

# Svrha proizvodnje i korištenja drvenog ugljena

---

**Gujić, Ante**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:621749>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

## **ZAVRŠNI RAD**

Ante Gujić

Zagreb, 2015.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu               |        |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum: 26-02-2015                   | Prilog |
| Klasa: 602-04/15-6/3                |        |
| Ur.broj: 15-1703-15-100             |        |

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ante Gujić**

Mat. br.: 0035188907

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Svrha proizvodnje i korištenja drvenog ugljena**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The purpose of the production and use of charcoal**

Opis zadatka:

Ugljen je jedan od najzastupljenijih energenata u svijetu. Uz njegovo korištenje vezani su i određeni problemi, prvenstveno u svezi sa zaštitom okoliša, koji se rješavaju na različite načine.

Drveni ugljen je kruti ostatak pirolize (karbonizacije) drveta pod kontroliranim uvjetima u zatvorenom prostoru. Proizvodi se najčešće od drveta, međutim, moguća je proizvodnja iz gotovo svih biljnih i nekih životinjskih materijala. U ovom radu je potrebno:

- objasniti sličnosti i razlike drvenog ugljena od „klasičnog“ tj. prirodnog ugljena,
- prikazati osnovne načine i mogućnosti proizvodnje drvenog ugljena,
- prikazati i analizirati moguće sirovine za drveni ugljen,
- objasniti mogućnosti korištenja drvenog ugljena (ogrjev, dobivanje energije, pogonsko gorivo, izvor sirovina...),
- detaljno prikazati materijalne i energetske bilance tijekom pretvorbe biomase u drveni ugljen, kao i tijekom njegovog korištenja,
- detaljno prikazati utjecaje na okoliš vezane uz proizvodnju, korištenje i odlaganje ostataka drvenog ugljena.

U završnom dijelu rada potrebno je i dati prikaz načina proizvodnje, količina i utjecaja na okoliš drvenog ugljena na razini nekih relevantnih svjetskih područja/ili država te na razini Republike Hrvatske.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
25. studenog 2014.

Rok predaje rada:  
1. rok: 26. veljače 2015.  
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.  
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Davor Ljubas

Prof. dr. sc. Igor Balen

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

## **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:

Izv. prof. dr. sc. Davor Ljubas

Ante Gujić

Zagreb, 2015.

## ***Sažetak***

Drveni ugljen je kruti ostatak pirolize (karbonizacije) drveta pod kontroliranim uvjetima u zatvorenom prostoru. Postoje različiti načini proizvodnje drvenog ugljena koji se proizvodi najčešće od drveta, međutim, moguća je proizvodnja iz gotovo svih biljnih i nekih životinjskih materijala.

Tema ovog završnog rada je „Svrha proizvodnje i korištenja drvenog ugljena“. Rad se bavi prikazom osnovnih načina proizvodnje i korištenja drvenog ugljena, uz objašnjavanje određenih problema koji se pritom javljaju i koji se prvenstveno odnose na zaštitu okoliša.

## Sadržaj

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Popis slika .....                                                                                                                         | III |
| Popis tablica .....                                                                                                                       | III |
| Popis oznaka i mjernih jedinica fizikalnih veličina.....                                                                                  | IV  |
| 1. Uvod .....                                                                                                                             | 1   |
| 2. Sličnosti i razlike između drvenog ugljena i fosilnog ugljena.....                                                                     | 2   |
| 3. Načini i mogućnosti proizvodnje drvenog ugljena.....                                                                                   | 3   |
| 3.1. Proizvodnja drvenog ugljena u pećima .....                                                                                           | 3   |
| 3.1.1. Tradicionalne peći .....                                                                                                           | 3   |
| 3.1.2. Razvijenije peći .....                                                                                                             | 4   |
| 3.1.3. Peć s više ognjišta.....                                                                                                           | 5   |
| 3.2. Proizvodnja drvenog ugljena u retortama.....                                                                                         | 6   |
| 3.2.1. Degussa retorta .....                                                                                                              | 7   |
| 3.3. Briketiranje .....                                                                                                                   | 7   |
| 3.4. Čist i efikasan sustav za proizvodnju drvenog ugljena i energije.....                                                                | 8   |
| 4. Sirovine .....                                                                                                                         | 10  |
| 4.1. Analiza nekih sirovina.....                                                                                                          | 10  |
| 5. Mogućnosti korištenja drvenog ugljena .....                                                                                            | 14  |
| 5.1. Primjena.....                                                                                                                        | 15  |
| 6. Produkti i toplinske pojave tijekom pretvorbe biomase u drveni ugljen i tijekom njegovog korištenja .....                              | 16  |
| 6.1. Proizvodnja drvenog ugljena.....                                                                                                     | 16  |
| 6.2. Korištenje (izgaranje) drvenog ugljena .....                                                                                         | 17  |
| 7. Utjecaj na okoliš.....                                                                                                                 | 18  |
| 8. Načini proizvodnje, količine i utjecaji na okoliš drvenog ugljena na razini nekih svjetskih područja/država i na razini Hrvatske ..... | 22  |
| 8.1. Brazil .....                                                                                                                         | 22  |
| 8.2. Tropski krajevi .....                                                                                                                | 22  |
| 8.3. Republika Hrvatska .....                                                                                                             | 23  |
| 9. Zaključak .....                                                                                                                        | 26  |
| Literatura .....                                                                                                                          | 27  |

## Popis slika

|                                                                     |   |
|---------------------------------------------------------------------|---|
| Slika 1: Proizvodnja drvenog ugljena na tradicionalni način 6 ..... | 4 |
| Slika 3: Casamance peć 7 .....                                      | 5 |
| Slika 4: Peć s više ognjišta 3 .....                                | 6 |
| Slika 5: Degussa retorta.....                                       | 7 |
| Slika 6: Shema briketiranja drvenog ugljena 9 .....                 | 8 |
| Slika 7: CHaP sustav 10 .....                                       | 9 |
| Slika 8: Shema sustava ejektor-karbonizer 10 .....                  | 9 |

## Popis tablica

|                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1: Efikasnosti različitih tipova peći .....                                                                                                                                      | 3  |
| Tablica 2: Neposredna analiza biomase .....                                                                                                                                              | 11 |
| Tablica 3: Osnovna analiza biomase .....                                                                                                                                                 | 11 |
| Tablica 4: Biokemijska svojstva biomase .....                                                                                                                                            | 12 |
| Tablica 5: Ogrjevnost vrijednosti .....                                                                                                                                                  | 12 |
| Tablica 6: Relativne cijene nekih goriva za kuhanje .....                                                                                                                                | 14 |
| Tablica 7: Eksperimentalno dobiveni prinosi drvenog ugljena za različite vrste drveta .....                                                                                              | 16 |
| Tablica 8: Usporedba atmosferskih emisija za različite tipove proizvodnje drvenog ugljena .....                                                                                          | 19 |
| Tablica 9: Usporedba prosječne koncentracije zagađivača zraka u zatvorenim prostorima prilikom uporabe drvenog ugljena i drvenog ogrjeva sa smjernicama SZO-a i standardom USEPA-e ..... | 20 |
| Tablica 10: Dopuštene koncentracije ugljikovog monoksida i prašine sukladno NIOSH-u i hrvatskim standardima zaštite na radu .....                                                        | 21 |

