

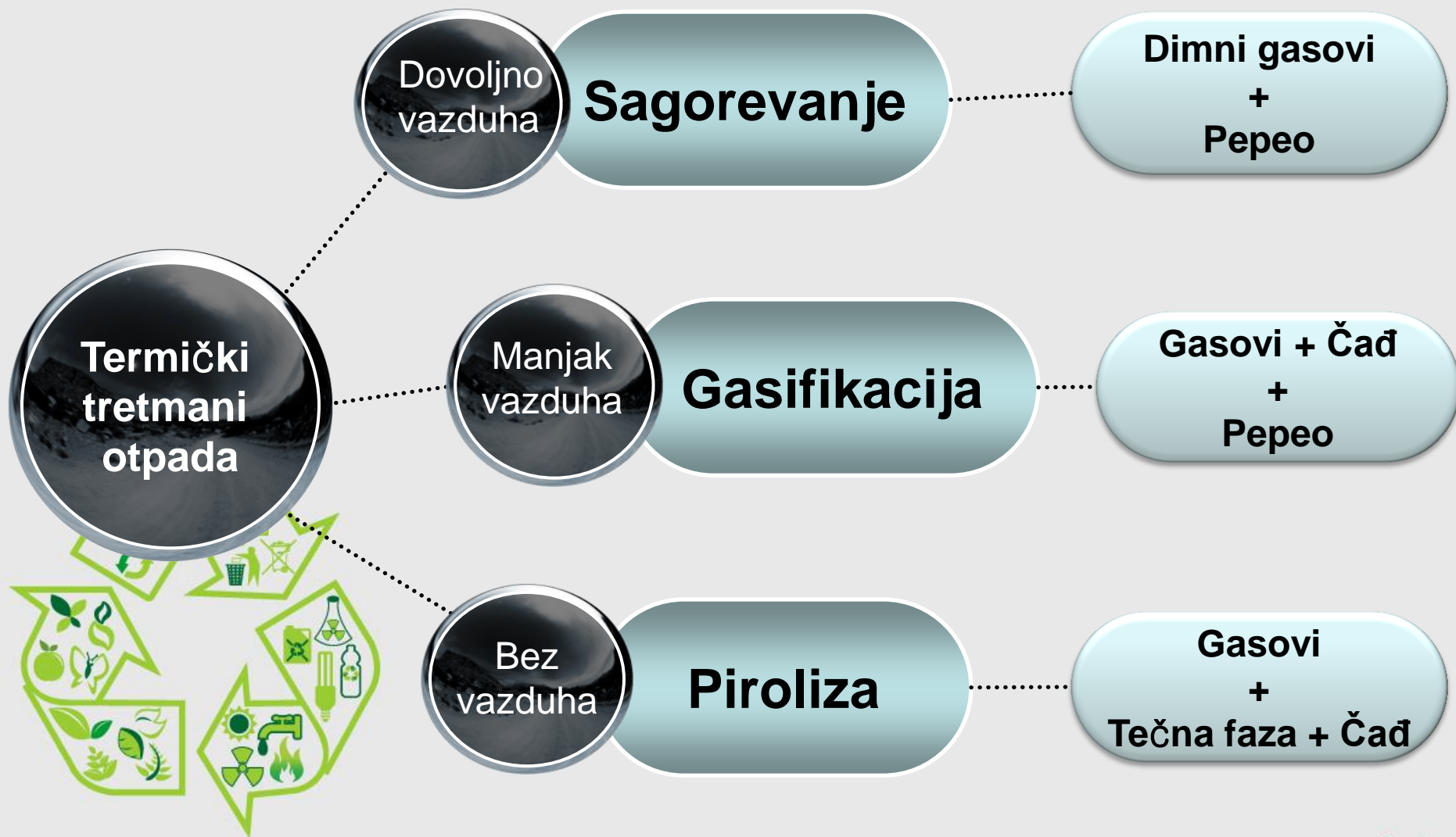
Termički tretman otpada

Gasifikacija

Piroliza



Vrste termičkih tretmana otpada



Gasifikacija

Gasifikacija je tehnologija koja se koristi za smanjenje zapremine otpada i iskorišćenje energije.

Gasifikacija je termički tretman otpada pri kome otpad nepotpuno sagoreva u prisustvu kiseonika čija je količina manja od količine potrebne za stehiometrijsko sagorevanje.

Sagorevanje se vrši uz čist kiseonik, vazduh ili paru.

Na visokim temperaturama, kiseonik reaguje sa ugljenikom iz otpada i stvaraju se produkti sagorevanja, kao što su **gorivi gas, čađ i pepeo**.



Gorivi gas se sastoji iz CO , CO_2 , H_2 i CH_4 , a kada se vrši gasifikacija vazduhom javlja se i azot, koji u principu smanjuje energetska vrednost dobijenog gasa zbog razblaživanja.

Gorivi gas se zatim može koristiti za sagorevanje u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem, gasnim turbinama ili parnim kotlovima.

Temperature u procesu gasifikacije su više nego prilikom pirolize i kreću se od $800 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ pri gasifikaciji vazduhom do $1000 - 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ pri gasifikaciji kiseonikom.



Reakcije gasifikacije su egzotermne, osim prilikom gasifikacije parom, kada su u pitanju endotermne reakcije. Para se uglavnom dodaje kao dopuna kiseoniku u cilju kontrole temperature.

Kada se gasifikacija vrši u prisustvu vazduha stvaraju se sledeći produkti sagorevanja:

