

# Tehnologije uplinjavanja krutog goriva

---

**Stošić, Silvestar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:267791>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Silvestar Stošić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Silvestar Stošić

TEHNOLOGIJE UPLINJAVANJA KRUTOG GORIVA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: prof. dr. sc. Juraj Šipušić

Članovi povjerenstva: prof. dr. sc. Juraj Šipušić

doc. dr. sc. Krunoslav Žižek

doc. dr.sc. Ljerka Kratofil Krehula

Zagreb, rujan 2018.

*Zahvaljujem svom mentoru doc. dr. sc. Juraju Šipušiću na predloženoj temi, korisnim savjetima i pomoći tijekom pisanja ovog rada.*

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	3
2.1.1. Ugljen općenito .....	3
2.1.2. Isplinjavanje ugljena.....	5
2.1.3. Rasplinjavanje ugljena.....	6
2.1.4. Termodinamički osvrt na proces rasplinjavanja ugljena .....	8
2.1.5. Tehnologije rasplinjavanja ugljena.....	10
2.2.1. Biomasa - općenito .....	21
2.2.2. Tehnologije uplinjavanja drvene i biljne biomase .....	23
2.2.3. Tehnologije uplinjavanja industrijskog i komunalnog otpada .....	25
2.2.4. Tehnologije uplinjavanja životinjske biomase .....	27
<b>3. ZAKLJUČAK</b> .....	29
<b>4. LITERATURA</b> .....	30
<b>5. ŽIVOTOPIS</b> .....	32

## Tehnologije uplinjavanja krutog goriva

### SAŽETAK

Danas vrlo značajni i ekološki prihvatljivi procesi uplinjavanja krutog goriva način su da se iz otpadne biomase ili ugljena dobije plemenitiji plinoviti energent. Ugljen možemo isplinjavati i rasplinjavati, a postupci rasplinjavanja ugljena razlikuju se i ovisе ponajprije o veličini čestica i njegovom sastavu. Od jednostavnih tehnologija manjeg iskorištenja uplinjavanja komadnog, sitnog ugljena ili ugljene prašine, razvile su se danas modernije i ekonomičnije tehnologije kao što su podzemno uplinjavanje ugljena (UCG) i kombinirani procesi s integriranim rasplinjavanjem (IGCC). Tehnološki napredak omogućio nam je veća iskorištenja, uplinjavanje teško dostupnog ugljena i ekološku prihvatljivost procesa uplinjavanja. Kako iz ugljena, tako i iz biomase možemo dobiti plin uplinjavanjem. Ovisno o vrsti biomase (drvena, industrijski otpad, životinjska ili sekundarni proizvodi poljoprivrede) i procesu dobivanja plina (anaerobna fermentacija ili rasplinjavanje) dobivamo bioplin određenog sastava.

*Ključne riječi:* uplinjavanje, rasplinjavanje, ugljen, tehnologije, biomasa, energija

## Solid fuel gasification technology

### ABSTRACT

Today, very important and environmentally-friendly processes for solid fuel gasification are methods for conversion of biomass waste or coal into more usefull gaseous energy source. Coal gasification processes depend primarily on the particle size and its composition. From the simplest technologies of low yield, modern and more economical technologies such as UCG and Integrated gasification combined cycle (IGCC) have been developed today. Technological progress enabled higher yields and use/gasification of hardly available coal by ecologically beneficial process. As from coal gasification, gaseous fuel/raw material can be obtained by biomass gasification. Depending on the type of biomass (wood, industrial waste, animal or secondary agricultural products) and the process of gas generation (anaerobic fermentation or gasification) gaseous fuels of various compositions are obtained.

*Keywords:* gasification, coal, biomass, technology, energy

## 1. UVOD

Najstariji oblik energije koji je čovjek upotrijebio bilo je drvo, ponajprije za pripremu hrane i grijanje. U prvom stadiju razvoja rasvjeta je imala manje značenje; najvjerojatnije je za prvu rasvjetu služila drevna baklja. Prvo fosilno gorivo bilo je asphalt koji su koristili Sumerani oko 6000 godina prije Krista. Poslije su se goriva koristila za dobivanje cigle i vapna, zatim za dobivanje bakra i željeza, a oko 3000 godine prije Krista prilikom glaziranja i emajliranja lončarskih proizvoda. U razdoblju Babilonskog carstva (2500. do 538. godine prije Krista) u znatnoj mjeri su upotrebljavani asphalt i sirova nafta. Ugljen se u tom razdoblju koristi samo u Kini (1100 godina prije Krista) za proizvodnju šećera, papira, baruta i metala. Rimljani su u potrebi za mehaničkom energijom prvi koristili energiju vode i vjetra za pokretanje jedrenjaka. Dvije stotine godina prije dolaska Kolumba indijanska plemena su koristila ugljen, dok je u Velikoj Britaniji i Europi upotreba bila ograničena, a u Engleskoj čak i zabranjena zbog neznanja i predrasuda o otrovnosti plinova izgaranja. S vremenom je potrošnja goriva porasla, pa je početkom 18. stoljeća afirmirana upotreba ugljena i koksa. Plin kao proizvod ispinjavanja ugljena prvi put je upotrijebljen 1691. godine u Irskoj za rasvjetu što je zamijenilo upotrebu biljnih i životinjskih masti u tu svrhu. Bilo je međutim potrebno još skoro stotinu godina da taj plin dostigne komercijalnu vrijednost. Godine 1790. James Watt završio je sa konstrukcijom parnog stroja koji je potaknuo prvu industrijsku revoluciju i tako povećao eksploataciju ugljena, koja je bila omogućena baš pomoću takvog stroja. Ugljen je upotrebljavan i za proizvodnju plina. Tako u Londonu 1812. godine postoji plinska mreža duga 200 km. Plin se tada upotrebljavao za rasvjetu. U Londonu se 1817. godine proizvodi nešto manje od 10 000 m<sup>3</sup> plina ispinjavanjem ugljena, što je bilo dovoljno za 75 000 rasvjetnih plamenika. U proizvodnji plinovitih goriva od ugljena primjenjuju se dva postupka: *isplinjavanje* i *rasplinjavanje* ugljena. Odavno je bilo poznato da se zagrijavanjem ugljena bez pristupa zraka proizvode gorivi plinovi. Tako je već 1681. godine patentiran postupak proizvodnje katrana zagrijavanjem ugljena, uz koju je zapaženo i razvijanje plinova, ali on se tada nije praktično primjenjivao. Tek krajem 18. stoljeća počela je veća upotreba plina dobivenog od ugljena, pa je 1798. godine izgrađena prva plinara kod Birminghama (Velika Britanija). Nekoliko godina kasnije izgrađena su nova postrojenja u SAD-u i Europi. U novije doba razvijaju se naprednije tehnologije uplinjavanja ugljena s ciljem većeg iskorištenja, manjeg zagađenja, manje potrebe za random snagom, većom

sigurnosti i uplinjavanje teško dostupnog ugljena. Prvi izvor sirove nafte otkriven je 1627. godine u SAD-u, prva naftna bušotina u Modeni 1640. godine. Smatra se međutim da je industrijsko iskorištavanje nalazišta sirove nafte započelo 1859. godine u Pennsylvaniji (SAD). Prva upotreba prirodnog plina u suvremeno doba ostvarena je u Fredonii za grijanje stanova, potrošnja je bila mala. Iskorištavanje prirodnog plina u većem opsegu započelo je tek 1884. godine, kad je prirodni plin doveden u Pittsburg plinovodom dugačkim 23 km. Tamo je upotrebljavan za rasvjetu, grijanje i toplinske procese. Iako su nafta i prirodni plin najzastupljeniji, ograničenost resursa i nepovoljni utjecaj na okoliš natjerao nas je na razvoj novijih, nekonvencionalnih i obnovljivih oblika energije. Tako biomasa, koja se od davnina koristi kao energent u obliku ogrijevnog drva, dobiva sve veću vrijednost danas jer osim uobičajenog izgaranja, obradom biomase možemo dobiti plemenitija goriva u obliku komprimirane biomase (peleti, briketi) ili plina. Pod biomasu spadaju drvena biomasa, biomasa dobivena kao nusproizvod industrije, životinjska biomasa i otpad. Danas je sve popularnije dobivanje etanola i bioplina iz različitih vrsta biomase zbog njegove ekološke prihvatljivosti. Osim biomase sve veća je zastupljenost u korištenju sunčevih kolektora, vodnih snaga, energije vjetra, geotermalne energije i drugih obnovljivih oblika energije. [1].

Energija je osnova današnjeg tehnički visokorazvijenog svijeta. Ugljen je omogućio ulazak u industrijsku epohu, nafta je revolucionirala transport i smanjila udaljenosti, nuklearna energija će omogućiti daljnji razvoj, dok ne postane moguće iskorištavanje praktički neiscrpnih izvora energije kao što je fuzija lakih atomskih jezgara, ili dok se ne pronađe način racionalnog iskorištavanja ogromne energije sunčeva zračenja i energije akumulirane u stijenama Zemljine kore. Zadovoljavanje potreba za energijom zahtijeva velika ulaganja i znatnu proizvodnju opreme za energetska postrojenja, uređaje i energetska trošila. Zadovoljenje tih potreba može izazvati političke sporove, pa i sukobe, jer su nalazišta pojedinih oblika energije nejednoliko geografski raspodijeljena. Problem opskrbe fosilnim gorivima (ugljen, sirova nafta, prirodni plin) postao je svjetski problem jer su rezerve svih sirovina ograničene. Danas kad je iskorištavanje nekih sirovina doseglo takvu razinu da se procjenjuje da će zalihe nekih sirovina biti iscrpljene i za manje od stotinjak godina, mora se postupati oprezno i racionalno.



## 2. TEORIJSKI DIO

### 2. 1. 1. Ugljen općenito

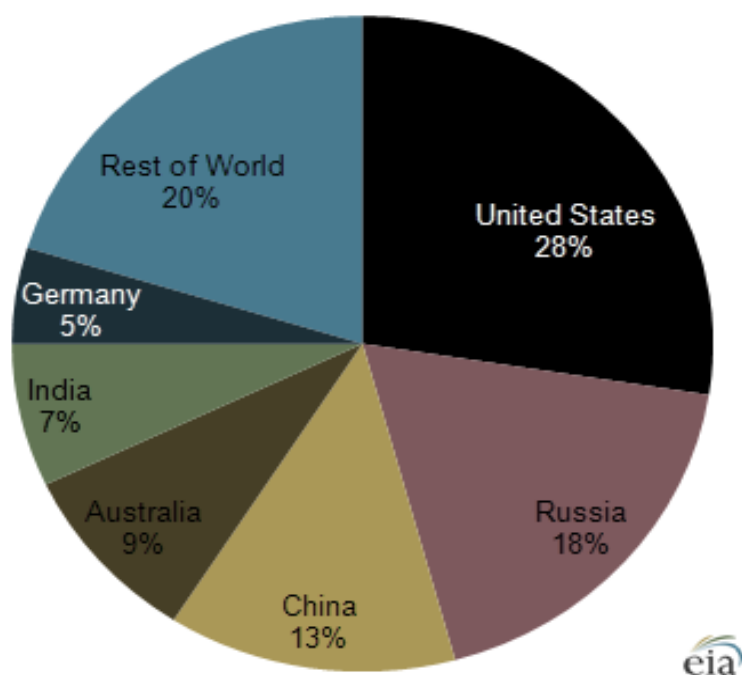
Ugljen je gorivi sediment. Svrstavamo ga u neobnovljive konvencionalne oblike energije. Sastoji se pretežito od ostataka, odnosno produkata pretvorbe biljaka, a nastao je od tresetišta iz daleke prošlosti. Proces pougljenjivanja ostvaruje se postupnim povećanjem relativnog sadržaja ugljika (C) uz istodobno smanjenje relativnog sadržaja kisika (O<sub>2</sub>) i dušika (N<sub>2</sub>) te uz sve manji sadržaj vodika (H<sub>2</sub>). Proces pougljenjivanja provodi se tijekom milijuna i stotina milijuna godina.[1] Ugljen možemo i klasificirati prema udjelu ugljika (Tablica 1).