## Popis oznaka i mjernih jedinica fizikalnih veličina

| <u>Oznaka</u>            | <u>Mjerna jedinica</u> | <u>Naziv</u>                                                           |
|--------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| $h_{DP}(\vartheta_{DP})$ | J/kg                   | - specifična entalpija dimnih plinova pri temperaturi $\vartheta_{DP}$ |
| $h_G(\vartheta_G)$       | J/kg                   | - specifična entalpija goriva pri temperaturi $\vartheta_G$            |
| $h_Z(\vartheta_Z)$       | J/kg                   | - specifična entalpija zraka pri temperaturi $\vartheta_Z$             |
| $q_{mDP}$                | kg/s                   | - maseni protok dimnih plinova                                         |
| $q_{mG}$                 | kg/s                   | - maseni protok goriva                                                 |
| $q_{mZ}$                 | kg/s                   | - maseni protok zraka                                                  |
| $-\phi_{12}$             | W                      | - odvedeni toplinski tok                                               |



Ovime potvrđujem da sam osobno napisao rad „Svrha proizvodnje i korištenja drvenog ugljena“ i da sam njegov autor. Svi dijelovi rada, nalazi ili ideje koje su u radu citirane ili se temelje na drugim izvorima u radu su jasno označeni kao takvi te adekvatno navedeni u popisu literature.

*Zahvaljujem mentoru, profesoru dr. sc. Davoru Ljubasu na ideji i smjernicama tijekom realizacije rada.*

## 1. Uvod

Korištenje drvenog ugljena poznato je gotovo tijekom čitave povijesti čovječanstva, a prvi tragovi potječu od prije 30 000 godina. Njegova proizvodnja datira još iz Brončanog doba i bila je ključna za razvoj metalurgije, sve do prijelaza na fosilni ugljen početkom 18. stoljeća. Potražnja za drvenim ugljenom i danas je velika i u stalnom je porastu. Prema FAO (Food and Agriculture Organisation of United States), ukupna potrošnja drvenog ugljena procjenjuje se na 40,5 milijuna tona godišnje od čega samo 19,8 milijuna tona u Africi [1].

Cilj ovog rada je objasniti osnovne načine i mogućnosti proizvodnje i korištenja drvenog ugljena, uz analizu mogućih sirovina koje se koriste u njegovoj proizvodnji. Osim toga, bit će detaljno prikazani utjecaji na okoliš koji su vezani uz proizvodnju, korištenje i odlaganje ostataka drvenog ugljena.

Rad će biti započet s objašnjavanjem sličnosti i razlika između drvenog ugljena i „klasičnog“ ili fosilnog, odnosno prirodnog ugljena. Zatim će biti detaljno analizirana proizvodnja drvenog ugljena i sirovine koje se koriste pri njegovoj proizvodnji. Nakon toga će biti objašnjeni problemi koji su vezani uz zaštitu okoliša, a u završnom dijelu rada će biti prikazani načini proizvodnje, količine i utjecaji na okoliš drvenog ugljena na razini nekih relevantnih svjetskih područja/ili država te na razini Republike Hrvatske.

## 2. Sličnosti i razlike između drvenog ugljena i fosilnog ugljena

Glavna razlika između drvenog ugljena i fosilnog ugljena je ta što se drveni ugljen dobiva umjetnim putem, a fosilni nastaje prirodnim putem. Prema ligninskoj teoriji, fosilni ugljen je nastao metamorfozom biljne tvari uz vrijeme postanka pojedinih ugljena od oko 30 do oko 300 milijuna godina. Iz drveta je pod djelovanjem bakterija bez prisustva kisika nastao treset, a zatim nakon dugog perioda pod visokim tlakom i temperaturom (uz izdvajanje vode, ugljikovodika i ugljičnog monoksida) ugljen. Postoji više vrsta prirodnog ugljena koji se mogu podijeliti po vremenu nastanka zbog čega razlikujemo treset (30 milijuna godina), lignit (30-60 milijuna godina), smeđi ugljen (30-60 milijuna godina), mlađi kamenin ugljen (150 milijuna godina), stariji kamenin ugljen (175-220 milijuna godina), antracit (250-300 milijuna godina) i grafit (350 milijuna godina) [2]. Za razliku od fosilnog ugljena, drveni ugljen nastaje umjetno što uključuje termičku razgradnju drveta pod kontroliranim uvjetima i može se odvijati u otvorenim jamama, pećima ili retortama. Drveni ugljen se najčešće proizvodi od drveta, a kvaliteta drvenog ugljena ovisi o vrsti korištenog drveta. Tako je npr. drveni ugljen proizveden od tvrdog drveta (posebno bukve) gust i čvrst, a drveni ugljen proizveden od mekog drveta mekan i porozan [3].

Osim prema vrsti nastanka, drveni i fosilni ugljen se međusobno razlikuju i po nekim svojstvima. Tako ogrjevna vrijednost fosilnog ugljena ovisno o vrsti iznosi između 15 i 27 MJ/kg, dok je ogrjevna vrijednost drvenog ugljena između 29 i 33 MJ/kg [3].

Drveni i fosilni ugljen međusobno se razlikuju i po njihovom utjecaju na okoliš. Pošto se drveni ugljen proizvodi od biomase, emisija čistoga  $\text{CO}_2$  pri njegovom izgaranju vrlo je niska ako se uzme u obzir da je  $\text{CO}_2$  iz atmosfere iskorišten za rast i razvoj same biomase. Ipak, ovaj navod vrijedi samo ukoliko se drveni ugljen proizvodi na održivi način. Utjecaji proizvodnje i uporabe drvenoga ugljena po okoliš povezani su sa sječom i odnošenjem drveta iz šuma, proizvodnjom i uporabom drvenoga ugljena. Postoji velika razlika između utjecaja na okoliš povezanih sa sječom i odnošenjem drveta iz prirodnih šuma i raslinja kojima se ne gospodari i u kojima se vrši nekontrolirana sječa, i iz održivo gospodarenih šuma i/ili ostataka drveno-prerađivačke industrije. Sječa stabala u šumama kojima se ne gospodari, odnosno neodržive prakse sječe stabala ili nekontrolirana sječa mogu uzrokovati višestruke negativne učinke koji mogu dovesti do propadanja šuma i tla, deforestacije i erozije tla i/ili dezertifikacije. Takve prakse uzrokuju povećanje emisija  $\text{CO}_2$  pridonoseći globalnome zagrijavanju [4].