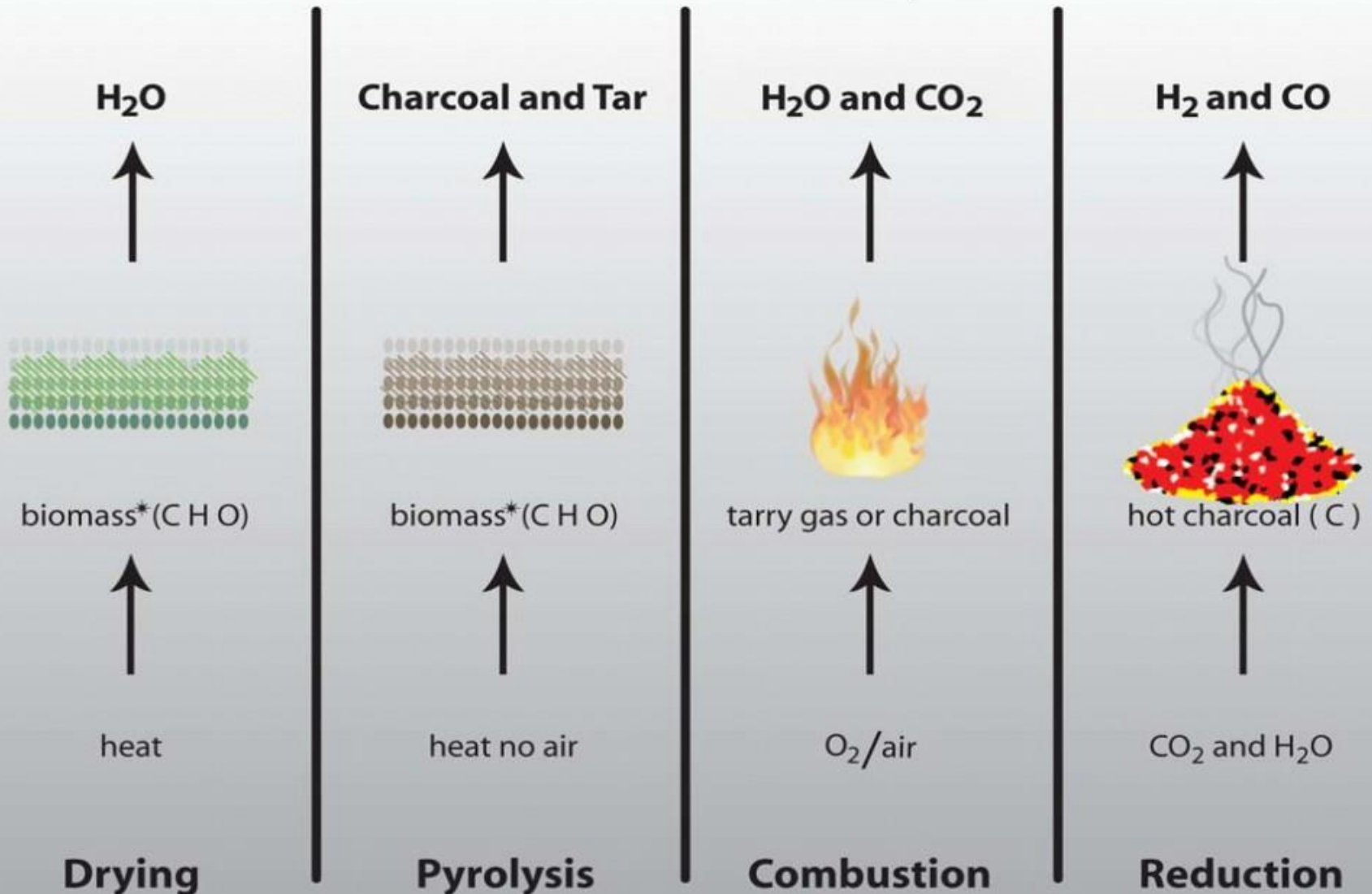
- gas niže energetske vrednosti koji se sastoji od 10% CO_2 , 20% CO , 15% H_2 i 2% CH_4 uz N_2 ,
- čađ koji sadrži ugljenik i inertne materijale.

Karakteristike sistema za gasifikaciju, sastav otpada i uslovi rada utiču na sastav i količine produkata gasifikacije.



4 Processes in Gasification

not necessarily in order



* Biomass is a combination of C, H, and O (C H_{1.4}O_{0.6})

Sistemi za gasifikaciju

Postoje pet osnovnih sistema za gasifikaciju:

- 1) Sistemi sa vertikalnim ložištem (vertical fixed bed sistem)
- 2) Sistemi sa horizontalnim ložištem (horizontal fixed bed sistem)
- 3) Sistemi sa fluidizovanim slojem (fluidized bed sistem)
- 4) Sistemi sa rotirajućim ložištem (rotary kiln sistem)
- 5) multiple heart (entrained flow gasification)



Sistemi sa vertikalnim ložištem

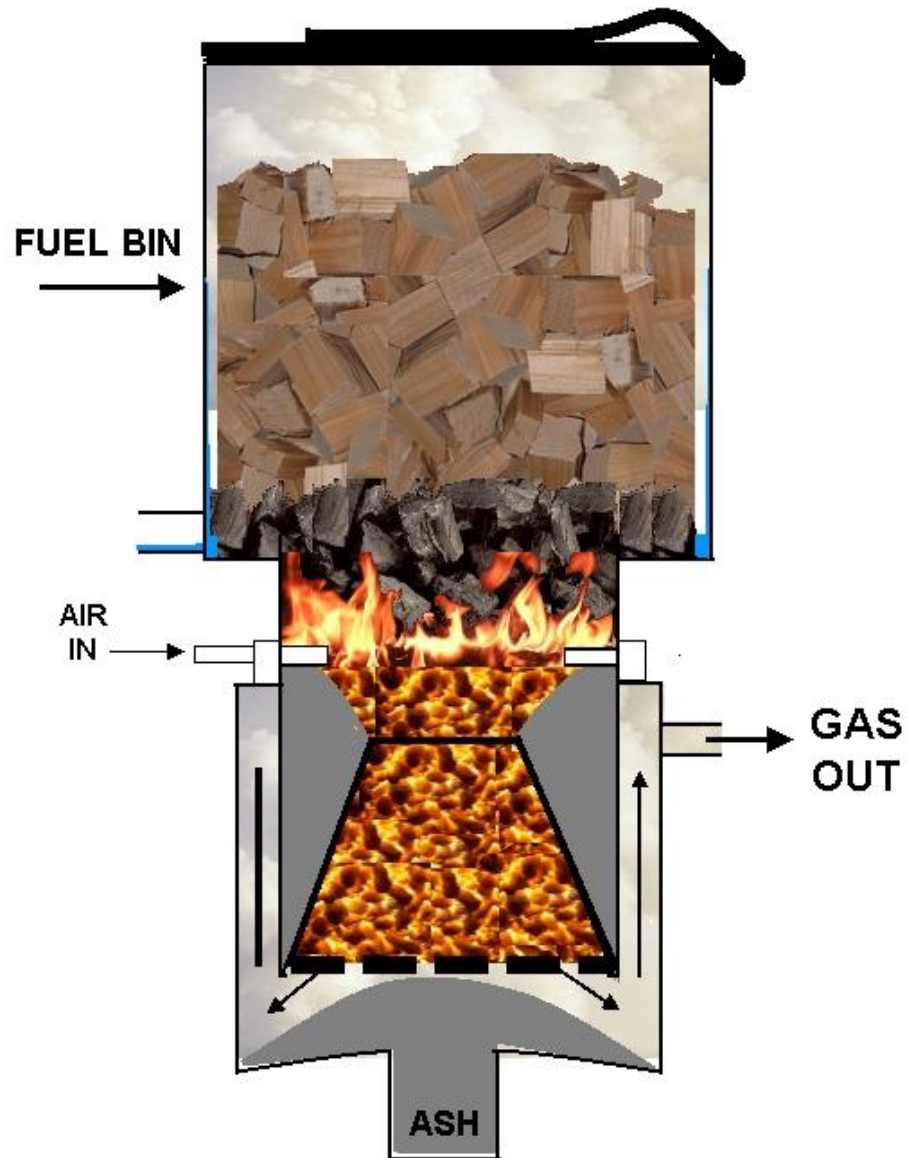
Sistem za gasifikaciju u kome se otpad ubacuje sa vrha uređaja za gasifikaciju u slobodno pada naniže, a vazduh struji u suprotnom smeru – sa dna ka vrhu reaktora.