**Tablica 1.** Vrste ugljena i usporedba toplinske vrijednosti s drvom [1]

	Gustoća, kg/m <sup>3</sup>	Donja toplinska vrijednost, MJ/kg	Udio vlage,%	Hlapljivi sastojci, % suhe tvari	Udio ugljika, % suhe tvari
Drvo	0,2-1,3	14,7	Suho d.	80	50
Treset	1,0	6,3-8,4	60-90	65	55-65
Lignit	1,2	7,5-12,6	30-60	50-60	65-70
Mrki ugljen	1,25	16,7-29,3	10-30	45-50	70-80
Plameni kameni ugljen	1,3	29,3-33,5	3-10	17-45	80-90
Mršavi kameni ugljen	1,35	33,5-35,6	3-10	7-17	90-93
Antracit	1,4-1,6	35,6-37,7	1-2	4-7	93-98

Opis strukture ugljena ozbiljno je ograničen velikom raznolikošću ugljena i varijabilnošću kemijskih svojstava. Ipak, takav opis postaje značajan jer je utvrđeno da se kemijska svojstva ugljena opisuju manjim brojem funkcionalnih skupina zajedničkih svim vrstama ugljena. Pretpostavlja se da se ugljeni razlikuju po sadržaju tih funkcionalnih skupina. Kako je vitrinit (vrsta macerala ugljena, analogno mineralu kod kamenja) prisutan u najvećem udjelu (više od 70% u većini ugljena), strukturne značajke opisane u nastavku se uglavnom odnose na vitrinitsku komponentu. Ideja o predstavljanju različitih ugljena zajedničkim skupom funkcionalnih skupina nije bila u potpunosti opravdana, ali je općenito kompatibilna s eksperimentalnim dokazima. [3]

Iz tablice 1. vidljivo je da se s porastom postotnog udjela ugljika smanjuje udio vlage, raste gustoća ugljena i donja toplinska vrijednost (MJ/kg). Ogrijevna moć osnovno je obilježje ugljena. Sadržaj vlage u ugljenu smanjuje njegovu ogrijevnu moć. Postotak vlage u ugljenu nakon što je izvađen ovisi o obradi i o atmosferskim utjecajima kojima je on izložen za vrijeme prijevoza i uskladištenja. [1] Zalihe ugljena u svijetu neravnomjerno su raspodijeljene. Najviše zaliha nalazi se u SAD, Rusiji i Kini, a velike zalihe imaju i Australija, Indija i Njemačka.



**Slika 1.** Zalihe ugljena u svijetu, 2011. godina [4]

### 2.1.2. Isplinjavanje ugljena

Isplinjavanjem se naziva postupak kojim se iz ugljena, djelovanjem topline bez pristupa zraka, izlučuju plinovi i tekuće tvari. Primarni produkti isplinjavanja su bitumenozne tekućine iz kojih se sekundarnom razgradnjom razvijaju plinovi. Plinovi koji se dobivaju isplinjavanjem *ne nalaze* se u takvom obliku u ugljenu.

Grijanjem ugljena u zatvorenim komorama pri temperaturi višoj od 100 °C isparava higroskopna vlaga, dok na 280 °C se odvaja voda vezana u kemijskim spojevima, sumpor i CO<sub>2</sub>. Taj proces možemo smatrati pougljenjivanjem jer mlađi ugljen poprima kemijski sastav geološki starijeg ugljena. Pri 300 °C počinje se ugljen taliti, pa pri temperaturama od 350-400 °C ugljen postaje plastična, kašasta masa. Daljnjim zagrijavanjem bitumenozne tvari se djelomično raspadaju, dajući pare i plinove. Na temperaturama oko 500-600 °C masa se ponovo skrućuje u polukoks, gdje preostali dio bitumenoznih sastojaka služi kao vezivo za koksne čestice. Pravi koks, koji se prepoznaje po nastalim rupama i pukotinama nastane kao produkt isplinjavanja tek nakon uklanjanja ostatka bitumenozne supstancije pri temperaturama od preko 1000 °C. Prvi plinovi se stvaraju za vrijeme stvaranja plastične mase, najveći dio se oslobađa ponovnim skrućivanjem, a pri vrlo visokim temperaturama pojavljuju se još neki plinoviti ostaci.

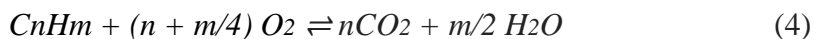
Proces isplinjavanja primjenjuje se za dobivanje rasvjetnog plina, švelovanje ugljena i koksiranje ugljena. Razlika između koksiranja i švelovanja je u temperaturi isplinjavanja. Švelovanje se provodi na temperaturama od 500-600 °C, a produkti su polukoks, katran i smjesa plinova. Koksiranje se provodi na temperaturama do 1000 °C, a glavni produkti su metalurški koks i smjesa uglavnom H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i CO u tri puta većoj količini u odnosu na švelovanje. Rasvjetni plin proizvodi se u plinarama, gdje je on glavni produkt za dobivanje koksa i katrana. Dobiveni plin prije upotrebe treba pročititi, a pročišćeni plin sadrži oko 50% vodika(H<sub>2</sub>), 30% metana (CH<sub>4</sub>), 8% ugljikovog monoksida (CO), a ostatak su viši ugljikovodici, CO<sub>2</sub>, kisik (O<sub>2</sub>) i dušik (N<sub>2</sub>). Početkom 18. stoljeća koristio se za rasvjetu, a danas se troši u smjesama s drugim plinovima (pretežno vodenim plinom) pod nazivom gradski plin. Gradski plin je naziv za plin koji se odvodi malim potrošačima (npr. kućanstvima). Danas se gradski plin dobiven rasplinjavanjem sve manje koristi jer su ga zamijenili naftni plin i prirodni plin koji se može direktno odvoditi potrošačima ili se može od njega napraviti gradski plin. [1]

### 2.1.3. Rasplinjavanje ugljena

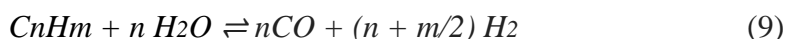
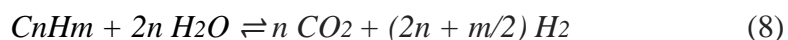
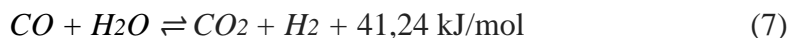
Rasplinjavanje je kemijski proces kojim se gorivi sastojci ugljena djelomično nepotpunim izgaranjem pretvaraju u gorive plinove. Smatra se da su za rasplinjavanje povoljnija ona čvrsta goriva koja imaju veći udio vodika u gorivu što znači da imaju veću reakcijsku sposobnost. Udio vodika u ugljenu smanjuje se sa stupnjem pougljenja, što znači da se smanjuje sa starošću. Rasplinjavanjem se dobiva plemenitiji oblik energije, pa tako dobivena energija ima i veću cijenu. U prošlosti se praktički nad svim vrstama krutog goriva provodilo rasplinjavanje (drvo, treset, sve vrste ugljena, koks), dok se danas rasplinjavaju lignit, mrki ugljen, mlađi kameni ugljen, ugljen s velikim udjelom pepela i sumpora koji se ne mogu drugačije povoljno iskoristiti.

Reakcije kod rasplinjavanja:

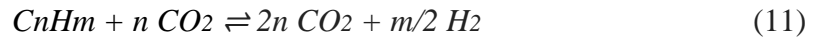
a) Reakcije sa slobodnim kisikom



b) Reakcije s vodenom parom



c) Reakcije s ugljikovim dioksidom



d) Reakcije razgradnje ugljikovodika



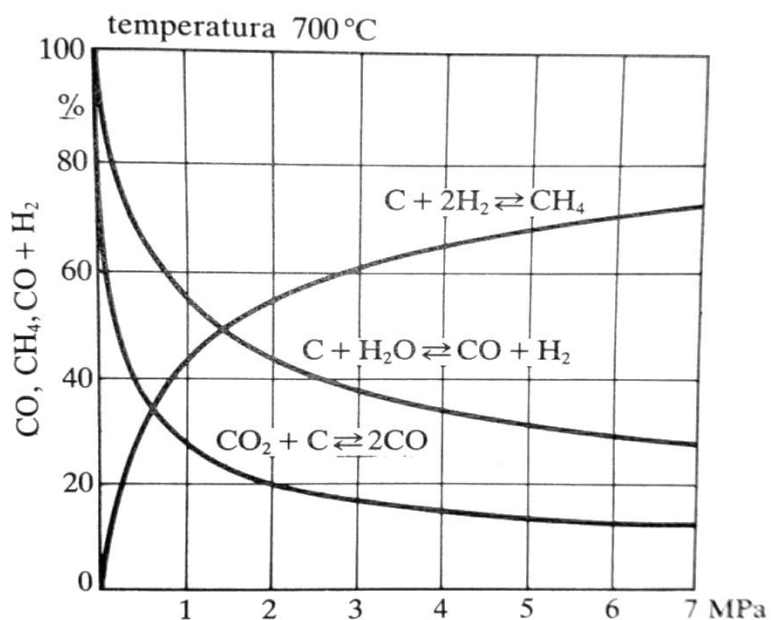
Brzina reakcija, pa tako i rasplinjavanja, povećava se s temperaturom, u nekim slučajevima ubrzava se katalizatorima, dok utjecaj tlaka je uočljiv samo kod reakcija gdje nastaje različit broj molova produkata u odnosu na broj molova reaktanata. Rasplinjavanjem ugljena kisikom i vodenom parom u prvoj fazi nastaju CO i CO<sub>2</sub> prema jednadžbama (1) i (2) nakon čega CO<sub>2</sub> nastao iz reakcije (2) reagira s užarenim ugljenom prema jednadžbi (10) dajući ugljikov monoksid. Taj ugljikov monoksid reagira s vodenom parom prema jednadžbi (7) i tako se stvara vodik (H<sub>2</sub>). Kod rasplinjavanja pri visokom tlaku postoji mogućnost stvaranja metana prema sljedećem izrazu:



Sastav plinova koji se dobivaju ovisi o sastavu goriva i dovodi li se u plinski generator zrak, vodna para ili njihova smjesa. Kad se dovodi suhi zrak koji je smjesa kisika i dušik dobivamo zračni plin. Kisik reagira s ugljikom i daje CO<sub>2</sub> koji u daljnjoj reakciji (10) daje produkte gorivi ugljikov monoksid (oko 30 % CO) i ostatak je inertni dušik (N<sub>2</sub>). Vodeni plin nastaje uvođenjem samo vodene pare gdje se uglavnom odvija reakcija (6) iz koje dobivamo vodik i ugljikov monoksid u približno jednakim količinama. Najčešće se upotrebljava za kemijsku sintezu, a rijetko se upotrebljava kao pogonsko gorivo jer je pogon takvog generatora kompliciran. Plin koji se dobiva iz smjese zraka i vodene pare u reakciji rasplinjavanja naziva se generatorski plin i nije ništa drugo nego istovremena proizvodnja vodenog i zračnog plina. [1]