Sličnost koja povezuje drveni i fosilni ugljen je ta što se koriste kao gorivo u krutom agregatnom stanju. Međutim, kao gorivo se ne primjenjuju za potpuno iste svrhe. I drveni i fosilni ugljen se koriste u proizvodnji kemikalija, drveni ugljen primjerice u proizvodnji ugljikovog disulfida i alkalij-metalnog cijanida, a fosilni ugljen u proizvodnji plinova procesima rasplinjavanja i isplinjavanja i proizvodnji kapljevutih goriva. Osim toga, fosilni ugljen se najčešće koristi kao gorivo u termoenergetskim postrojenjima, dok se drveni ugljen najčešće primjenjuje u kućnom i vanjskom rekreacijskom kuhanju [3].

Iako bi se možda u početku dalo naslutiti da između drvenog i fosilnog ugljena ne postoje neke velike razlike, iz navedenog možemo vidjeti da vrijedi upravo suprotno. Osim toga, možemo vidjeti kako drveni ugljen ima i određene prednosti u odnosu na prirodni ugljen, ponajviše kad su u pitanju neka njihova svojstva (ogrjevna vrijednost) i utjecaj na okoliš.

### 3. Načini i mogućnosti proizvodnje drvenog ugljena

Drveni se ugljen proizvodi pirolizom (karbonizacijom ili destruktivnom destilacijom) ugljičnih materijala, koje uglavnom čini srednje do jako tvrdo drvo. Postoje različite metode i tehnologije koje se primjenjuju u proizvodnji. U mnogim se zemljama u razvoju još uvijek koriste tradicionalne metode proizvodnje ugljena u zemljanim ugljenicama i zemljanim pećima, a u maloserijskoj se proizvodnji koriste i moderni tipovi zemljanih peći s dimnjacima i čelične ili zidane peći. U masovnoj, industrijskoj proizvodnji koriste se zidane ili metalne peći za diskontinuiranu proizvodnju i višestruke retorte za kontinuiranu proizvodnju. Ova vrsta tehnologije prevladava u Europi, te u Sjevernoj i Južnoj Americi. Odnosne se tehnologije međusobno razlikuju po proizvodnoj učinkovitosti, što ima za posljedicu različitu energetska iskorištenost, kvalitetu proizvoda i emisije u okoliš [4].

#### 3.1. Proizvodnja drvenog ugljena u pećima

Postoji više vrsta peći koje se koriste za proizvodnju drvenog ugljena, od onih tradicionalnih koje se koriste u ruralnim područjima, do onih modernih s većom efikasnošću. Kao najčešći tipovi tradicionalnih peći koriste se jame ili peći načinjene od nasipa zemlje, čija je efikasnost u rasponu od 8 do 12%. Budući da parametri poput vlažnosti drveta koje se koristi, veličine peći i kontrole procesa igraju značajnu ulogu, relativna dobit poboljšanom tehnologijom se kreće između 5 i 50%. Sljedeća tablica prikazuje efikasnosti pojedinih vrsta peći [5].

Tablica 1: Efikasnosti različitih tipova peći

|                                             | <b>Proizvodnja 1 kg drvenog ugljena iz</b> | <b>Efikasnost</b> |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------|
| <b>Tradicionalne peći</b>                   | 8-12 kg drveta                             | 8-12%             |
| <b>Poboljšane tradicionalne peći</b>        | 6-8 kg drveta                              | 12-17%            |
| <b>Tehnologije industrijske proizvodnje</b> | 5-7 kg drveta                              | 14-20%            |
| <b>Novi sustavi s niskom emisijom</b>       | 3-4 kg drveta                              | 25-33%            |

##### 3.1.1. Tradicionalne peći

Tradicionalna proizvodnja u jamama ili pećima odvija se uz više ili manje kontrolirani dovod zraka, pri čemu se toplina razvija izgaranjem dijela drveta. Takva proizvodnja koja se u pravilu odvija u ruralnim područjima vrlo je neučinkovita, a učinkovitost pretvorbe uobičajeno iznosi 10 do 15%, odnosno za 1 kg drvenog ugljena je potrebno 7 do 10 kg drveta [2].

Pod tradicionalne peći ubrajamo zemljane jame i peći načinjene od nasipa zemlje [5].

#### a) Zemljane jame

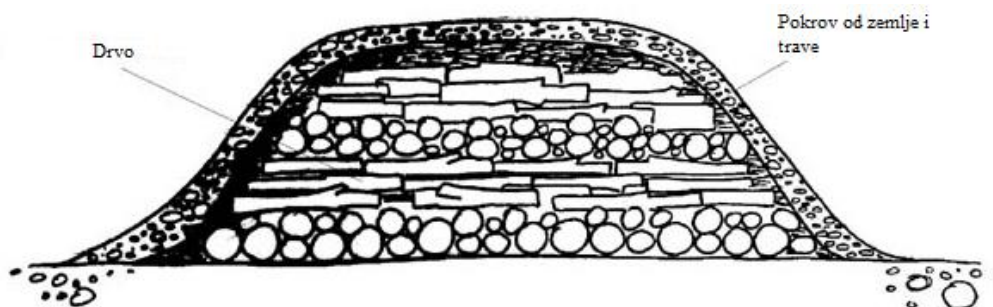
Zemljane jame koje se koriste u proizvodnji drvenog ugljena predstavljaju najjednostavniju tehnologiju proizvodnje drvenog ugljena. Ukratko, proces počinje saganjem drveta u jami, zatvaranjem jame slojem trave i tla, te karbonizacijom paljenjem drveta.

Prije početka ovakve proizvodnje, potrebno je iskopati jamu što uzrokuje određen napor. Ventilaciju je teško kontrolirati, a karbonizacija često nije potpuna zbog čega se dobiva drveni ugljen niske kvalitete. Kako bi se poboljšala efikasnost, ovakve peći se mogu opremiti dimnjakom koji omogućuje korištenje drugih vrsta biomase osim drva, kao što su npr. ljuske kokosovih oraha.

#### b) Peći načinjene od nasipa zemlje

Ovakve peći mogu biti načinjene od lokalno dostupnog materijala. Ukratko, drvo se prikuplja i slaže u peći poligonalnog oblika. Drvo se zatim prekriva slojem trave, a konstrukcija se zatvara zemljom. Mali otvor omogućuje kontrolu i praćenje procesa. Kada se peć zapali, potrebno je kontinuirano pratiti proces koji traje 3-15 dana, ovisno o veličini peći. Nakon što se peć ohladi, drveni ugljen se može pokupiti. Glavna prednost ovakve peći je jednostavna izrada bez investicijskih troškova.