Karakteristike ovakvog sistema za gasifikaciju su:

- ✓ jednostavnost i niski troškovi izgradnje
- ✓ zahteva homogen i otpad ujednačenog sastava
- ✓ krajnji produkti su gas niske energetske vrednosti i čađ
- ✓ može da radi i sa čistim kiseonikom i sa vazduhom



Sistemi sa vertikalnim ložištem



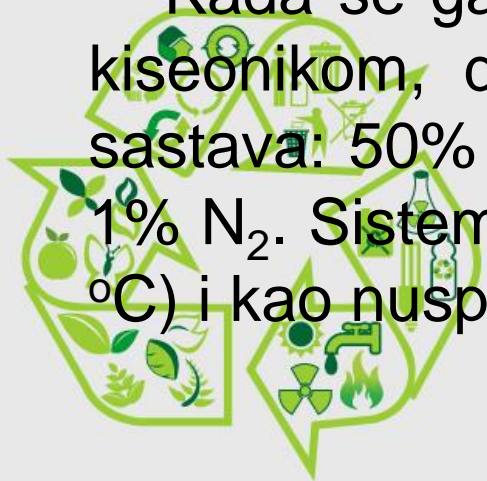
Sistemi sa vertikalnim ložištem

Gasifikacija se odvija na nižim temperaturama od 650 do 815 °C.

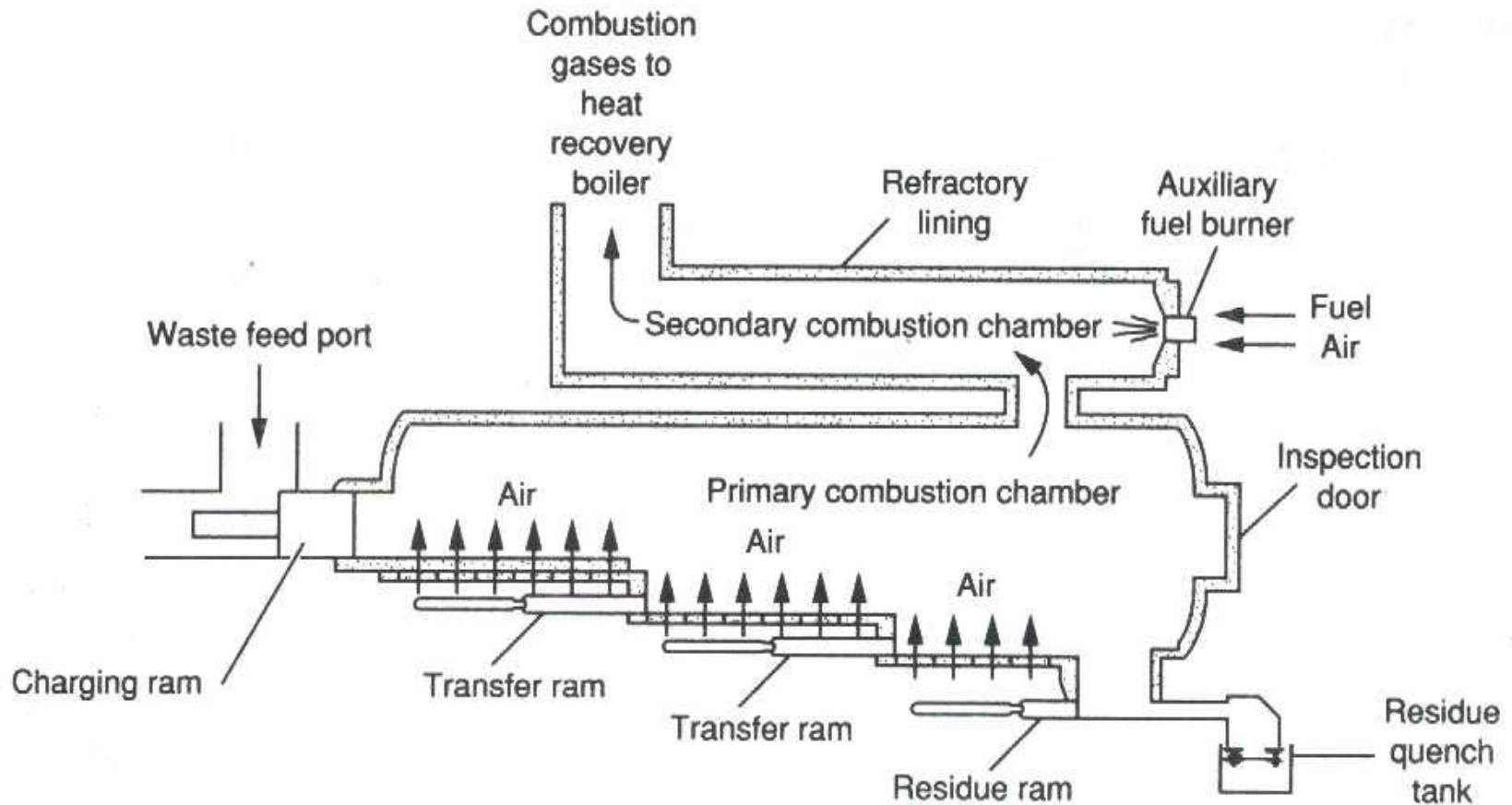
Čađ koja nastaje ima kakarakteristike adsorpcije slične kao aktivni ugalj, pa se može koristiti prilikom tretmana otpadnih voda.

Gas koji nastaje u ovakvom sistemu testiran je u trocilindričnim dizel motorima, gde ga je moguće koristiti u odnosu 80% gas i 20% dizel goriva.

Kada se gasifikacija u ovakvim sistemima vrši sa čistim kiseonikom, dobija se gas srednje energetske vrednosti sastava: 50% CO, 30% H₂, 14% CO₂, 4% CH₄, 1% C_nH_m i 1% N₂. Sistem radi na višim temperaturama (1400 do 1650 °C) i kao nusproizvod ima istopljenu šljaku.