### 2.1.4. Termodinamički osvrt na proces rasplinjavanja ugljena

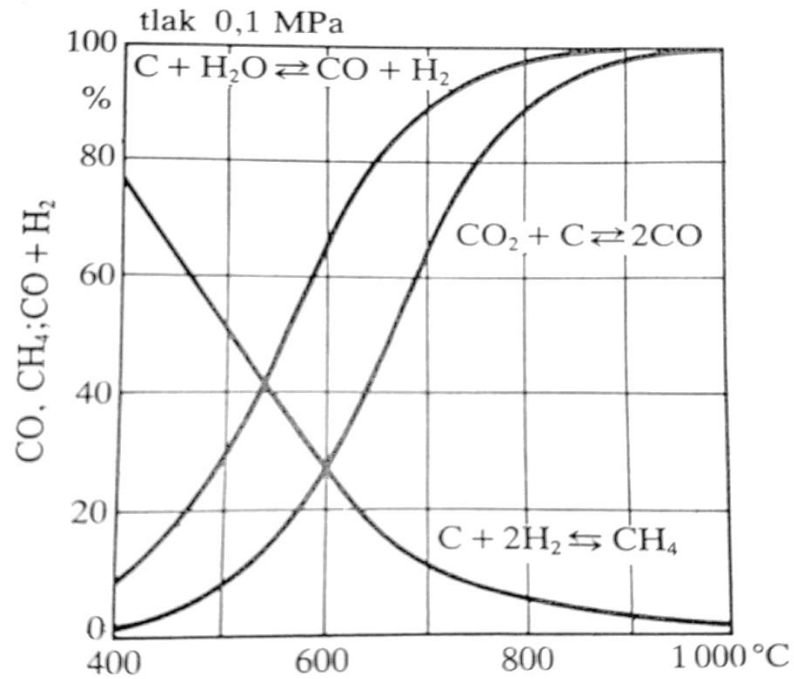
Utjecaj tlaka na ravnotežni sastav kod procesa rasplinjavanja ovisi isključivo o stehiometriji kemijske reakcije koja se odvija tijekom procesa. Ako je u kemijskoj reakciji broj produkata jednak broju reaktanata, jednačbe (6), (7) i (10), tlak neće utjecati na ravnotežni sastav jer bez obzira na veličinu molekule pretpostavlja se da ista količina bilo kojeg plina zauzima isti volumen. Volumen koji zauzimaju same čestice zanemariv je u odnosu na volumen koji ispunjava plin. Kada u kemijskoj jednačbi nastaje više molova produkata od broja molova reaktanata tada njoj pogoduje niži tlak jer se povećava ukupna količina plina i ima tendenciju proširiti svoj volumen. Kada je stehiometrijski broj produkata manji od broja reaktanata (jednačbe (1), (2), (3) i (13)) tada sustavu pogoduje smanjenje volumena uz povećanje tlaka da bi ravnoteža bila pomaknuta prema produktima. Tako viši tlakovi pogoduju nastanku metana, dok je za dobivanje ugljikovog monoksida i vodika ravnoteža pomaknuta prema produktima na nižim tlakovima.



**Slika 2.** Ovisnost sastava plinova rasplinjavanja o tlaku pri temperaturi od 700 °C [1]

Utjecaj temperature na sastav plinova ovisi o tome je li reakcija endotermna ili egzotermna. Endotermnim reakcijama (6) i (10) kod kojih moramo dovesti toplinu za pomak ravnoteže prema

produktima pogodovat će više temperature. Kod egzotermnih reakcija (1), (2), (3) i (7), kod kojih se toplina prilikom reakcije oslobađa, više produkata će nastati pri nižim temperaturama.



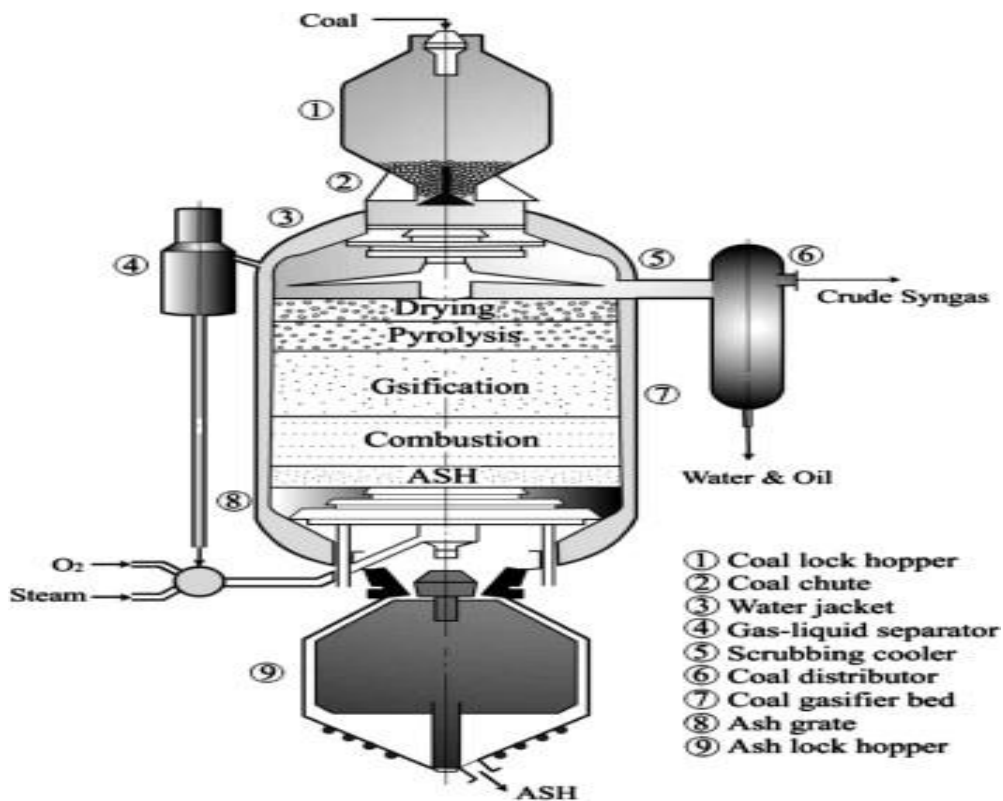
**Slika 3.** Ovisnost sastava plinova rasplinjavanja o temperaturi pri stalnom tlaku od 0,1 MPa[1]

Tako će stvaranju metana, što je egzotermna reakcija, pogodovati niže temperature, dok će stvaranju ugljikova monoksida i vodika pogodovati više temperature.

## 2.1.5. Tehnologije rasplinjavanja ugljena

### A) Postupak Lurgi

Razvijen za rasplinjavanje komadnog ugljena (6 do 50 mm) pod tlakom većim od atmosferskog. Komadni ugljen se rasplinjuje u protustruji pa nasuti ugljen postupno tone prema dnu dok se sredstvo za rasplinjavanje kreće prema vrhu sloja ugljena. Rasplinjavanje pod tlakom ima niz prednosti. Kad je ugljen podjednake veličine može se strujanje ugljena povećati proporcionalno drugom korijenu tlaka, smanjuje se specifični volumen plina što povećava brzinu reakcije. Postupak se koristi u industrijskim razmjerima. [1]



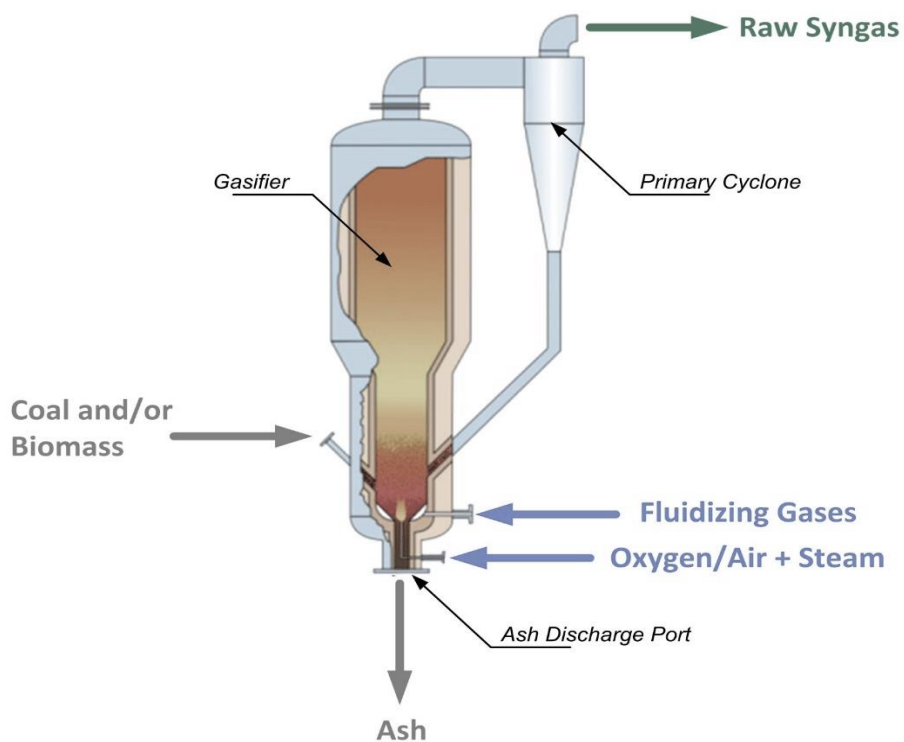
Slika 4. Presjek plinskog generatora Lurgi [5]



Ugljen (veličine 3-30 mm) prethodno osušen na sadržaj vlage manji od 20% dodaje se u generator preko uređaja za jednoliku raspodjelu ugljena po cijeloj površini. Unutar njega nalazi se poluga koja se kreće gore-dolje i razara zapečeni ugljen. Sredstvo za rasplinjavanje, kisik i vodena para, struji kroz okretnu rešetku što osigurava jednoliku raspodjelu po poprečnom presjeku. Ugljen se dovodi s vrha i praktički slobodnim padom prolazi kroz zone sušenja, isplinjavanja, rasplinjavanja i zonu izgaranja. Pepeo, u kojem praktički nema ugljika, odvodi se u suhom satanju s dna generatora. U plaštu generatora imamo rashladnu vodu koja se tijekom postupka isparava i ta dobivena para se dovodi u generator zajedno s kisikom. Sirovi plin odvodi se s vrha generatora. U sirovom plinu nalazi se višak vodene pare, katran i nešto ugljene prašine koji se odvajaju u kondenzatoru. Ugljena prašina se vraća u generator, a katran je nusprodukt.

## B) Postupak Winkler

Postupak kojim se provodi rasplinjavanje sitnog ugljena (1 do 8 mm). Sitni i prašinski ugljen se rasplinjavaju u struji sredstva za rasplinjavanje koje ima isti smjer kretanja kao i ugljen. Rasplinjavanje sitnog ugljena provodi se u generatorima s vrtložnim slojem, prema postupku Winkler kojih je danas jako malo u pogonu uglavnom zbog ekonomskih razloga.