Nedostaci su trajnost procesa i potreba za kontinuiranim praćenjem. Osim toga, kvaliteta dobivenog drvenog ugljena je vrlo niska, a efikasnost je 8-15%. Stoga je proizvodnja drvenog ugljena u tradicionalnim pećima povezana s visokom potrošnjom drveta. Ipak, ovakav način proizvodnje drvenog ugljena je nešto efikasniji u odnosu na proizvodnju u jamama.



Slika 1: Proizvodnja drvenog ugljena na tradicionalni način [6]

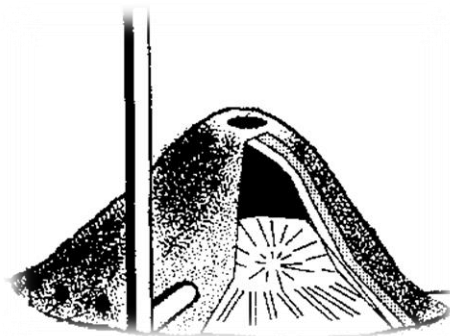
#### 3.1.2. Razvijenije peći

Pod razvijenije peći ubrajamo Casamance peći, ciglene peći i čelične peći [5].

##### a) Casamance peći

Casamance peći su razvijene u Senegalu u pokrajini Casamance. Radi se o pećima koje su načinjene od nasipa zemlje s dimnjakom. Taj dimnjak omogućuje bolju kontrolu protoka zraka. Nadalje, vrući plinovi ne izlaze posve iz peći nego se djelomično preusmjeravaju u peć čime se poboljšava piroliza. Zbog toga je karbonizacija brža nego li u tradicionalnim pećima, a dobiva se kvalitetniji ugljen i postiže efikasnost do 30%.

Nedostatak ovakvih peći su investicijski troškovi za dimnjak i nešto zahtjevnija konstrukcija u odnosu na tradicionalne peći.



Slika 2. Casamance peć [7]

#### b) Ciglene peći

Ciglene peći postižu efikasnost do 30%, a pogodne su za polu-industrijsku proizvodnju drvenog ugljena. Najistaknutiji tip je argentinska peć koja je u cijelosti izrađena od opeke i blata (žbuke). Utovar i istovar radne tvari se obavlja kroz dva nasuprotna ulaza koja se za vrijeme karbonizacije zatvaraju. Ciklus karbonizacije je brži zbog čega se drveni ugljen može ubirati nakon 13-14 dana. Korištenjem peći promjera od oko 6 metara, mjesečno se može proizvesti do 15 tona vrlo kvalitetnog drvenog ugljena. Međutim, drvo mora biti usitnjeno do određene preciznosti, a potrebno je i dobavljati vodu koja se koristi za pripremu žbuke. Ovakve peći također mogu biti proizvedene korištenjem betona umjesto opeke.

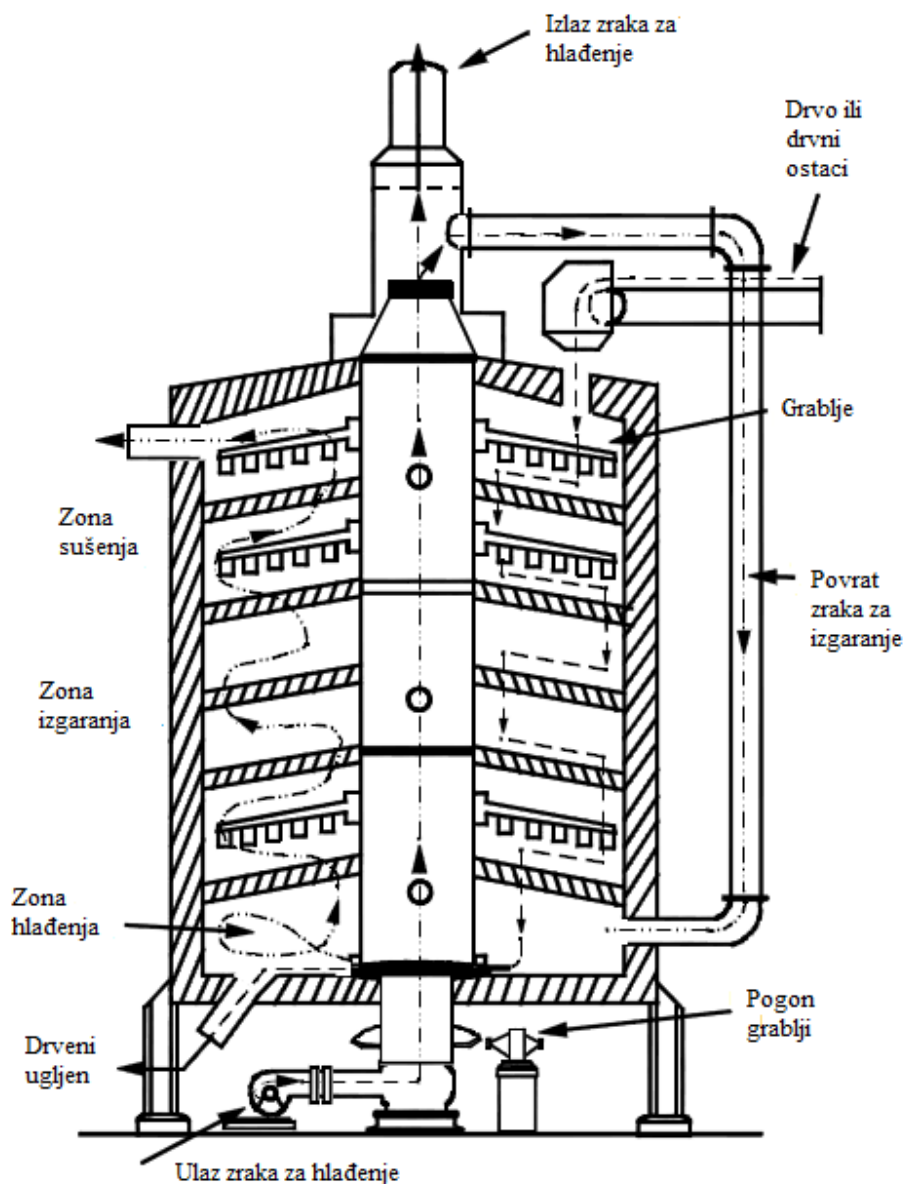
#### c) Čelične peći

Razvijeno je mnogo različitih vrsta čeličnih peći koje se smatraju temeljem moderne proizvodnje drvenog ugljena. Ovakve peći mogu karbonizirati čak i drvo loše kvalitete, a i lako se mogu transportirati. Međutim, kako godišnja proizvodnja drvenog ugljena u čeličnim pećima iznosi oko 100-150 tona godišnje, nisu prikladne za proizvodnju velikih količina. Nadalje, investicijski troškovi mogu biti visoki što ograničava njihovu upotrebu. Ipak, čelične peći imaju visoku efikasnost (27-35%), a karbonizacija je vrlo kratka (16-24 sata nakon paljenja).