Sistemi sa horizontalnim ložištem



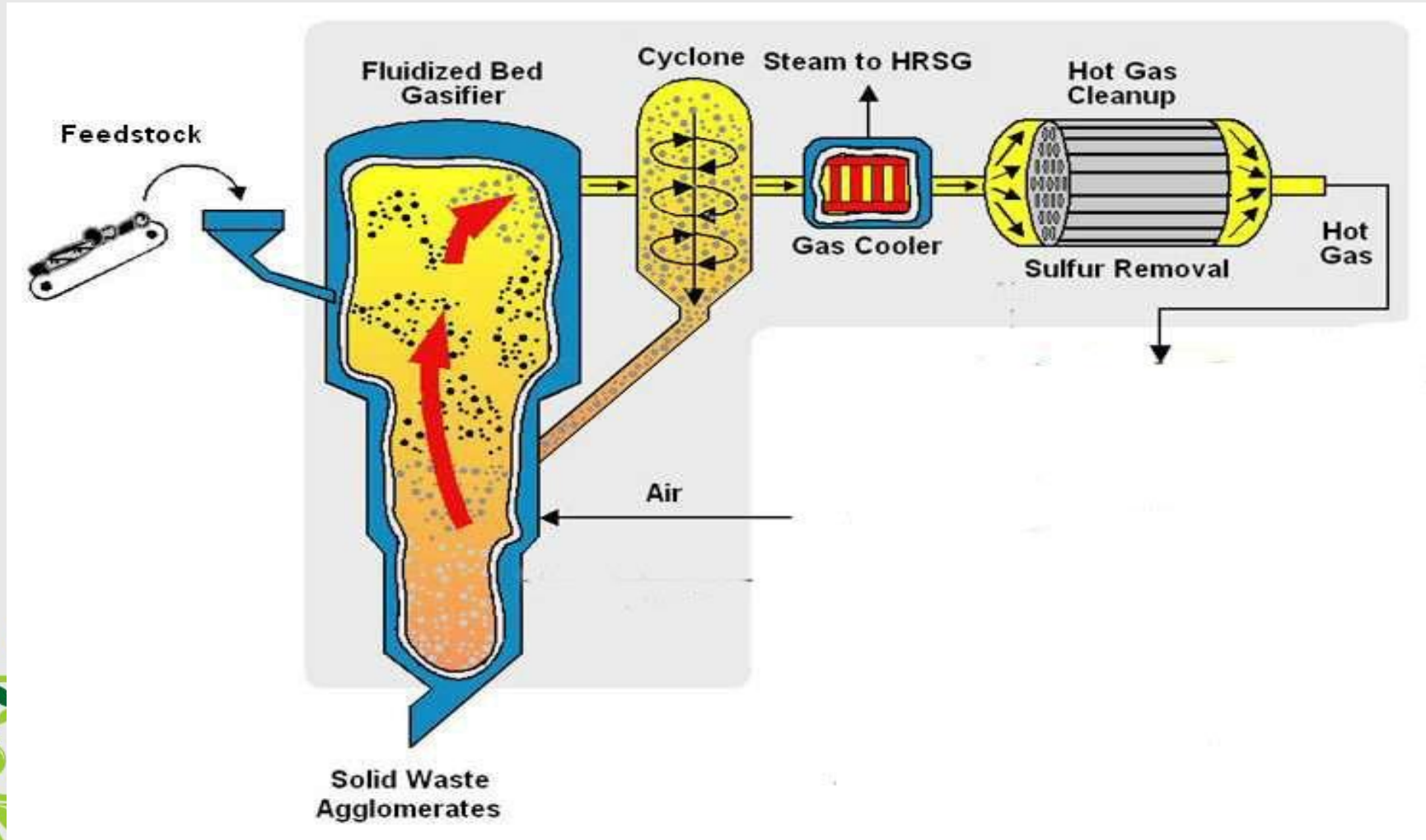
Sistem sa fluidizovanim slojem

Sistem za gasifikaciju koji ustvari predstavlja minimalno modifikovani sistem sa sagorevanje otpada u fluidizovanom sloju uz količinu vazduha jednakoj stehiometrijskoj količini.

Prilikom gasifikacije u fluidizovanom sloju, otpad se ubacuje u sloj peska koji je zagrejan na 550 °C i kada se pomeša sa peskom, otpad se brzo pretvara u gorivi gas. Dotok gasa se kontroliše tako da se samo 25 % otpada ubacuje u sloj peska, odnosno dostiže temperaturu od 800 °C. Preostali deo se pretvara u gas.



Sistem sa fluidizovanim slojem



Sistem sa rotirajućim ložištem

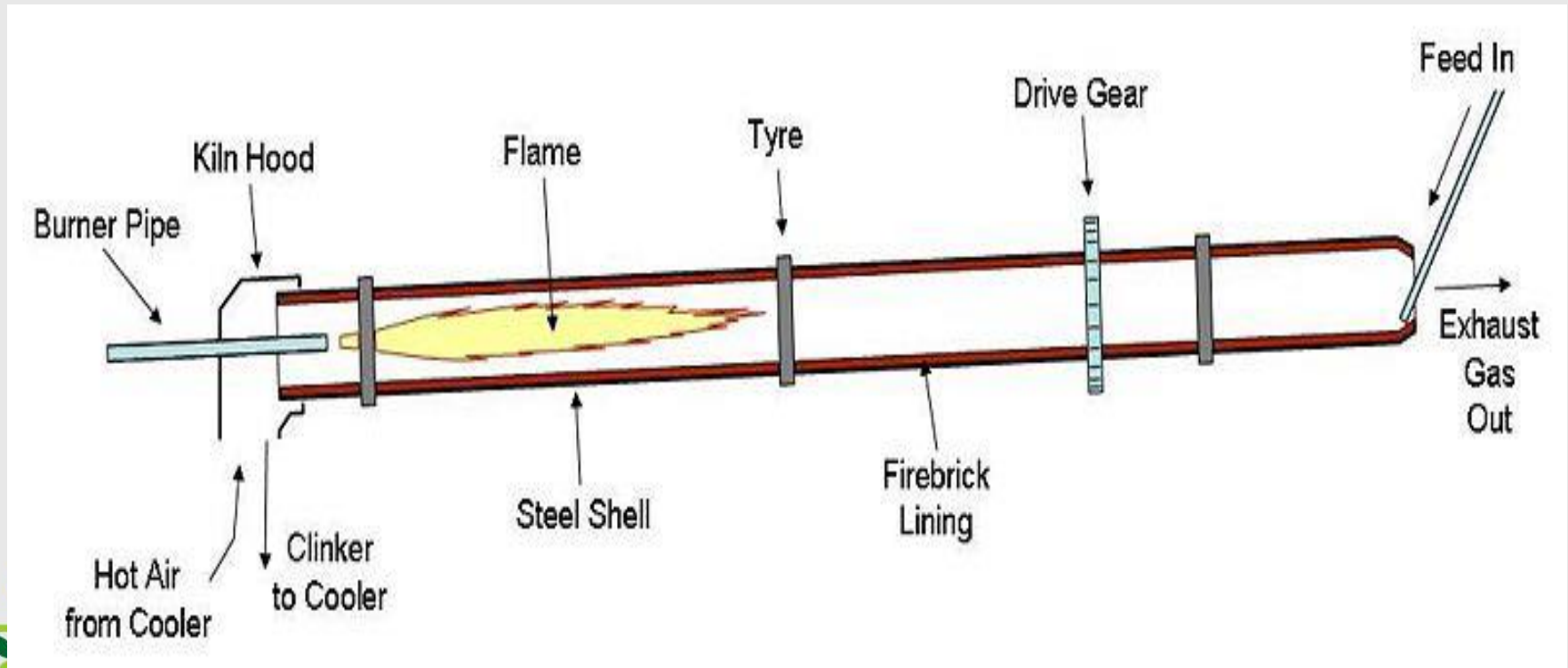
To je sporo rotirajući, vatrostalni obloženi čelični cilindar. Da bi se olakšalo kretanje otpada, cilindar ima nagib. Peć se zagreva na visokim temperaturama, kako otpad prolazi kroz nju, organske materije isparavaju i otpad se gasifikuje.

Generalno, ovi sistemi rade na temperaturama između 760 i 1230 °C.

Krajnji proizvod može biti i pepeo ili šljaka, u zavisnosti od režima rada i karakteristika otpada.