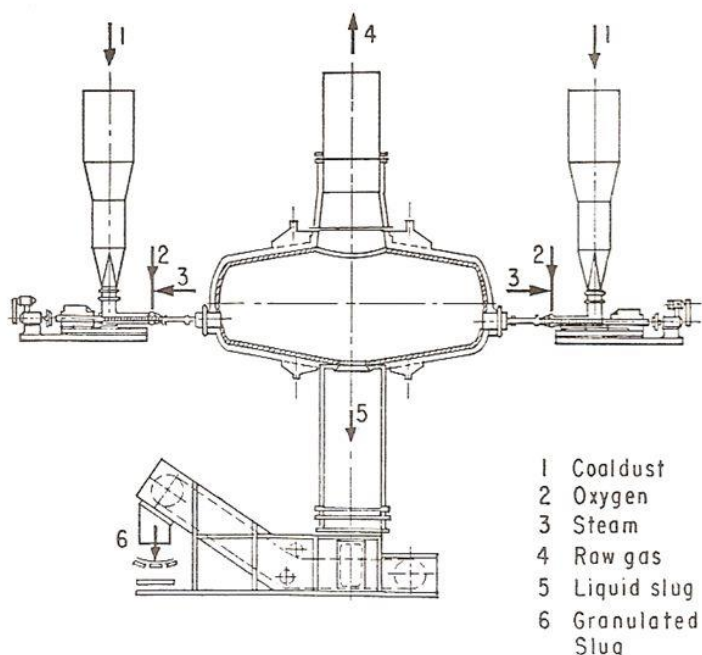


**Slika 5.** Generator s vrtložnom komorom za rasplinjavanje ugljena [6]

Sredstvo za rasplinjavanje (smjesa zraka i vodene pare) i ugljen dovode se na dnu generatora sa strane. Reakcija se odvija vrlo brzo pri reakcijskoj temperaturi od oko 900 °C. Zbog vrtloženja ugljen se dodatno usitnjava pa se ugljena prašina odvodi gore s plinovima, i tamo se dodatno rasplinjava jer se sredstvo za rasplinjavanje može uvesti i u gornji dio generatora. Preostala ugljena prašina koja se odnese u struji plina odvaja se u ciklonu gdje suspenzija ulazi tangencijalno i razdvaja sirovi plin prema vrhu ciklona, a krute čestice ugljene prašine odlaze na dno i vraćaju se u generator. Smatra se da postupak Winkler može biti ekonomičan samo pri većim tlakovima.

### C) Postupak Koppers-Totzek

Postupak koji je razvijen za rasplinjavanje ugljene prašine (manje od 1mm) u svrhu dobivanja sinteznog plina za sintezu amonijaka.

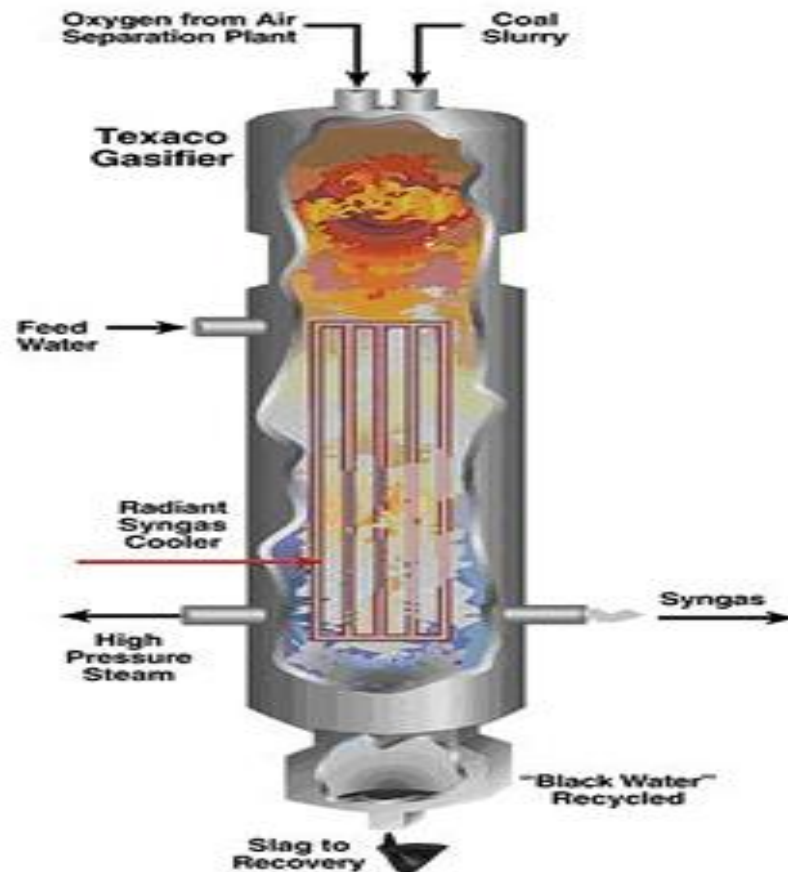


**Slika 6.** Plinski generator Kopper Totzek za rasplinjavanje ugljene prašine [7]

Rasplinjavanje ugljene prašine odvija se u vrtlogu smjese ugljene prašine, kisika i vodene pare. Smjesa se uvodi tangencijalno, a reakcija je ubrzana zbog usitnjene ugljene prašine čime joj se povećava aktivna površina. Reakcija se odvija u dva stupnja. U prvom, dok još postoji višak kisika, se ugljik prevodi u ugljikov dioksid prema jednačbi (2). U drugom stupnju se pri visokim temperaturama (oko 1200 °C) ugljikov dioksid u reakciji sa preostalim ugljikom prevodi u ugljikov monoksid (10). Pritom se pojavljuje i reakcija (6) iz koje dobivamo vodik. Troska (rastaljeni pepeo) pada na dno generatora gdje se granulira u bazenu napunjenom vodom, a proizvedena para služi za dobivanje električne energije za dobivanje kisika. Sirovi plin se odvodi u parni kotao gdje se dalje odvodi u uređaj za otklanjanje prašine i sušenje.

#### D) Postupak Texaco

To je postupak rasplinjavanja ugljene prašine razvijeniji od postupka Koppers-Totzek koji se odvija pod povišenim tlakom. Intenzitet rasplinjavanja raste proporcionalno s tlakom pa možemo dovesti veće količine ugljene prašine bez potrebe za povećanjem cijelog postrojenja. Tlakovi se kreću od 3-4 MPa. Poteškoća koja se javlja u ovom postupku je odvođenje troske i taloženje na stijenkama postrojenja. U postrojenje se uvodi ugljena prašina manja od 0,1mm zajedno sa vodenom parom u omjeru 1:1, pa se višak vode odstranjuje u ciklonu.



Slika 7. Plinski generator za postupak Texaco [8]

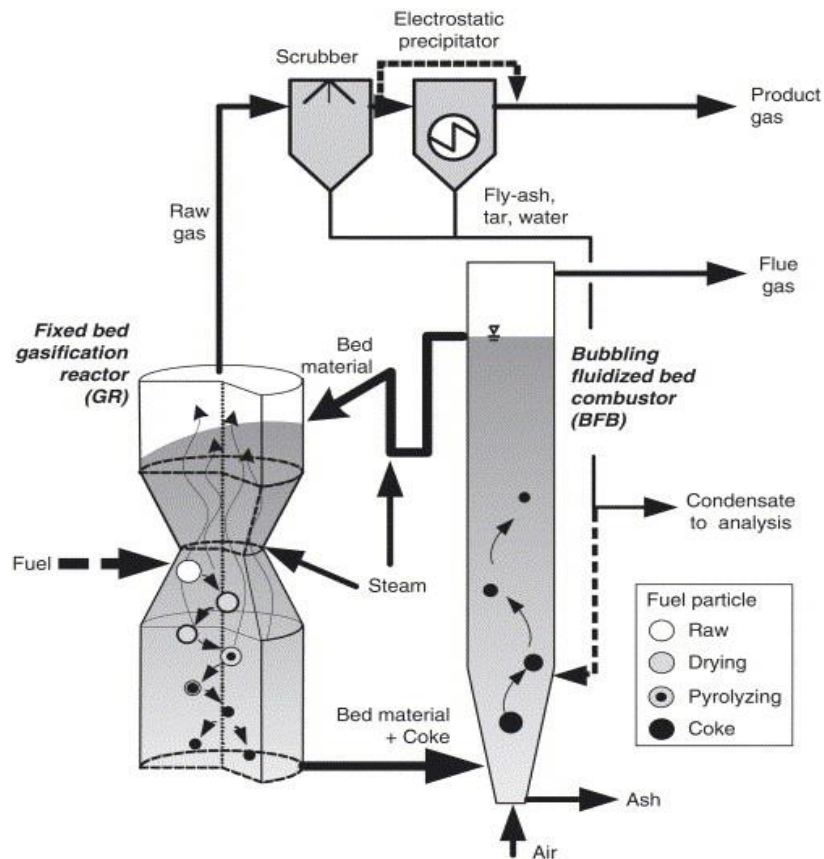
Suspenzija i kisik se dovode odvojeno na vrhu kolone. Prije uvođenja u reaktor suspenzija se predgrije na 500 °C, a reakcijska temperatura iznosi 1200 °C i tako nastaju velike količine CO i H<sub>2</sub> dok se metan dobiva u malim količinama (<1%). Rastaljena troska odvodi se sa dna generatora sa raspršenim mlazom vode, a para i sirovi plin odvojeno se odvođe na dnu kolone. Sirovi plin se pročišćava daljnom obradom. [1]

### ***E) Alotermni postupci rasplinjavanja ugljena***

Za rasplinjavanje ugljena aloternim postupcima toplina se dovodi izvana nekim nosiocem topline. Takvim postupcima se omogućuje eliminacija kisika kao sredstva za rasplinjavanje i smanjenje nastanka CO<sub>2</sub>. Alotermni postupci razlikuju se prema načinu dovođenja topline i prema obliku energije koja služi za proizvodnju topline. Nosioći topline mogu biti generatorski plin (u postupku Didier-Bubiac), granule aluminij oksida (postupak Lurgi-Ruhrgas), pepeo zagrijan u regeneratoreu u kojem izgara koks (u postupku Coalcon) ili užareni dolomit (CaCO<sub>3</sub> x MgCO<sub>3</sub>) u postupku CO<sub>2</sub>-akceptora. [1]

## F) Višestupanjsko rasplinjavanje ugljena

Cilj višestupanjskog procesa rasplinjavanja ugljena je dobivanje sinteznog plina. U tu svrhu trebamo visoke tlakove jer to pogoduje nastanku metana. Potreba da se proizvede što više metana zahtjeva neposredno hidrogeniranje prašinstog ugljena, pa je potrebno predvidjeti dvostupanjski proces.