#### 3.1.3. Peć s više ognjišta

Za karbonizaciju drveta ili piljevine i ostalih drvnih ostataka, razvijena je peć s više ognjišta. Takva peć sadrži 4-12 ognjišta, s kapacitetima 700-2800 tona mjesečno [3].

Sirovi materijal se transportira do najgornjeg ognjišta. Grablje zrakom hlađenog (šupljeg) vratila spiralno pomiču sirovi materijal kroz svako ognjište. Ognjišta naizmjenično sadrže otvore za spuštanje materijala, ili kraj vratila ili kraj vanjske stijenke. Sirovi materijal pada kroz te otvore iz ognjišta u ognjište. Na kraju, proizvedeni drveni ugljen se transportira i istovremeno hladi raspršivanjem vode, slika 3.



Slika 3: Peć s više ognjišta [3]

### 3.2. Proizvodnja drvenog ugljena u retortama

Za razliku od proizvodnje u jamama ili pećima, u retortama se drveni ugljen proizvodi bez prisutnosti zraka, pri čemu se toplina mora dovesti iz drugog izvora, ali je učinkovitost pretvorbe znatno viša i može iznositi i do 30%, uz znatno smanjenje ukupne emisije štetnih tvari [1].

Drvo se stavlja u čelični cilindar velikog volumena, odnosno u retortu. Retorta je čvrsto zatvorena ali omogućuje izlaz nastalih plinova. Retorta se zagrijava izvana i kada se zagrije na određenu temperaturu, dolazi do procesa karbonizacije pri čemu dolazi do oslobađanja topline. Tada postupak počinje koristiti vlastitu energiju ali je nešto topline potrebno dovesti izvana [8].

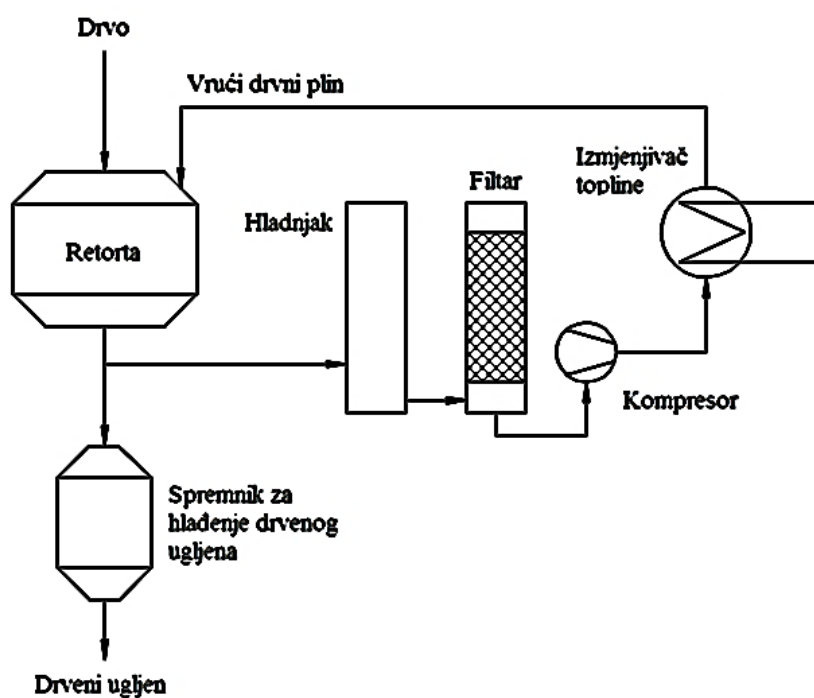
### 3.2.1. Degussa retorta

Degussa retorta [3] je retorta izvedena s direktnim zagrijavanjem pomoću vrućeg drvnog plina i u tom slučaju je potrebno utrošiti manje topline. Ako je sadržaj vlage manji od 20%, nije potrebno ni dodatno gorivo. Stupanj karbonizacije određuje količina i temperatura drvnih plinova, što znači da se sadržaj ugljika u drvenom ugljenu može postići unutar 1% točnosti u rasponu od 78-90%.

Retortu puni remeni transporter. Cirkulirajući plin je drveni plin iz kojeg su u hladnjačama i filtrima uklonjeni kondenzirajući produkti. Pročišćeni drveni plin se pomoću kompresora dovodi u izmjenjivač topline gdje se zagrijava na potrebnu temperaturu (450-550 °C), a kroz retortu prolazi odozgo prema dolje. Višak plina se ispušta i koristi za sušenje i zagrijavanje plina koji se dovodi u retortu, slika 4.

Proizvedeni drveni ugljen se ubacuje u hermetički zatvorene spremnike za hlađenje. Nakon hlađenja i zasićenja atmosferskim kisikom, drveni ugljen se transportira do separatora. Grumeni drvenog ugljena se isporučuju u rasutom stanju ili u vrećama. Obrađuje se u granule ili prah, ili se proizvode briketi. Kapacitet retorte je 300 tona drvenog ugljena mjesečno. Obično tvornica drvenog ugljena ima šest ili sedam jedinica za proizvodnju.

Za proizvodnju 100 kg drvenog ugljena potrebno je 250 MJ topline, 27 MJ električne energije i 5 m<sup>3</sup> vode.