Sistem sa rotirajućim ložištem



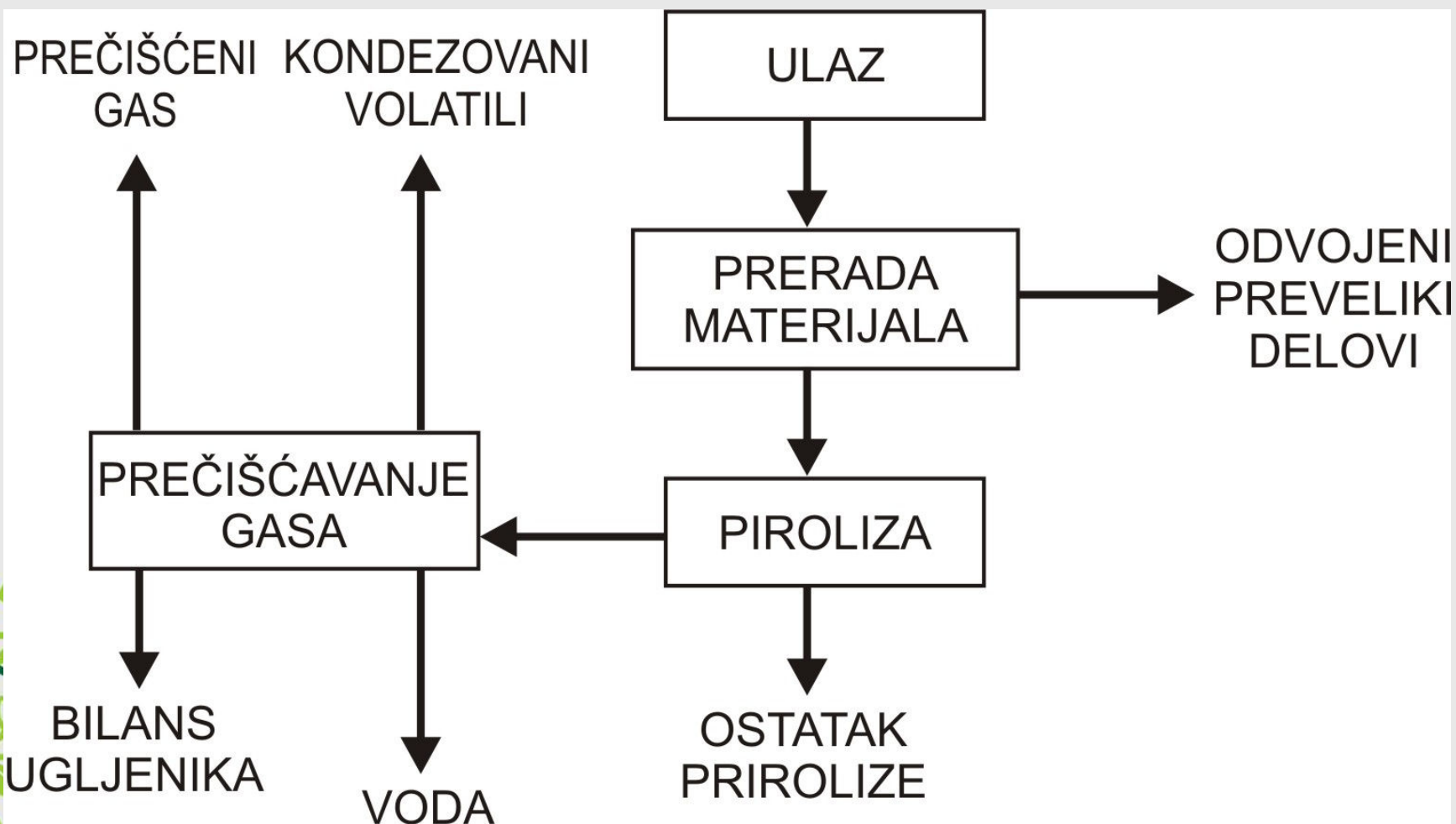
Piroliza

Piroliza je termički tretman otpada u odsustvu kiseonika pri čemu se dobija gasovita, tečna i čvrsta frakcija. Prilikom odvijanja procesa pirolize potrebno je dovoditi toplotu, jer su reakcije pirolize endotermne. Prednost pirolize je da se dobijene gasovite ili tečne frakcije mogu koristiti kao gorivo za sam proces pirolize.

Pošto su većina organskih jedinjenja termički nestabilna, ona se mogu pod dejstvom toplote u odsustvu kiseonika raspasti i kondenzovati u frakcije, zato se piroliza često naziva i **suva destilacija**.



Šematski prikaz procesa pirolize



Frakcije pirolize

Sastav frakcija koje se dobijaju pirolizom je sledeći:

1. **Gasovita frakcija** koja sadrži najviše vodonik, CH_4 , CO , CO_2 i različite vrste gasova zavisno od sastava otpada.

2. **Tečna frakcija** koja se sastoji od katrana ili ulja koji sadrže sirćetnu kiselinu, aceton, metanol u kompleksne ugljovodonike.

3. **Čvrsta frakcija** sastoji se iz čađi ili skoro čistog ugljenika i inertnih materija iz otpada.



Vrste pirolize

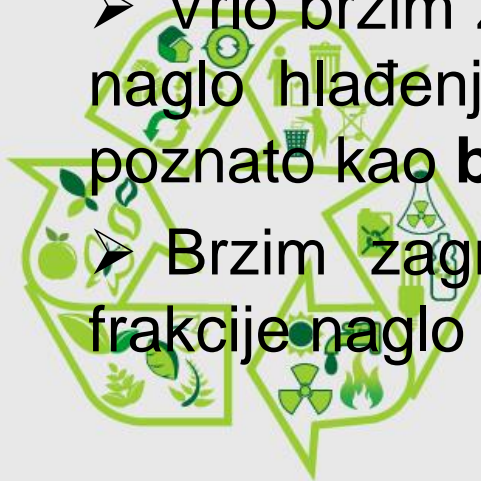
Količina produkata koja se dobija pirolizom zavisi od uslova pod kojima se proces odvija, posebno od temperature na kojoj se proces odvija i brzine zagrevanja.

➤ Vrlo sporo zagrevanje sa niskom temperaturom rezultira stvaranjem veće količine čađi.

➤ Umerena brzina zagrevanja i maksimalna temperatura do 600 °C daje istu količinu gasovite, tečne i čvrste frakcije. Ovo je poznato kao **konvencionalna ili spora piroliza**.

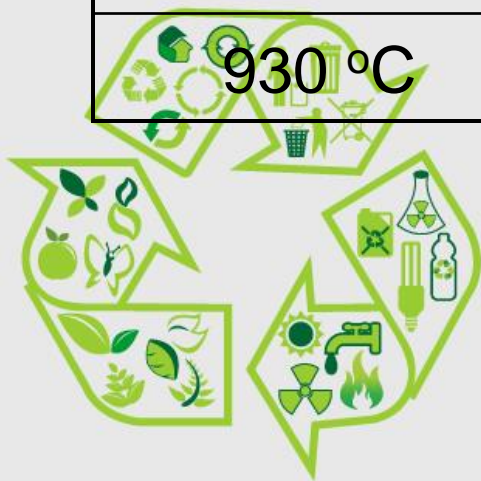
➤ Vrlo brzim zagrevanjem do temperatura ispod 650 °C uz naglo hlađenje stvara se pretežno tečna frakcija. Ovo je poznato kao **brza ili blic piroliza**.