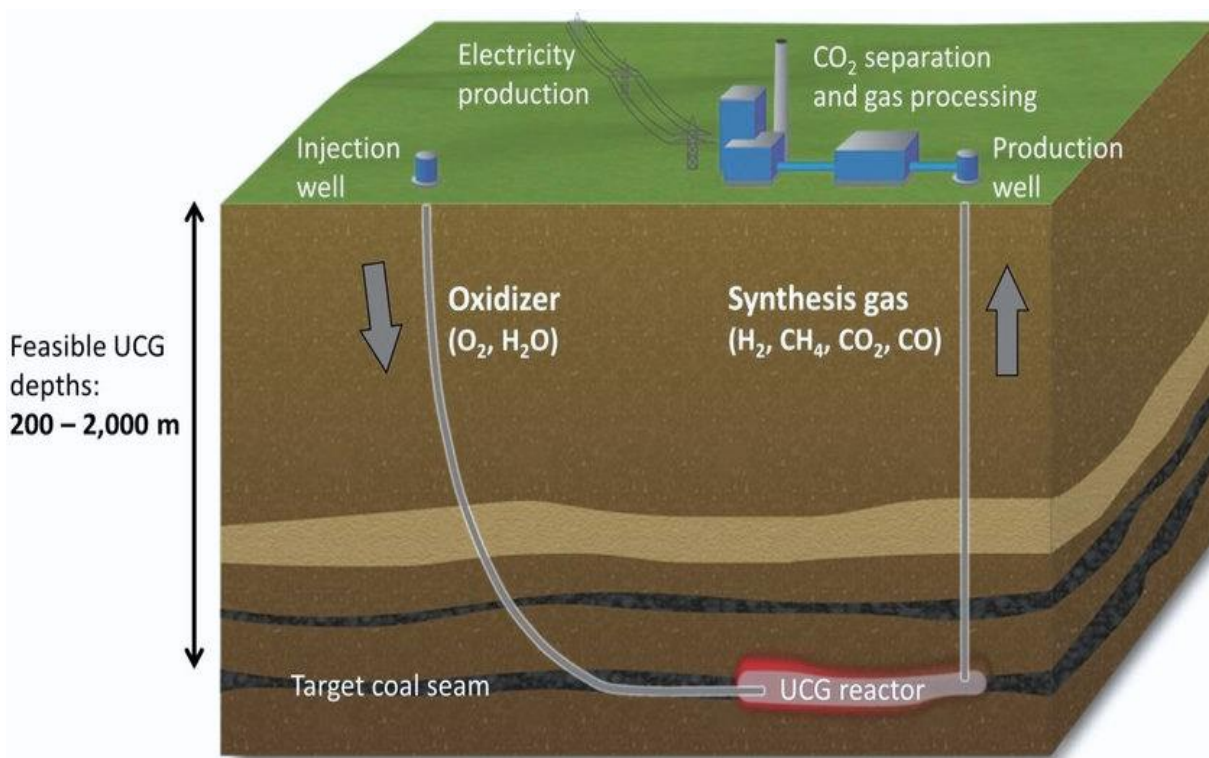
**Slika 8.** Višestupanjsko rasplinjavanje ugljena

U prvom stupnju ugljen se hidrogenira u svrhu dobivanja metana. Osušeni i samljeveni ugljen uvodi se u reaktor gdje se hidrogenirajući rasplinjava pri temperaturi od 800 °C. Sirovi plin odlazi na pročišćavanje gdje se krute čestice vraćaju u drugi stupanj. Koks iz prvog stupnja odlazi u drugi gdje se rasplinjavanjem dobiva vodik potreban za hidrogeniranje u prvom stupnju. Potrebni su visoki tlakovi (7-10 MPa). Sirovi plin nakon pročišćavanja sadrži preko 70% metana. Ovakva postrojenja imaju relativno velika iskorištenja.

### G) Podzemno rasplinjavanje ugljena (UCG)

Kao jedna od nekonvencionalnih tehnologija za razvoj ugljena je podzemno rasplinjavanje ugljena (UCG). To je industrijski proces kojim pretvaramo teško dostupan ugljen u sintezni plin kroz toplinsku i kemijsku obradu ugljena. [9]

Razvojem tehnologija podzemnog rasplinjavanja ugljena postalo je moguće iskoristiti otkrivena, do tada možda nedokazana, nalazišta ugljena. Tako je ovom metodom omogućeno iskorištavanje teško dostupnog ugljena koji se nalazi na velikim dubinama do kojeg se vrlo teško dolazi konvencionalnim metodama rudarenja.



**Slika 9.** Podzemno rasplinjavanje ugljena [10]

Proces se sastoji od pripreme faze i faze rasplinjavanja. Pripremna faza podrazumijeva izradu bušotina za dovođenje sredstva za rasplinjavanje na dnu ugljena i odvođenje proizvedenog plina te spajanje donjih krajeva bušotina u ugljenom sloju. Bušotina za odvod plina oblaže se čeličnom

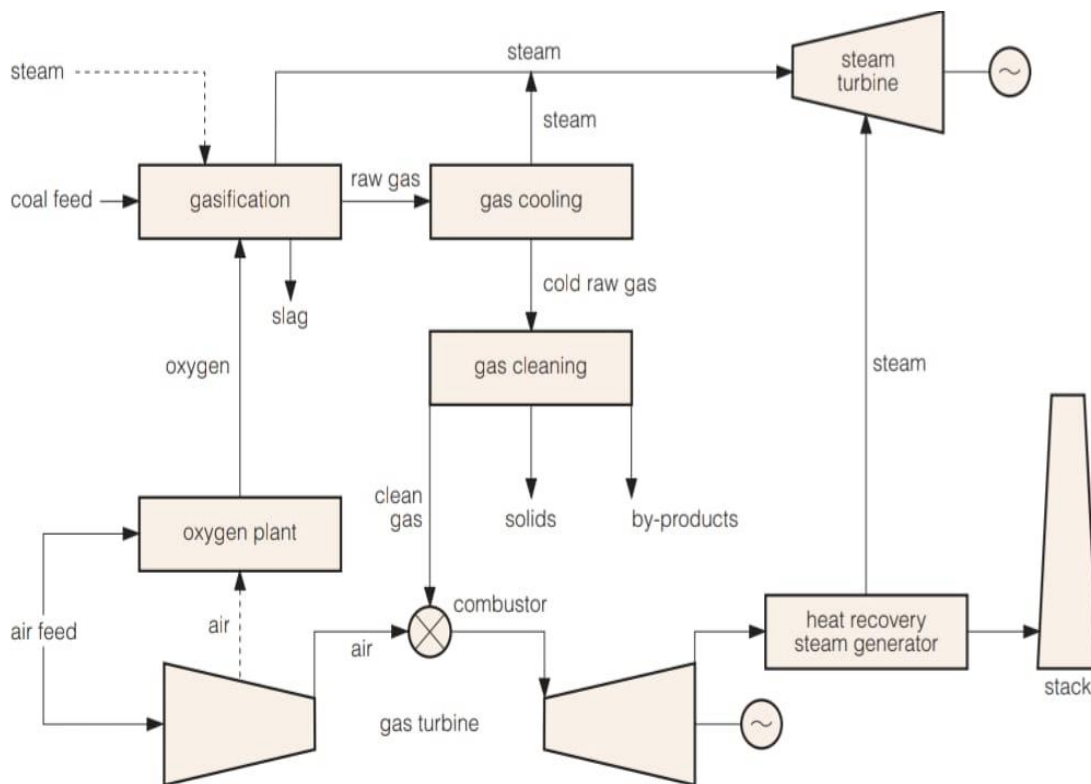
cijevi i posebnim cementom kako bi zaštitila bušotinu od podzemnih voda. U fazi rasplinjavanja dovodi se sredstvo za rasplinjavanje u ugljeni sloj gdje trebamo osigurati kontakt između sredstva za rasplinjavanje i bušotine za odvođenje plina na površinu. Sredstva za rasplinjavanje su vodena para i kisik koji se dovode pomoću alata za paljenje. Pretpostavlja se da se paralelno odvijaju reakcije dobivanja ugljikova dioksida i ugljikova monoksida jer pri temperaturama od 1300 °C je potrebno nekoliko sekundi da CO<sub>2</sub> prijeđe u CO (10). Zato sirovi plin sadrži velike udjele ugljikovog dioksida koji se ne uspije sav konvertirati u ugljikov monoksid. Ugljen prolazi tada termičku obradu, a nastali plinovi prolaze kroz bušotinu i prikupljaju se na površini. [1-9]

Ograničeno postojećim metodama i tehnikama rudarstva, tradicionalno rudarstvo ugljena ne može nadvladati oštećenja od vode, požara, miniranja, i transportnih nesreća. Bez promjena u načelima rudarstva bit će teško temeljito eliminirati takve nesreće. Pored toga, bit će vidljiv i značajan društveni boljitak bez ozljeda, trovanja na radu, gubitka sluha i drugih mogućih posljedica. Također, uplinjavanje podzemnog ugljena značajno smanjuje broj potrebnih ljudi. Operateri ne moraju biti u izravnom kontaktu s ugljenom, a proizvedeni plin odvodi se kroz cjevovode, čime se temeljno izbjegavaju ozlijede na radu. [9]



## H) Kombinirani procesi s integriranim rasplinjavanjem krutog goriva (IGCC)

Jedna od najatraktivnijih opcija za postizanje ekstremno niskih razina onečišćenja je kombinirani proces s integriranim rasplinjavanjem (engl. Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC). IGCC otvara vrata „prljavim“ gorivima kao što su ugljen, biomasa i otpad dokazanom konceptu kombiniranog ciklusa, uz uvjet njihovog rasplinjavanja, ne bi li se takva „prljava“ goriva neposredno koristila kao gorivo za plinske turbine. IGCC isporučuje električnu energiju iz širokog raspona sirovina dok uz to uspijeva zadovoljavati stroge ekološke standarde. Nedostatak IGCC postrojenja je činjenica da su znatno skuplja od konvencionalnih termoelektrana na ugljenu prašinu. [11]



**Slika 10.** Kombinirani process s integriranim rasplinjavanjem krutog goriva [12]

Proces započinje s ugljenom koji ulazi u rasplinjač najčešće pomiješan s vodom, stvarajući gustu smjesu poput kaše. Ova smjesa se uvodi u rasplinjač zajedno s kisikom, gdje se zagrijava na vrlo visoke temperature kako bi se proizveo sintezni plin. Vrući sintezni plin prolazi kroz nekoliko

izmjenjivača topline, prenoseći toplinu na visokotlačni parni sustav za integraciju visokotlačne vodene pare u parnoj turbini. Sintezni plin zatim prolazi kroz sustav za suho i/ili mokro otprašivanje s ciljem uklanjanja čestica (čade i pepela). Plin dalje prolazi do sustava za uklanjanje kiselih plinova, gdje se uklanja sumporovodik ( $H_2S$ ). Sintezni plin – sad gotovo isključivo vodik ( $H_2$ ) i ugljični monoksid ( $CO$ ), odlazi na vrlo učinkovitu i čistu plinsku turbinu koja čini prvi dio kombiniranog ciklusa te daje snagu za proizvodnju električne energije na električnom generatoru. Dušik separiran iz uređaja za destilaciju zraka koristi se u plinskoj turbini kao razrjeđivač u procesu izgaranja, ne bi li se smanjilo stvaranje dušikovih oksida ( $NO_x$ ), poznatih onečišćivala koje stvaraju smog. Uređaj za selektivnu katalitičku redukciju integriran je u generator za regenerativnu proizvodnju pare i dodatno uklanjanja dušikove okside ( $NO_x$ ) nastale u procesu izgaranja radi postizanja iznimno niskih emisija. Vrući ispušni plinovi plinske turbine predaju toplinu vodi u izmjenjivaču topline koji igra ulogu kotla parne turbine i stvaraju pregrijanu vodenu paru koja se miješa s parom s početka procesa te služi za pogon električnog generatora parne turbine, odnosno proizvodnju dodatne snage. Ispušni plinovi se oslobađaju iz dimnjaka i postižu razinu čistoće koju ne može dosegnuti tradicionalna termoelektrana na ugljen. Cijeli sustav može biti dizajniran i za izdvajanje te skladištenje ugljikovog dioksida. Ugljični dioksid ( $CO_2$ ), staklenički plin koji bi se inače emitirao u atmosferu, biva zarobljen prije izgaranja sinteznog plina i ubrizgava se duboko u zemlju – u geološke formacije, kako bi se trajno pohranio. Kako bi se uskladištio, ugljični dioksid ( $CO_2$ ) mora biti stlačen u tekućinu pod visokim tlakom i napumpati se u podzemna skladišta na više od kilometar dubine. Tijekom razdoblja od nekoliko stotina godina, ugljični dioksid ( $CO_2$ ) se otapa u vodi i tvori netopljive minerale. [13]