Slika 4: Degussa retorta

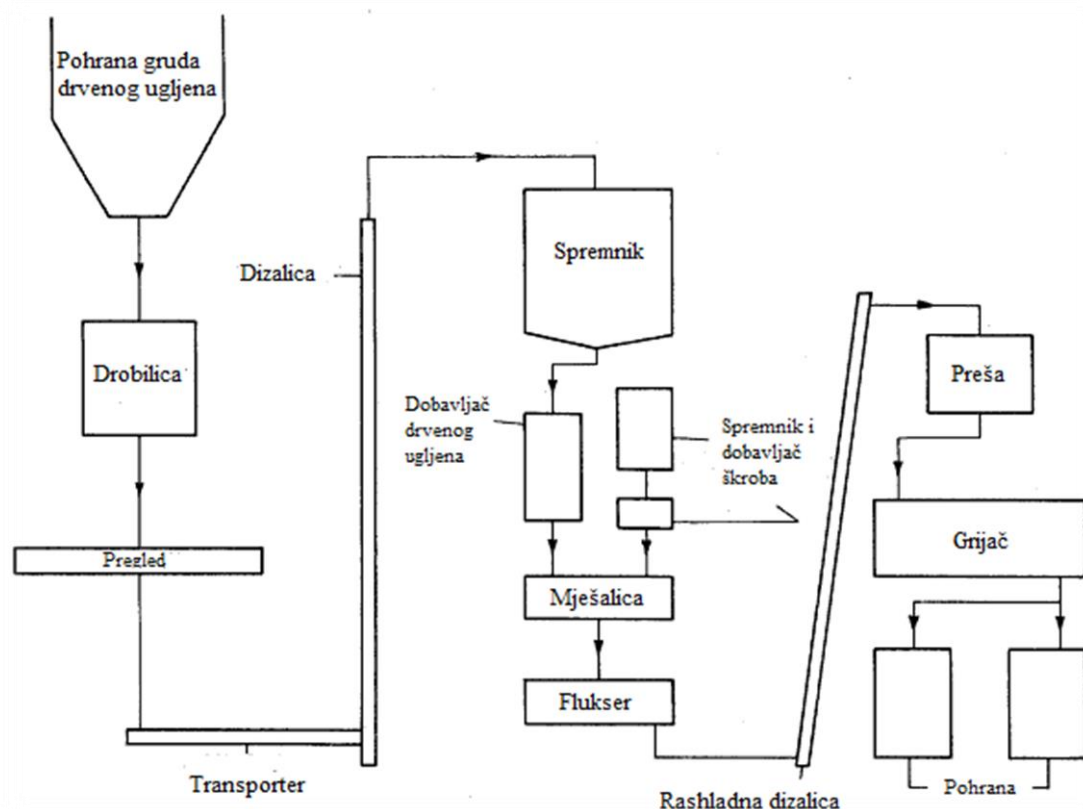
### 3.3. Briketiranje

Oprema koja je potrebna pri proizvodnji briketa je visoko specijalizirana. Pogonjene jedinice služe za mljevenje i miješanje suhog i vlažnog drvenog ugljena, vlažno formiranje briketa, prenošenje materijala u procesu i kontinuirano sušenje [9].



Dobivene grude drvenog ugljena iz postrojenja za pohranu prenose se transporterom do stroja za mljevenje, slika 5. Nakon usitnjavanja, drveni ugljen se mehanički ili pomoću zraka dovodi u posebnu posudu za odmjeravanje toka koji dolazi na lopaticu mješalice. Kako materijal dolazi u mješalicu, dodaju se odmjerene količine vode s oko 5% veziva (krumpir ili kukuruzni škrob). Nakon miješanja, mješavina se vodi kroz flukser zbog temeljitije obrade mase prije nego što se ubacuje u prešu. Preša se sastoji od dva nasuprotna valjka koji sadrže udubljenja veličine briketa. Zbog sadržaja vlage, sredstva za vezanje, temperature (40 °C) i tlaka koji uzrokuju valjci, briketi drže svoj oblik kako ispadaju iz dna preše.

Briketi padaju na transporter (tekuću traku) koji ih dovodi u grijač koji ih zagrijava na 135 °C, smanjujući njihov sadržaj vlage na oko 5%. Briketi se mogu proizvesti u količini od 1-9 tona po satu.



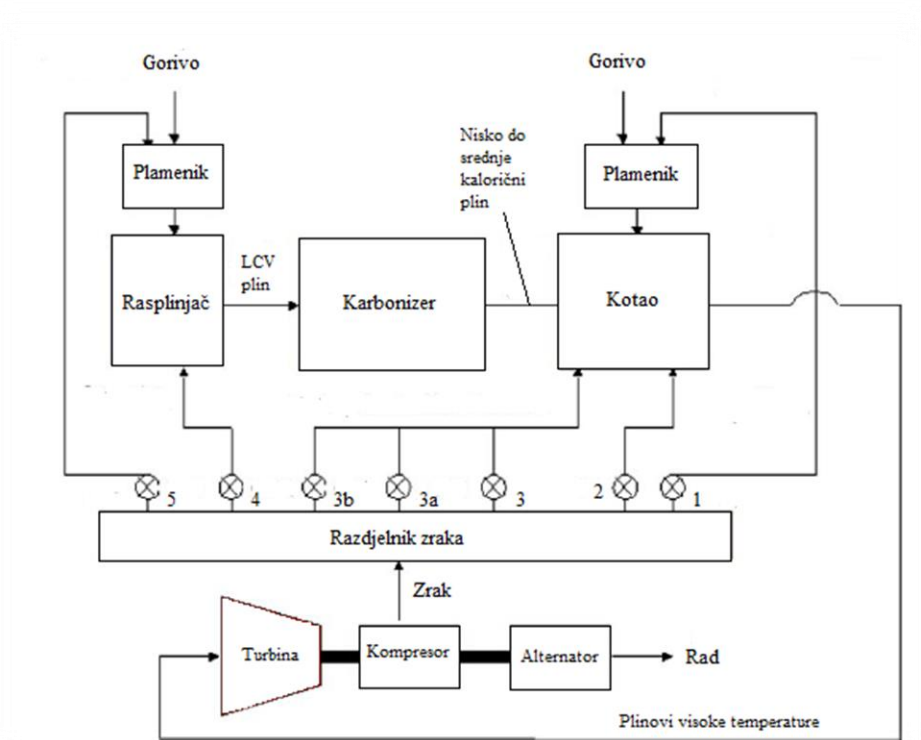
Slika 5: Shema briketiranja drvenog ugljena [9]

### 3.4. Čist i efikasan sustav za proizvodnju drvenog ugljena i energije

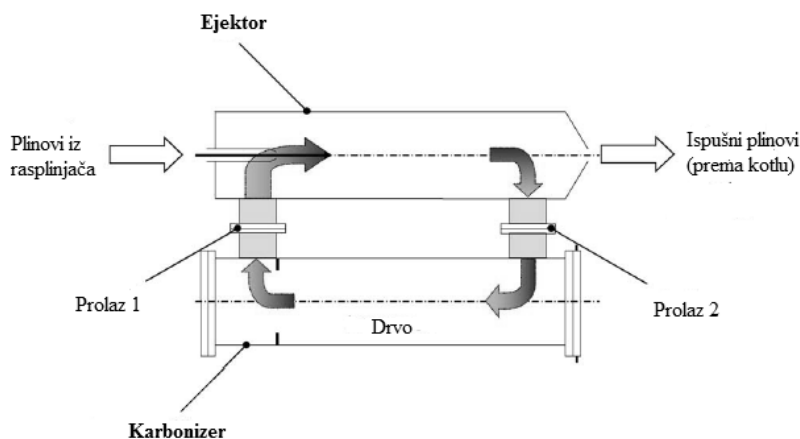
Čist i efikasan sustav za proizvodnju drvenog ugljena, toplinske energije i električne energije (CHaP sustav) je sustav koji koristi preostalu energiju prilikom proizvodnje drvenog ugljena za proizvodnju toplinske i električne energije. Time se poboljšava efikasnost procesa proizvodnje drvenog ugljena [10].