➤ Brzim zagrevanjem na visokim temperaturama tečne frakcije naglo prelaze u gasovite.



Materijalni bilans pri procesu pirolize 1 tone otpada

Temperatura (°C)	Gasovita frakcija (kg)	Tečna frakcija (kg)	Čvrsta frakcija (kg)
480 °C	123,3	610,8	247,1
650 °C	186,4	591,8	218,0
815 °C	236,9	596,7	172,4
930 °C	243,6	587,0	176,7



Korišćenje frakcija pirolize

Pirolizom komunalnog čvrstog otpada proizvodi se 35 % čađi, dok se pirolizom otpadnih guma proizvodi 50 % čađi sa sadržajem pepela do 10 %. Čađ se može koristiti direktno kao gorivo, kao materijal za adsorpciju kao što je aktivni ugalj ili izmrvljen i pomešan sa tečnom frakcijom kao premaz za pirolizu.

Tečna frakcije dobijena pirolizom otpada je vrlo složenog hemijskog sastava, zavisno od sastava otpada. Ona se može koristiti u konvencionalnim sistemima za proizvodnju električne energije, kao što su dizel motori ili gasne turbine ili kao hemijska sirovina.

Gasovita frakcija koja nastaje pirolizom komunalnog čvrstog otpada sadrži CO, CO₂, H₂, CH₄ i druge ugljovodnike. Visok sadržaj CO i CO₂ dobijaju se pirolizom materijala koji sadrže celulozu, dok se pirolizom guma i plastike dobijaju visoki sadržaji vodonika, metana i ugljovodonika.

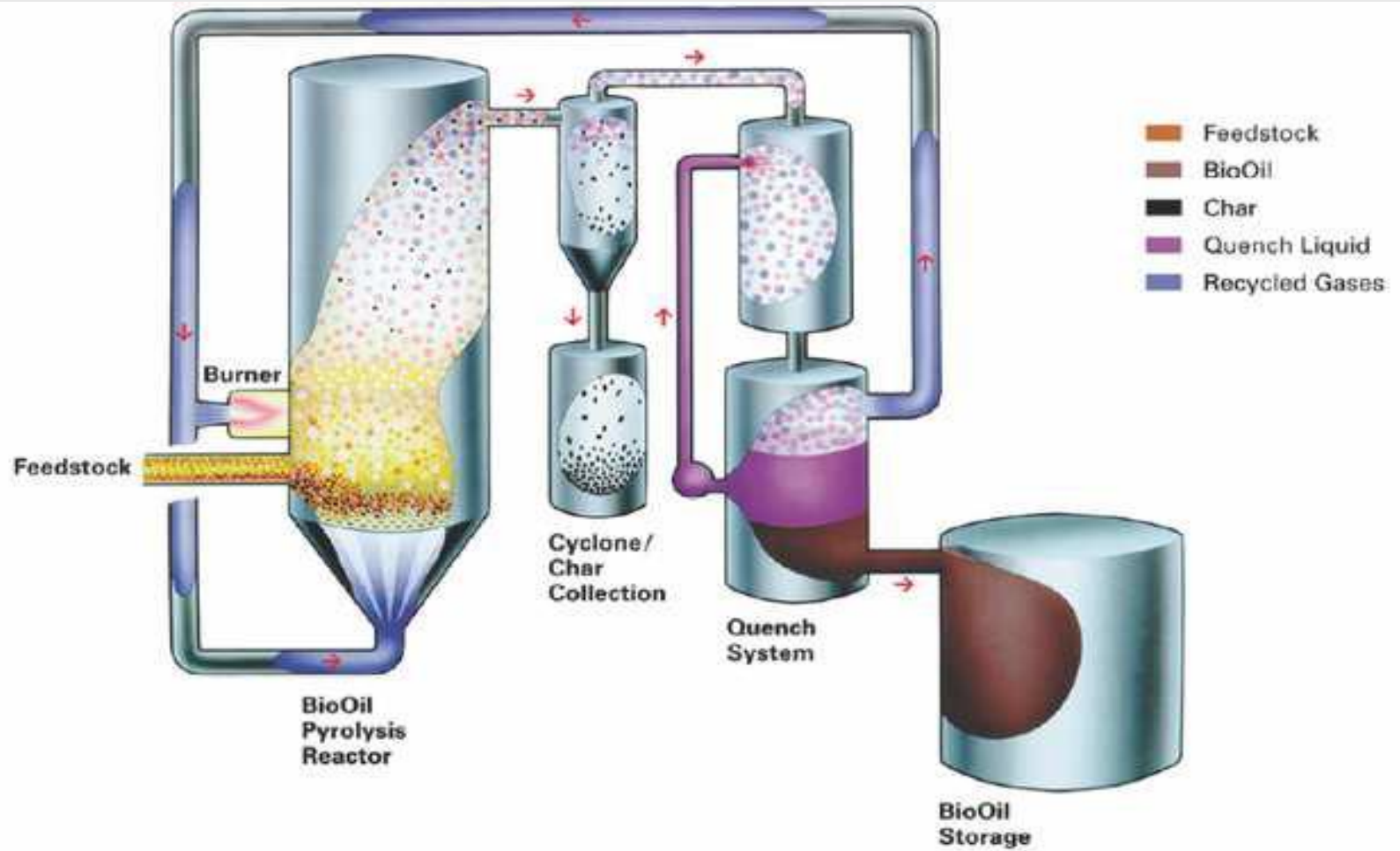
Sistemi za pirolizu

Piroliza se najčešće koristi za dobijanje drvenog uglja ili ćumura od drveta i koksa ili koksnog gasa iz uglja. Piroliza čvrstog otpada nije se pokazala kao uspešna. Razlozi za neuspeh su složenost sistema za pirolizu otpada i raznovrsnost u sastavu čvrstog otpada.

Interesovanje za proces pirolize čvrstog komunalnog otpada otpočelo je krajem 1960. godine. Interesovanje je bilo zasnovano na činjenici da je najmanje 60% čvrstog komunalnog otpada organskog porekla što je odgovarajuća sirovina za pirolizu. Tokom sredine 1970-tih, interesovanje za pirolizu kao metod za proizvodnju energije dostiglo je vrhunac.



Sistem za pirolizu



Princip rada

Sistem koristi pesak kao nosioca toplote i gas, kao što je azot. Pesak se zagreva u spoljašnjoj peći.

Temperature se kreću od 400 do 950 °C. Reakcije koje se odvijaju su vrlo brze i uz naglo hlađenje produkata stvara se tečna frakcija i to oko 67 % sirovine. Za hlađenje produkata pirolize koristi se voda.

Čađ se uklanja na ispustu koji deli čađ i pesak, koji se nakon reciklaže vraća u reaktor.

Za odvajanje tečne i gasovite faze koristi se kondenzatori i filteri/cikloni i elektrostatički filteri.