U ovim postrojenjima utjelovljene su različite tehnologije rasplinjavanja ugljena, uključujući različito dovođenje ugljena (suhi ili suspendirani), zidovi od vatrostalnog materijala (požarne cigle ili vodom hlađene cijevi), oksidansi (kisik ili zraka) i drugih čimbenika. Mnogi od tih projekata stari su nekoliko desetljeća, ali novi ciklusi i sustavi nastaju kako bi dodatno poboljšali učinkovitost procesa rasplinjavanja ugljena. Neki od novijih ciklusa su Gratzov, Water, CES (clear energy system), Matiant, E-Matiant, ORC (organic Rankine cycle) i Kalina ciklus. [12]

### 2.2.1. Biomasa - općenito

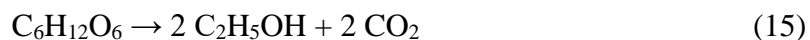
Biomasa je obnovljivi, biorazgradivi materijal, koji predstavlja zajednički pojam za brojne, najrazličitije proizvode koji potiču iz biljnog i životinjskog svijeta. U pogledu sastava i načina nastajanja biomasa kao energent može se podijeliti na drvenu, biomasu sekundarnih proizvoda iz poljoprivrede, životinjsku, industrijski i komunalni otpad. U drvenu biomasu spada drvo iz šumarstva, voćarstva i vinogradarstva, otpadno drvo i ostaci drveno prerađivačke industrije i drvena uzgajana biomasa. Neki od sekundarnih proizvoda poljoprivrede koji se klasificiraju kao biomasa su slama pšenice, soje, ječma, raži, kukuruzovina, stabljike suncokreta, ljuske suncokreta, koštice i drugi slični proizvodi. Životinjska biomasa primarno podrazumijeva produkte probavnog sustava životinja, koji je isto kao i komunalni i industrijski otpad pogodan za dobivanje plinovitog goriva. Navedene vrste biomase su slične po sastavu i tehničkim karakteristikama sa aspekta da se koriste kao biogoriva. Biomasa od drveta može biti u formi dugih i kraćih cjepanica, usitnjenih komada, piljevine, briketa ili peleta. U odnosu na te forme drveta za njihovo gorenje su razvijene tehnologije izgaranja. Biomasa nastala kao produkt (ostatak) primarne poljoprivredne proizvodnje najčešće se prikuplja u obliku manjih ili velikih četvrtastih bala ili većih rol bala. Biomasa kao gorivo ima niz prednosti, ali i nedostataka. Od dobrih osobina biomase kao goriva se može istaknuti da je biomasa lako dostupan, obnovljiv, tehnički i ekološki prihvatljiv izvor energije. Korištenjem biomase smanjuju se potrebe za uvozom konvencionalnih energenata, što smanjuje potrebu za uvozom. Nedostaci korištenja biomase su periodičnost nastanka biomase, neravnomjerna raspoređenost, otežano sakupljanje i skladištenje. Navedeni problemi mogu se izbjeći ili smanjiti ukoliko se biomasa sabija u obliku peleta i briketa, za što moramo uložiti dodatnu energiju. [14]

Biomasa nastala od biljaka proizvod je sunčeva zračenja, pa je energija sunčevog zračenja akumulirana u biomasu. Pod tim smatramo sve proizvode nastale fotosintezom koji se mogu energetske iskoristiti.

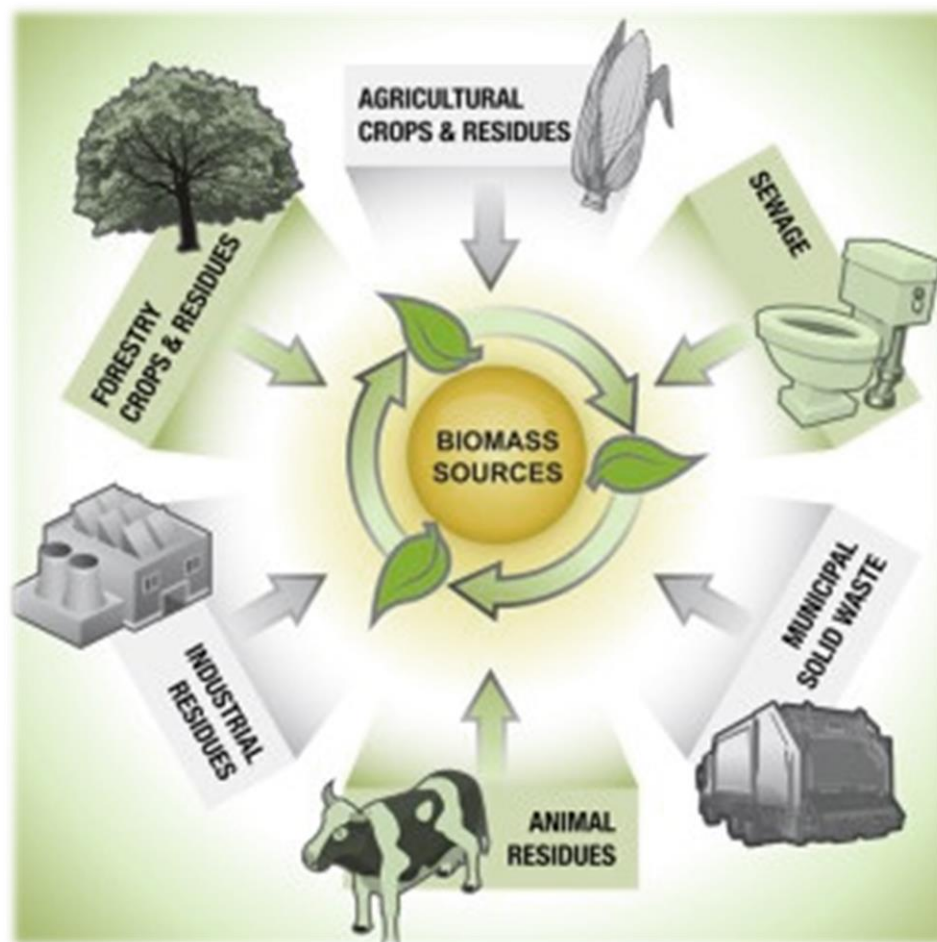


Procesom fotosinteze (14) se iz vode i ugljikova dioksida dobivaju organski spojevi uz oslobađanje kisika. Proces se odvija uz prisustvo sunčeva zračenja i zelenog klorofila koji djeluje kao katalizator. Jedna od najvažnijih kemijskih konverzija biomase je proizvodnja etanola.

Osnovni ugljikohidrat ( $C_6H_{12}O_6$ ) može se neposredno fermentacijom pretvoriti u etanol i ugljikov dioksid.



Viši šećeri, koji se nalaze zajedno s celulozom, ne mogu se tako jednostavno pretvoriti u etanol već ih je prethodno potrebno podvrgnuti enzimskoj hidrolizi da se dobije elementarni ugljikohidrat. Etanol se može upotrebljavati za proizvodnju pića, otapala i kemijskih proizvoda te kao gorivo. U prošlosti se etanol koristio za pogon benzinskih motora u razdobljima pomanjkanja benzina. U Brazilu se proizvode velike količine etanola od šećerne trstike. Taj etanol, osim za izvoz, upotrebljavaju kao pogonsko gorivo u smjesi sa bezninom ili za pogon koriste čisti etanol. Ne postoje zapreke u dodavanju etanola u benzin što potvrđuje niz zemalja, a na taj se način i benzinu povećava oktanski broj. [1]



**Slika 11.** Izvori biomase [18]

### 2.2.2. Tehnologije uplinjavanja drvene i biljne biomase

Uobičajeno proces rasplinjavanja drvene biomase započinje zagrijavanjem, sušenjem i pirolizom nakon čega dolazi do kemijske reakcije između nusproizvoda pirolize biomase i radnog medija i dobiva se željeni plin (generatorski plin). Toplinska energija nužna za zagrijavanje, sušenje i pirolizu biomase dobiva se iz egzotermnih reakcija pri izgaranju biomase. Svježe posječeno drvo sadrži 30-60% vlage, dok druge vrste biomase mogu imati udio vlage i do 90%. [16]

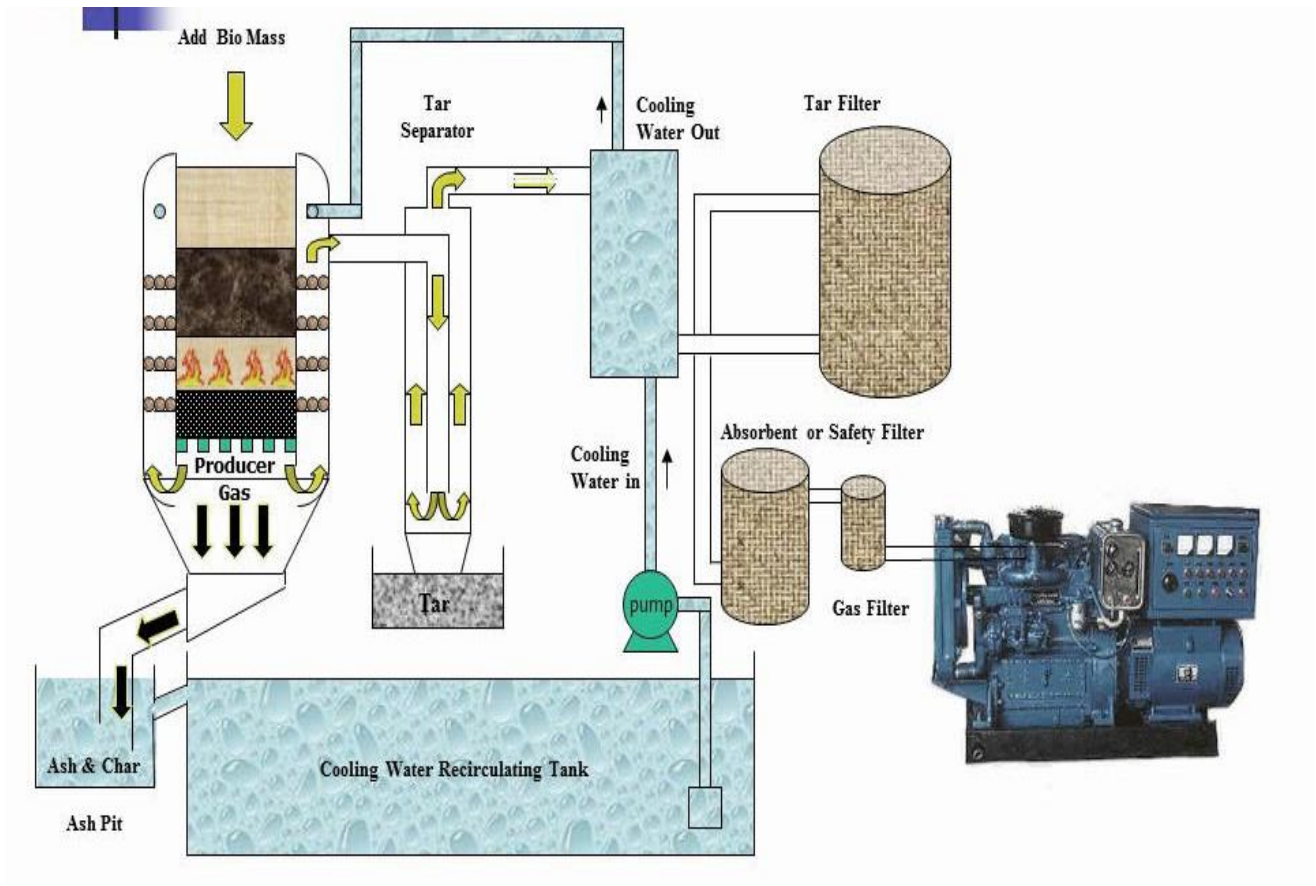
**Tablica 2.** Udio vlage u pojedinim vrstama drvene biomase