CHaP sustav čine četiri glavna podsustava – karbonizacijska posuda, sekundarni kotao koji može raditi s dvije vrste goriva i to s uljem (pri pokretanju/zaustavljanju ili tijekom nekih perioda rada) i niskokaloričnim plinom, sustav opskrbe goriva/plina i izvor topline karbonizera, plinska turbina s alternatorom.

Turbina se u početku pokreće pomoću alternatora na određenu brzinu vrtnje, slika 6. Uljni plamenici kotla se tada uključuju, a komprimirani zrak se dobavlja iz kompresora kroz razdjelnik zraka i kontrolni ventil 1. Sekundarni zrak se dobavlja kroz kontrolni ventil 2. U kotao se također kroz kontrolne ventile 3, 3a i 3b dovodi komprimirani zrak koji se miješa s ispušnim plinovima iz kotla što uzrokuje smanjenje njihove temperature. Tako ohlađeni ispušni plinovi se dovode u turbinu. Kada se postigne maksimalna brzina vrtnje turbine, peć se stabilizira, a ulazne temperature u turbinu postaju približno konstantne. Tada se otvaraju kontrolni ventili 4 i 5 kako bi u početku zagrijali karbonizacijsku posudu. Nakon predodređenog vremena, uključuje se rasplinjač kako bi se proizvela toplina potrebna za proces karbonizacije. Plinovi iz rasplinjača i otpadni plinovi iz karbonizera se direktno dovode u kotao. Kako ti plinovi ulaze u kotao, protok kroz uljni plamenik kotla se automatski smanjuje pomoću kontrolnog sustava.



Slika 6: CHaP sustav [10]



Slika 7: Shema sustava ejektor-karbonizer [10]

## 4. Sirovine

Prirodna sirovina za proizvodnju drvenog ugljena je srednje do jako tvrdo drvo, poput bukve, breze, tvrdog javora itd. Piljevina, strugotine, koštice, orasi, orahove ljuske, stabljike kukuruza i slične sirovine također se mogu koristiti u proizvodnji. Drvo koje se koristi transportira se iz šume ili se uzima od industrijskih ostataka, a dostupno je u obliku daski ili u komadima različitih oblika [3].

Pri mjerenju količine korištenog drveta, koriste se različite mjerne jedinice – industrijski ostaci se mjere u tonama, drvo iz šume se mjeri u kubičnim metrima ili teoretskim kubičnim metrima.

Za proces karbonizacije u pećima, oblik korištenog drveta nije bitan čimbenik. S druge strane, za karbonizaciju u retortama poželjnije su ujednačenije veličine korištenih komada. Pri rezanju drveta na sitnije dijelove koriste se različiti alati i strojevi (sjekire, pile...). Usitnjeni komadi drveta mogu lako se mogu skladištiti i prevoziti bagerima ili remenim transporterima.

Tek posječeno drvo sadrži 50% vode. Takvo drvo nije pogodno za proizvodnju drvenog ugljena jer visoki sadržaj vode povećava vrijeme karbonizacije i potrebu za toplinskom energijom. Nedostaci postaju još izraženiji ako su prisutni i tekući nusprodukti. Zbog toga drvo koje se koristi mora biti suho u što većoj mjeri, odnosno sadržaj vode nipošto ne smije biti veći od 5-20%. Niži postotak vlage postiže se prirodnim ili umjetnim sušenjem drveta. Pošto prirodni način sušenja može potrajati i jednu do dvije godine, obično se primjenjuje umjetno sušenje u rotacijskoj sušilici.

Sušilica se sastoji od osovine koja je uvijek ispunjena drvetom. Punjenje i pražnjenje sušilice se automatski kontrolira, a drvo se suši cirkulacijom vrućih dimnih plinova. Temperatura ne smije biti veća od 170 °C kako ne bi došlo do samozapaljenja. U slučaju da nije moguće iskoristiti otpadnu toplinu, dimni plinovi se mogu proizvesti gorenjem drvnog plina, bio ulja, ili nekog drugog izvora energije. Kako bi se sadržaj vlage smanjio sa 40 na 18%, potrebno je 16-18 sati sušenja na razini sušenja od 3000 tona mjesečno uzimajući u obzir apsolutno suho drvo.

Pošto se drveni ugljen ne proizvodi samo iz drveta nego se koriste i neke druge sirovine koje su navedene u početku poglavlja, pri čemu može nastati drveni ugljen različitih svojstava, u daljnjem tekstu će biti analizirane neke sirovine koje se mogu iskoristiti za proizvodnju drvenog ugljena. Uz to, bit će prikazana određena svojstva proizvedenog drvenog ugljena, ovisno o korištenoj sirovini.

### 4.1. Analiza nekih sirovina

Ovdje će biti analizirana proizvodnja drvenog ugljena iz suhih iglica koje pripadaju vrsti bora latinskog naziva „*Casuarina equisetifolia*“, suhog lišća od vazdazelenog grma latinskog naziva „*Lantana camara*“, bagase šećerne trske i voća palme uljarice („*Elaeis guineensis*“).

Sve navedene sirovine (unaprijed izmjerene mase) su stavljene u zatvorene metalne posude s dva otvora, gdje su bile podvrgnute pirolizi na temperaturama 200, 250, 300, 350 i 400 °C u vremenu od 30 min. Nakon pirolize, ohlađenim sastojcima su izmjerene mase na temelju čega su izračunati prinosi drvenog ugljena kao omjer mase drvenog ugljena dobivenog pirolizom i mase svježe biomase [11].

Ogrjevne vrijednosti suhe biomase i drvenog ugljena su bile određene na usitnjenim uzorcima (mase 1 gram) gorenjem u kalorimetru pri adijabatskim uvjetima. Ogrjevne vrijednosti su bile izračunate na temelju indijskih standarda (IS-1350-1966), britanskih standarda (BS-1016-1967) i standardnih metoda Instituta za naftu (IP-12/63 T).

#### Analiza uzoraka biomase

Elementarna analiza biomase pokazala je da svi uzorci sadrže približno jednaku količinu ugljika, vodika i kisika, s malim varijacijama u sadržaju dušika. Nadalje, svi uzorci su se sastojali u približno jednakom postotku od celuloze, hemiceluloze i lignina osim voća palme uljarice koje se sastojalo pretežito od celuloze i lignina (manje od hemiceluloze). Sljedeće tablice detaljnije prikazuju analizu uzoraka biomase.

