polikloroprenske gume.
- Zagrijavanje nepolarnih materijala kao što je EPDM i SBS primjer je indirektnog procesa zagrijavanja preko čađe.
- Prisutna čađa u nepolarnim gumama omogućuje apsorbiranje mikrovalne energije tako da slobodni ioni koji postoje na međufazi između čestica čađe i gume privlači električno polje.

Biološki proces

- Biološka devulkanizacija (biorazgradnja) je vrlo zanimljiva, međutim potrebno je uložiti mnogo truda da se nađe **odgovarajuća «kultura»** za takav proces,
- Mikroorganizmi testirani za devulkanizaciju gume prvenstveno su pogodni za **prirodnu i stirenbutadiensku gumu** i pritom su korištene bakterije *Nocardia* i *Thiobacillus*,
- **Devulkanizacija** je primijećena samo na površini gume i to svega **4,7%** od ukupnog sumpora oksidira se u sulfat za 40 dana.
- Proces je još uvijek daleko od industrijske primjene.

Hvala na pažnji!!!