Biomasa	Kukuruzna stabljika	Pšenična slama	Rižina slama	Rižina ljuska	Stočni izmet	Kora drveta	Piljevina	Ostaci hrane	RDF peleti
Vlažnost [%]	40-60	8-20	50-80	7-10	88	30-60	25-55	70	25-35

Po svakom kilogramu vlage biomase dobivena energija je manja za minimalno 2260 kJ jer je to potrebna toplina za isparavanje vlage. Iz tog se razloga biomasa prethodno suši na suncu i na taj se način uklanja vlaga iz vanjskog sloja biomase (ostatak vlage u idealnom slučaju je 10-20%). Posljednja faza sušenja odvija se u reaktoru gdje povratna toplina dobivena izgaranjem biomase dodatno isušuje biomasu.

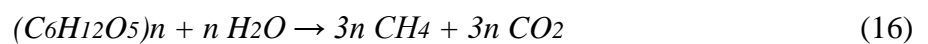
Pri temperaturama iznad 100 °C dolazi do nepovratnog izdvajanja vode iz biomase te se uz daljnje povećanje temperature voda iz biomase u potpunosti isparava (do 200 °C). Nadalje nastupa proces pirolize. Piroliza se provodi bez prisustva kisika pri temperaturi od 400 °C pri čemu se izdvajaju plinovi CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, i H<sub>2</sub>O. Tijekom spore pirolize dobivamo više ugljenizirane mase, dok tijekom brze dobivamo više ugljikovodika uz smanjenje udjela kiska. Nakon pirolize slijedi rasplinjavanje, a obuhvaća kemijske reakcije između ugljikovodika u primarnom energentu, pare, ugljikovog dioksida, kisika, i vodika u reaktoru, kao i kemijske reakcije između molekula nastalih plinova. Reakcije između ugljenizirane mase i plinova rasplinjavanja (kisik, vodena para ili njihova smjesa) odvijaju se pri temperaturama višim od 1000 °C. Sastav i ogrijevna moć dobivenog generatorskog plina ovise o primarnom energentu i

sredstvu rasplinjavanja. Kemijske reakcije koje se odvijaju su reakcije (1), (2), (10) i (13) i reakcija dobivanja metana iz pougljenjene biomase i vodika (16). [16]



**Slika 12.** Postrojenje za uplinjavanje drvene biomase [20]

Dobivanje bioplina iz biljne biomase analogno je dobivanju plina iz stajskog gnojiva procesom anaerobne fermentacije (Slika 14) u kojoj se ugljikohidrati uz prisustvo vlage i anaerobnih bakterija pretvaraju u metan i ugljikov dioksid prema reakciji (16). Fermentaciju možemo pospiješiti zagrijavanjem.

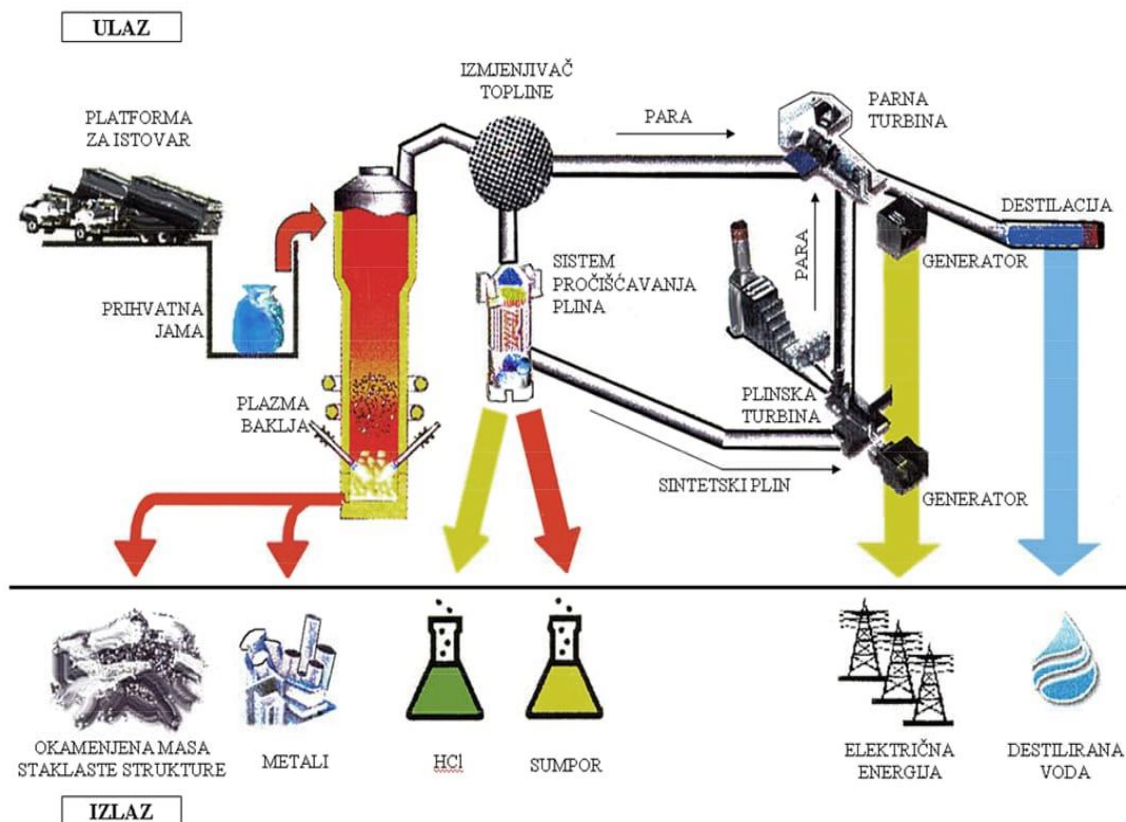




### 2.2.3. Tehnologije uplinjavanja industrijskog i komunalnog otpada

Otpadne tvari sadrže vrijedne resurse koji su jednom prije imali konkretnu upotrebnu vrijednost. Ti su proizvodi proživjeli svoj uporabni vijek, postali su konačno otpad, ali i dalje sadrže iste tvari i istu količinu energije, u nekoj jedinici, koju su imali i za njihova “aktivnog života”. Tvari i energija iz otpada mogu se međutim na racionalan način vratiti u korisne procese. Dakle, na otpadne tvari moramo gledati kao na važan izvor i aktivnu imovinu. [21]

Postoji više vrsta procesa obrade otpada, a neki od njih su thermoselect proces, Siemens TWR (Time Waveform Replication) proces i plazma proces. Thermoselect proces je izgrađen u Njemačkoj, ali je naišao na tehničke poteškoće i zatvoren. Siemens TWR proces je bio potpuno komercijalan u tvornici Fürth u Njemačkoj, ali Siemens je napustio tehnologiju nakon relativno manje nesreće koja je dovela do strašnih posljedica kada su radnici pretrpjeli trovanje ugljikovim monoksidom. Najatraktivniji proces obrade otpada danas je plazma proces. [22-23]



Slika 13. Postrojenje za rasplinjavanje otpada plazma procesom [21]

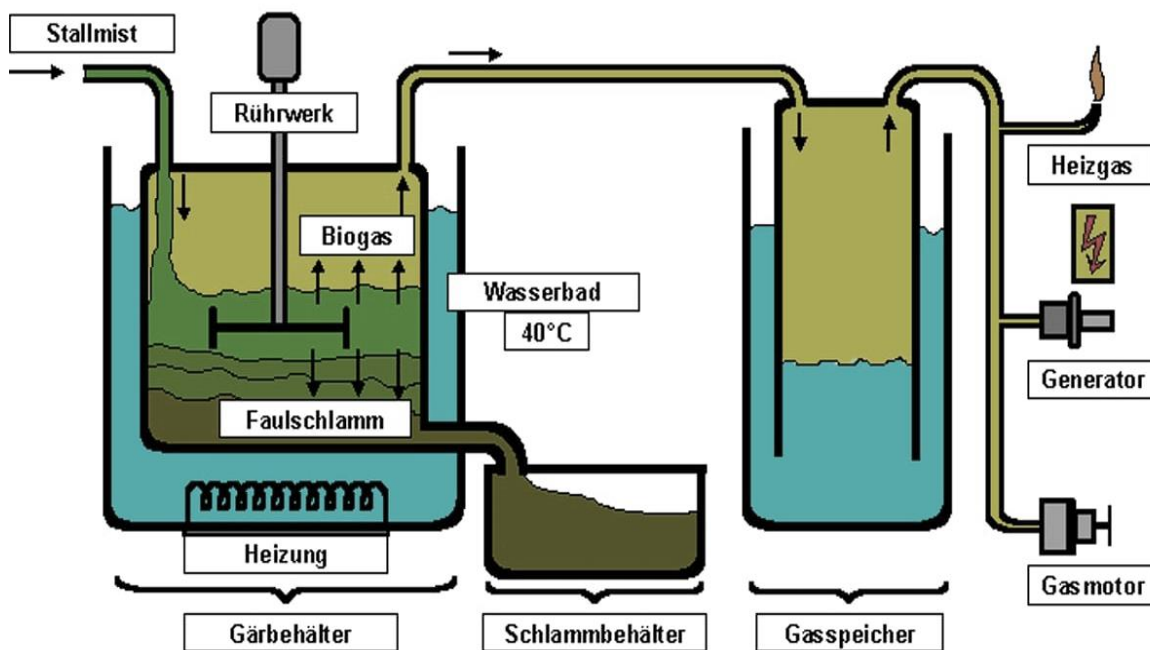
Proces rasplinjavanja otpada na osnovi plazme odvija se u reaktoru koji slični na vertikalno postavljenu valjak odgovarajućih dimenzija (visina, promjer) čiji donji dio završava kao krnji stožac. U tom su dijelu postavljene plazma-baklje. Broj ovisi o kapacitetu postrojenja. Plazma-baklja najčešće kao radni plin koristi inertni plin argon. Elektrode mogu biti od bakra, volframa ili posebnih legura. Jaka struja pod velikim naponom prolazi između dvije elektrode kreirajući električni luk. Inertni plin pod tlakom prolazi preko električnog luka i biva ioniziran stvarajući plazmu. Plazma zapravo predstavlja plin sa slobodnim elektronima koji su izašli iz valentne ljuske dovođenjem određenog iznosa energije. Temperatura koja se stvara može biti izrazito visoka i mjeri se tisućama stupnjeva Celzijevih. Za potrebe rada s komunalnim otpadom rabi se obično temperatura u rasponu 2700 do 4300 °C.