Prednosti i mane pirolize

Prednosti pirolize su:

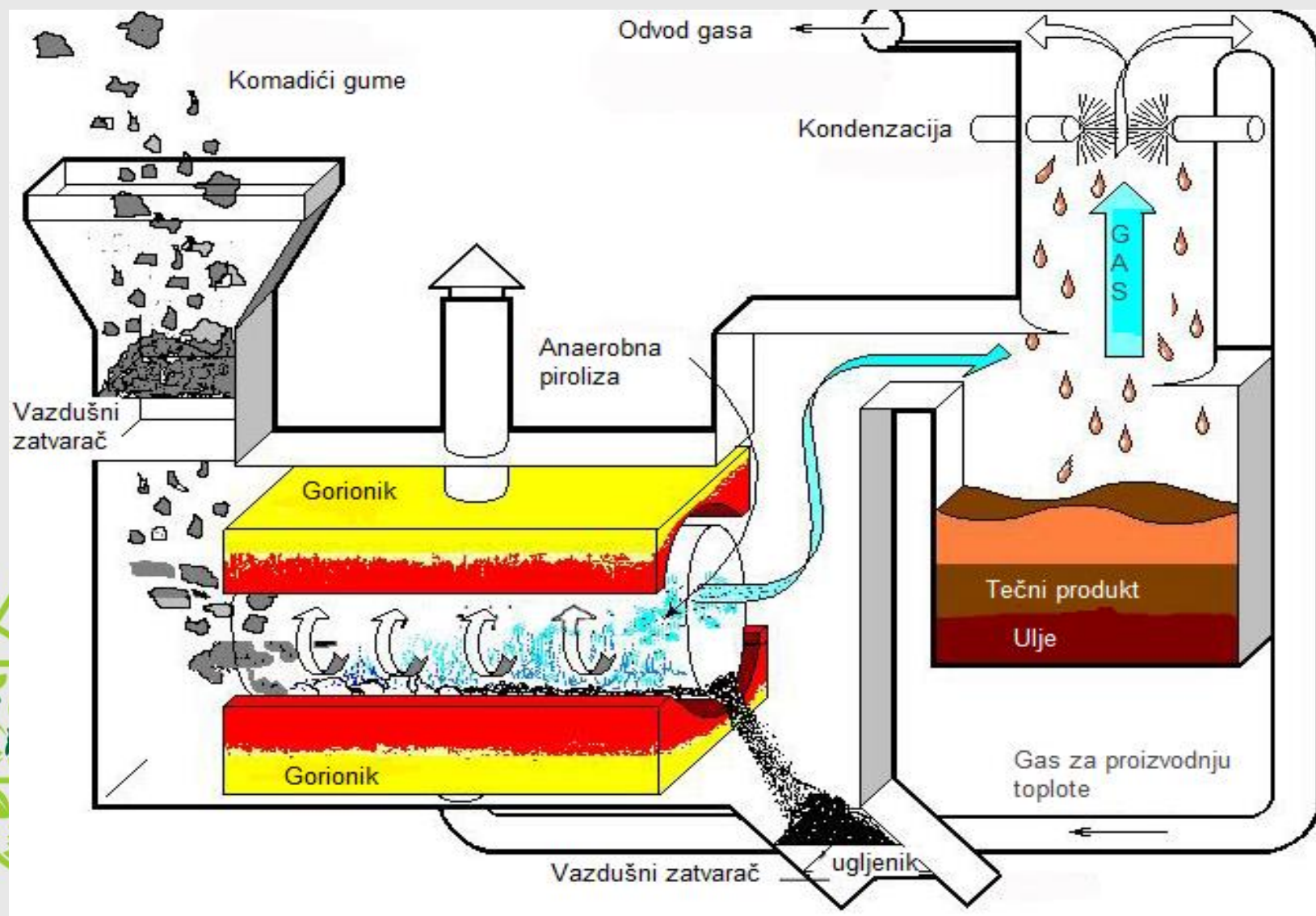
- ✓ Niska radna temperatura
- ✓ Nema dodatnog vazduha i manje otpadnih gasova
- ✓ Sporedni produkti su sagorljivi
- ✓ Manja masa dimnih gasova
- ✓ Fleksibilnije vođenje procesa
- ✓ Manje zagađenje okoline

Nedostaci pirolize su:

- Potrebno je usitnjavanje i homogenizacija otpada
- Loše energetske iskorišćenje zbog povećanog sadržaja koksa i nesagorelog ugljenika
- Povećan sadržaj teških metala i toksičnih organskih komponenata zbog nižih temperature reakcija.



Prerada gume postupkom pirolize

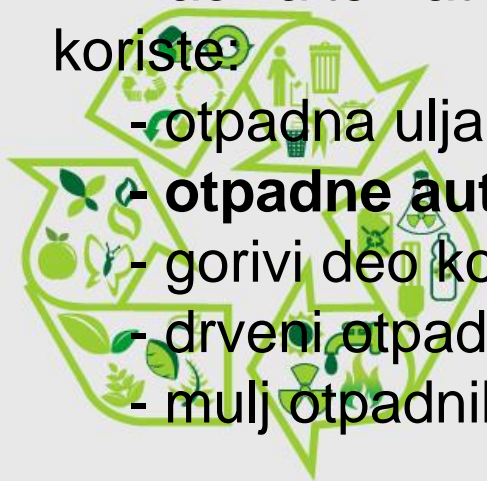


Alternativne metode sagorevanja čvrstog otpada

Proizvodnja cementa spada u red industrijskih grana s najvećom potrošnjom električne i toplotne energije po jedinici proizvoda. Kod tzv. suvog postupka proizvodnje cementnog klinkera, troši se, oko 100 kWh po toni cementa i oko 3,3 – 3,6 GJ po toni klinkera. Zbog toga se u cementnoj industriji koriste različite vrste alternativnih goriva, pa i otpad – otpadna ulja, otpadne automobilske gume i sl. u pećima za cementni klinker kao poseban vid zbrinjavanja otpada povezan sa znatnim energetskeškim uštedama.

Kao alternativni energenti u cementnoj industriji se najviše koriste:

- otpadna ulja i zaulijene otpadne materije,
- **otpadne automobilske gume,**
- gorivi deo komunalnog i ambalažnog otpada,
- drveni otpad,
- mulj otpadnih voda,



Toplotna moć pojedinih energenata

Prosečna toplotna moć:

- Automobilaska guma oko 30,2 MJ/kg,
- Kamionska guma oko 26,4 MJ/kg,
- Komunalni otpad 8,1 MJ/kg,
- Kameni ugalj 28 MJ/kg,
- Benzin 35,4 KJ/kg,
- Lož ulje 41,8 MJ/kg.



Karakteristike otpadnih guma

Komponenta	Ugalj	Otpadna guma (cela)	Otpadna guma bez čelične žice
Vezani ugljenik	47,14	21,85	22,93
Volatili	34,05	54,23	67,31
Pepeo	11,05	23,17	8,74
Vlaga	7,76	0,75	1,02
Ukupno	100,00	100,00	100,00

U odnosu na sastav uglja, guma iz koje je odstranjena čelična komponenta ima približno dvostruko niži sadržaj vezanog ugljenika, a dvostruko viši sadržaj isparljivih komponenata, približan sadržaj nesagorivog ostatka, a značajno niži sadržaj vlage, što uz gotovo dvostruko veću toplotnu moć gume u odnosu na ugalj, otpadne gume preporučuje kao veoma pogodan energent.