U reaktor se otpad dovodi odozgo. Sve što je u otpadu organskog podrijetla vrlo se brzo rasplinjava (pod utjecajem visoke temperature razlaže se na atome) i izlazi iz reaktora s gornje strane kao plin. Zbog visoke izlazne temperature taj se plin naglo hladi, pri čemu stvara velike količine vodene pare koja se neposredno usmjerava u parnu turbinu. Ta parna turbina, posredstvom generatora proizvodi električnu energiju koja količinom električne energije gotovo zadovoljava potrebe procesa. Nakon toga voda se kondenzira i izlazi iz procesa kao destilirana voda. Sve se one tvari iz otpada anorganskog karaktera, a i metali, pod utjecajem visokih temperatura rastapaju i teku iz reaktora kao lava. Naglo se hlade u kupki vode koja teče. Pri hlađenju metali se odvajaju. Sintetski se plin nakon hlađenja pročišćava. Kao sporedni proizvod pročišćavanja je klorovodik (HCl) i sumpor. Pročišćeni plin se upućuje u plinsku turbinu gdje se posredstvom generatora proizvodi električna energija. Iskustvo pokazuje da se od 1,0 t komunalnog otpada može dobiti električna energija u količini nešto većoj od 1,0 MW. Inače sintetski plin koji se stvara u procesu dominantno je sastavljen od vodika i ugljičnog monoksida. Ostatak je ugljični dioksid, metan, sumpor, klor i druge primjese u jako malim količinama. Plazma reaktori prihvaćaju sve vrste otpada, jedino je u pitanju količina energije koju je potrebno upotrijebiti da bi se otpad transformirao. Može se procesuirati sve osim nuklearnog otpada. [21]



#### 2.2.4. Tehnologije uplinjavanja životinjske biomase

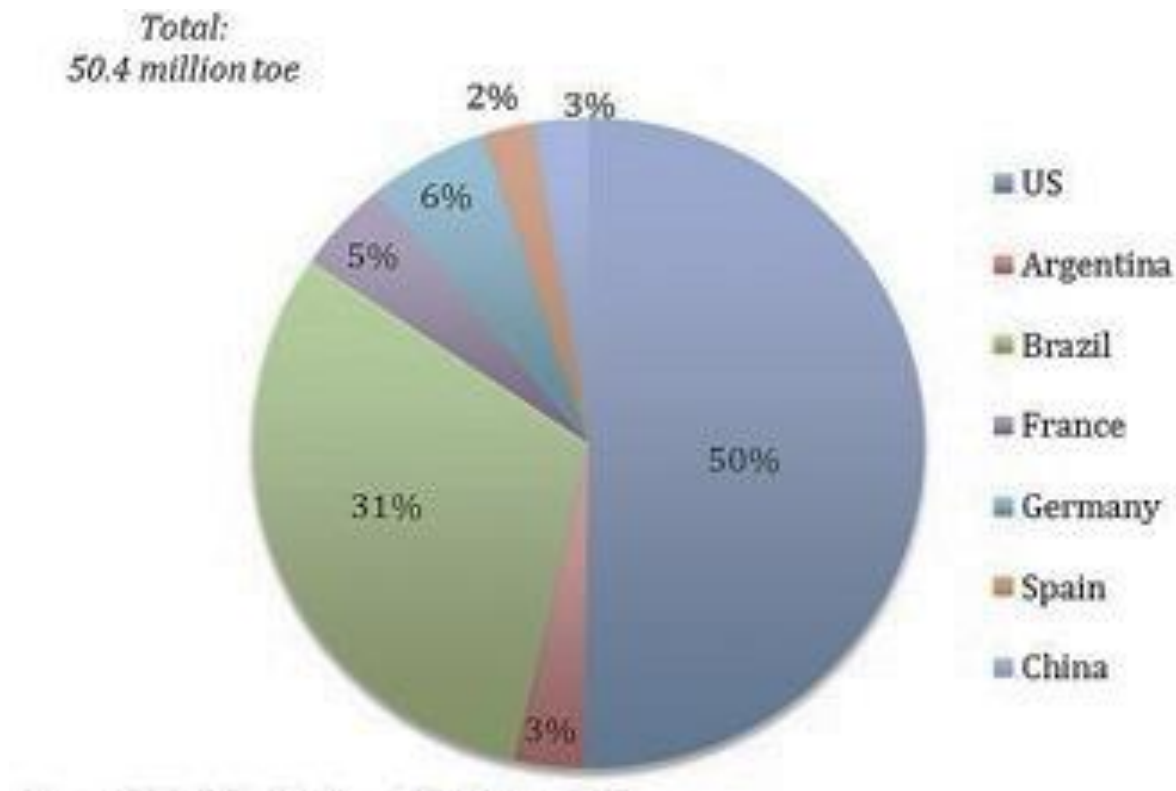
Stočarska je proizvodnja, s obzirom na koncentraciju velikog broja životinja na malom prostoru, potencijalni zagađivač okoliša. Velike koncentracije stajskog gnoja ugrožavaju tlo, atmosferu, nadzemne i podzemne vode. Stajski gnoj je smjesa gustih i tekućih izmeta domaćih životinja i stelje (prvi rastresiti sloj slame). Vrijednost stajskog gnoja ovisi o vrsti životinje, vrsti prehrane, starosti životinje, vrsti stelje, postupku skladištenja i načinu primjene na polju. Proizvodnjom bioplina iz goveđeg gnoja, govedarske farme mogu postati značajni proizvođači energije i smanjiti emisiju stakleničkih plinova sprječavajući odlazak metana u atmosferu. [15]



Slika 14. Uplinjavanje životinjske biomase procesom anaerobne fermentacije [19]

Organska masa ulazi u fermentator gdje stoji oko 30 dana grijana cijevima kroz koje struji voda na temperaturi od 35-55 °C da bi ubrzala proces formiranja metana. Supstrat nakon 30 dana u jednom fermentoru odvodi se na još 30 dana u drugi fermentor da bi se dovršio proces. Tekući otpad prikuplja se u za to predviđene spremnike. Formiranje bioplina je složen proces u kom se iz organske tvari ili ugljikohidrata proizvedu biološkim procesima, odnosno procesom anaerobne

razgradnje ili fermentacije na niskim temperaturama bez prisustva zraka. Pročišćeni bioplin možemo koristiti za dobivanje električne energije u kogeneracijskim postrojenjima, gdje rashladna voda za hlađenje motora služi kao voda za zagrijavanje fermentora i tako ne moramo dovoditi dodatnu toplinu u tu svrhu. Preostala dobivena toplina služi za proizvodnju pregrijane vodene pare koja se odvodi potrošačima. Bioplin zadrži 55-80 % metana (CH<sub>4</sub>), 20-40% ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), u tragovima sumporovodik (H<sub>2</sub>S) i ostale primjese. Nakon pročišćavanja bioplin možemo koristiti kao biogorivo za pokretanje motornih vozila ili kao zamjena za zemni plin (u tom slučaju mora biti pročišćen na 98% metana - biometan). [15]



**Slika 15.** Globalna proizvodnja biogoriva (2010. godina) [17]

### **3. ZAKLJUČAK**


Zbog ograničenih resursa konvencionalnih energenata i sve većeg globalnog zagađenja primorani smo sve više energenata dobivati iz obnovljivih izvora energije i tražiti načine da nekonvencionalnim metodama dođemo do teško dostupnih energenata. Nove tehnologije uplinjavanja krutog goriva omogućuju nam dobivanje plinovitog goriva iz teško dostupnih ležišta ugljena, skladištenje ugljikovog dioksida, dobivanja goriva iz otpadne biomase. Ekološki su prihvatljive i ekonomski isplative, te će zasigurno u budućnosti postati još važnji i zastupljeniji izvor energije.

#### 4. LITERATURA

1. Požar, H., Osnove Energetike 1, 1992. str. 3-10., 47-64., 271-310.
2. National Research Council. 1977. Coal as an Energy Resource Conflict and Consensus. Washington, DC The National Academies Press str. 229-231.
3. Gavalas, George R. (1982) Coal Pyrolysis. Coal Science and Technology. Vol.4. Elsevier , New York, NY. ISBN str. 3.
4. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=2930> (pristup 1. rujna 2018.)
5. <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0306261913004571-gr1.jpg> (pristup 5. rujna 2018.)
6. <http://file.scirp.org/Html/2-2380006/759dccc4-65b8-4d0b-a337-7b4be6efbddf.jpg> (pristup 5. rujna 2018.)
7. [https://images.slideplayer.com/19/5828941/slides/slide\\_12.jpg](https://images.slideplayer.com/19/5828941/slides/slide_12.jpg) (pristup 5. rujna 2018.)
8. <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/ge> (pristup 5. rujna 2018.)
9. Fei, M., Underground coal gasification (UCG): A new trend of supply-side economics of fossil fuels, 2017. str. 316.
10. [https://www.researchgate.net/profile/Christopher\\_Otto/publication/321601223/figure/fig2/AS:568735527378944@1512608524131/Schematic-view-of-the-in-situ-underground-coal-gasification-principle-based-on-the-CRIP.png](https://www.researchgate.net/profile/Christopher_Otto/publication/321601223/figure/fig2/AS:568735527378944@1512608524131/Schematic-view-of-the-in-situ-underground-coal-gasification-principle-based-on-the-CRIP.png) (pristup 5. rujna 2018.)
11. Kehlhofer, R., Rukes, B., Hannemann, F., Stirnimann, F., Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants, PennWell Corporation, Oklahoma, 2009., str. 289
12. Barnes, I., Next generation coal gasification technology, Canada, 2011, str. 6.
13. <http://www.gewater.com/> (pristup 6. rujna 2018.)
14. Janić T, i dr., Biomasa – energetska resurs za budućnost. Savremena poljoprivredna tehnika 2010, 36(2): 167-177.

15. Brdarić D., Kralik D., Kukić S., Spajić R., Tunjić G., Conversion of organic manure in bioplin, 2009.
16. Šljivac D., Stojkov M., Markanović K., Topić D., Janković Z., Hnatko E., Energetska učinkovitost rasplinjavanja drvene biomase u proizvodnji električne energije, 2012., str. 262-264.
17. <http://www.chinawaterrisk.org/wp-content/uploads/2012/04/Global-Biofuel-Production-2010.jpg> (pristup 6. rujna 2018.)
18. <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-resources/> (pristup 8. rujna 2018.)
19. Sutlović I., Energetika, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zavod za termodinamiku, strojarstvo i energetiku
20. <https://i.ytimg.com/vi/1UuQS9oKxO8/maxresdefault.jpg> (pristup 9. rujna 2018.)
21. Miličić J., Vego G., Tehnologija rasplinjavanja na osnovi plazme pri rješavanju problema otpada, str. 607-615.
22. Ducharne C., Technical and economic analysis of thermal plasma–assisted Waste-to-Energy, 2010., str. 21.
23. Ricketts B., Technology Status Review of Waste/Biomass Co-Gasification with Coal, 2002., str. 9.

## 5. ŽIVOTOPIS

 Završio sam osnovnu školu Ljube Babića u Jastrebarskom te potom nastavio školovanje u općoj gimnaziji srednje škole Jastrebarsko. Srednju školu završio sam 2015. godine. Iste godine upisao sam sveučilišni preddiplomski studij Kemijskog inženjerstva na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije. Završni rad izradio sam na Zavodu za anorgansku kemiju i nemetale, pod mentorstvom doc. dr. sc. Juraja Šipušića.