Prednosti sagorevanja otpada u cementnim pećima

Cementna peć je bezbedan način sagorevanja otpada iz sledećih razloga:

- visoka temperatura u peći (temperatura gasova iznosi 2000 °C, a materijala >1400 °C);
- vreme zadržavanja je dovoljno dugo, te dolazi do razgradnje svih organskih jedinjenja;
- obezbeđena je efikasna filtracija gasova kroz sistem predgrejača;
- čvrsti produkti sagorevanja (pepeo) hemijskim reakcijama postaju sastavni deo klinkera i ne dospevaju u okolinu. Kako čvrsti produkti sagorevanja uglavnom sadrže ista hemijska jedinjenja kao i cement, oni ne dovode do promene sastava i svojstava cementa.



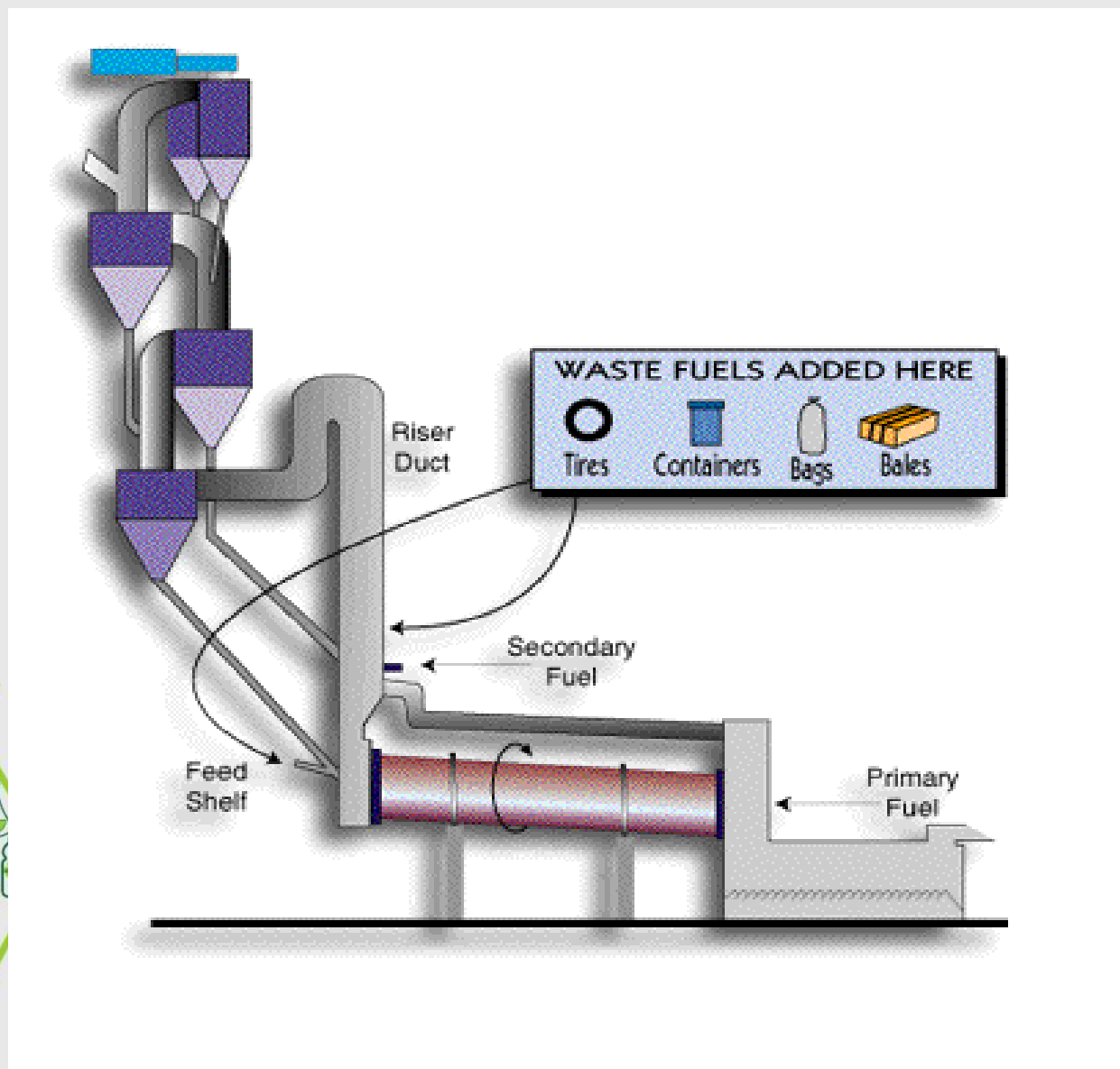
Sagorevanje otpadnih guma

Jedna od načina korišćenja otpadnih guma kao primarnog energenta je sagorevanje u reaktorima sa fluidizovanim slojem u kome sagoreva usitnjena guma.

Fluidizovani sloj ovakvog reaktora čini pesak koji fluidizira zagrejan na oko 800 °C, a u koji se kontinualno dodaje gumena strugotina koja se spontano pali i potpuno sagoreva.

Zbog prisustva sumpora u materijalu pneumatika (maksimalno 1,5%), gasoviti produkti sagorevanja sadrže i SO₂. Emitovana količina SO₂ u gasovima na izlazu iz reaktora kontroliše se dodavanjem krečnjaka u fluidizovani sloj pri čemu se formira prah gipsa koji se zadržava u sistemu ciklona i vrećastih filtara. Ovaj metod eliminiše oko 90% SO₂.

Sagorevanje otpada u proizvodnji cementa



Sagorevanje otpadnih guma

Guma u cementnim pećima sagoreva na temperaturi od oko 1450 °C uz dovoljno zadržavanje gasova u peći (od 4 do 12 s) da bi organski polutanti u potpunosti sagoreli.

Gasoviti produkti sagorevanja ostaju u granicama propisanih standarda pošto je reč o kontrolisanom sagorevanju (prisustvo krečnjaka u sirovinama obezbeđuje vezivanje SO₂), a čvrsti produkti sagorevanja (inertni sastojci i čelična komponenta guma) ostaju ugrađeni u cementnom klinkeru u obliku silikata ili oksida, ne umanjujući mu kvalitet.

Značajna ušteda ostvaruje se u produkciji CO₂ pošto se deo fosilnih goriva zamenjuje gumama u kojim deo energije potiče iz obnovljivog izvora (prirodne gume).



Produkti sagorevanja otpadnih guma

Pri kontrolisanom sagorevanju guma, dokazano je da se produkti sagorevanja guma ne razlikuju od produkata sagorevanja konvencionalnih fosilnih goriva, izuzev značajno veće emisije cinka. Razlog povećanog prisustva cinka u produktima sagorevanja guma je dodavanje cink-oksida u procesu proizvodnje gume (u fazi vulkanizacije), u količini od 1 do 1,5%.

Pri kontrolisanom sagorevanju gume cink delom prelazi u gasovite produkte sagorevanja, gde je prisutan u obliku praškastog ZnO, dok se ostatak cinka zadržava kao oksid u pepelu. Prah cink-oksida se može efikasno eliminisati iz gasovitih produkata sagorevanja na filtarskom postrojenju sa filter-vrećama ili elektrostatičkim filtrima.