Tablica 2: Neposredna analiza biomase

|                                                     | <b>Vlaga (%)</b> | <b>Isparljive tvari (%)</b> | <b>Vezani ugljik (%)</b> | <b>Pepeo (%)</b> | <b>Gustoća (kg/m<sup>3</sup>)</b> |
|-----------------------------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|
| <b>Suhe iglice bora<br/>Casuarina equisetifolia</b> | 5,4 ± 0,6        | 73,5 ± 5,96                 | 16,46 ± 0,7              | 3,93 ± 0,8       | 195,19 ± 0,89                     |
| <b>Suho lišće grma<br/>Lantana camara</b>           | 8,06 ± 0,85      | 70,46 ± 0,8                 | 11,83 ± 1                | 7,26 ± 0,55      | 210,21 ± 2,09                     |
| <b>Bagasa šećerne trske</b>                         | 8,87 ± 0,68      | 85,06 ± 1,32                | 6,66 ± 0,51              | 4,33 ± 1,02      | 200,78 ± 0,25                     |
| <b>Voće palme uljarice<br/>(Elaeis guineensis)</b>  | 6,36 ± 0,75      | 78,2 ± 1,21                 | 16,46 ± 0,7              | 4,53 ± 0,6       | 280,11 ± 1,39                     |

Tablica 3: Osnovna analiza biomase

|                                                     | <b>Ugljik (%)</b> | <b>Vodik (%)</b> | <b>Dušik (%)</b> | <b>Kisik (%)</b> |
|-----------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Suhe iglice bora<br/>Casuarina equisetifolia</b> | 46,12             | 6,9              | 1,18             | 42,64            |
| <b>Suho lišće grma<br/>Lantana camara</b>           | 45,01             | 6,68             | 2,02             | 43,79            |
| <b>Bagasa šećerne trske</b>                         | 44,6              | 6,2              | 0,2              | 46,84            |
| <b>Voće palme uljarice<br/>(Elaeis guineensis)</b>  | 45,9              | 5,8              | 1,2              | 40,1             |

Tablica 4: Biokemijska svojstva biomase

|                                                         | <b>Celuloza (%)</b> | <b>Hemiceluloza (%)</b> | <b>Lignin (%)</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>Suhe iglice bora<br/>Casuarina<br/>equisetifolia</b> | 30,83 ± 2,25        | 25,76 ± 1,1             | 18,24 ± 1,15      |
| <b>Suho lišće grma<br/>Lantana camara</b>               | 33,53 ± 2,02        | 22,14 ± 0,74            | 16,22 ± 1,05      |
| <b>Bagasa šećerne trske</b>                             | 33,29 ± 1,43        | 26,76 ± 0,71            | 12,63 ± 1,03      |
| <b>Voće palme uljarice<br/>(Elaeis guineensis)</b>      | 58,07 ± 1,69        | 2,06 ± 0,84             | 26,87 ± 1,59      |

#### Varijacije u prinosu drvenog ugljena

Prinos drvenog ugljena je bio obrnuto proporcionalan temperaturi u slučaju svih uzoraka, osim kod prijelaza s temperature 200 °C na temperaturu 250 °C kod voća palme uljarice i bagase šećerne trske kad je došlo do povećanja prinosa drvenog ugljena. Maksimalni prinos drvenog ugljena zabilježen je na temperaturi 200 °C za suhe iglice bora Casuarina equisetifolia (52,14%), a slijedi suho lišće grma Lantana camara (45,33%), voće palme uljarice (44,52%) i bagasa šećerne trske (34,66%). Suhe iglice bora Casuarina equisetifolia su ostvarile veći prinos drvenog ugljena na svim temperaturnim režimima od svih ostalih uzoraka. Najmanji prinos drvenog ugljena ostvaren je kod bagase šećerne trske, a razlog tome je slabija kvaliteta substrata i nizak sadržaj vezanog ugljika (Tablica 1). Suhe iglice bora Casuarina equisetifolia i voće palme uljarice zabilježile su viši prinos drvenog ugljena i viši sadržaj ugljika, a niži sadržaj kisika i isparljivih tvari u odnosu na ostale uzorke.

#### Ogrjevnost vrijednost

Sljedeća tablica prikazuje da je gornja ogrjevnost vrijednost kod suhih iglica bora Casuarina equisetifolia i bagase šećerne trske veća u karboniziranom drvenom ugljenu nego li u suhoj biomasi. Suhe iglice bora Casuarina equisetifolia imale su najveću ogrjevnost vrijednost (18,48 MJ/kg), a jednako vrijedi i za drveni ugljen proizveden iz iste biomase (29,89 MJ/kg).

Tablica 5: Ogrjevnost vrijednosti

|                                                        | <b>Ogrjevnost<br/>vrijednost suhe<br/>biomase (MJ/kg)</b> | <b>Ogrjevnost vrijednost<br/>drvenog ugljena<br/>(MJ/kg)</b> | <b>Povećanje ogrjevnost<br/>vrijednosti za (%)</b> |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Suhe iglice bora<br/>Casuarina<br/>equisetifoli</b> | 18,48 ± 0,66                                              | 29,89 ± 1                                                    | 61                                                 |
| <b>Suho lišće grma<br/>Lantana camara</b>              | 18,5 ± 1,03                                               | 21,42 ± 1,12                                                 | 15                                                 |
| <b>Bagasa šećerne trske</b>                            | 16,46 ± 0,63                                              | 23,43 ± 1                                                    | 42                                                 |
| <b>Voće palme uljarice<br/>(Elaeis guineensis)</b>     | 16,96 ± 0,72                                              | 18,46 ± 0,62                                                 | 8                                                  |

## Zaključak

Ova analiza je pokazala da je prinos drvenog ugljena različit ovino o karakteristikama biomase i temperaturama koje se koriste u procesu karbonizacije. Također, prinos drvenog ugljena se smanjivao kako je temperatura rasla.

Ovom analizom je također pokazano da je ogrjevna vrijednost proizvedenog drvenog ugljena veća od ogrjevnosti suhe biomase. Povećanje ogrjevnosti proizvedenog drvenog ugljena može ovisiti o sadržaju isparljivih tvari, pepela i vezanog ugljika kao i o sadržaju ugljika, vodika i kisika.

Na kraju ove analize, može se zaključiti da se suhe iglice bora *Casuarina equisetifolia* mogu efikasno karbonizirati na 200 °C, čime se postiže najviši prinos drvenog ugljena i najviša ogrjevna vrijednost u odnosu na ostale analizirane uzorke.

## 5. Mogućnosti korištenja drvenog ugljena

Polovica svjetske populacije pri kuhanju koristi goriva od biomase. 1992. godine, ukupna svjetska potrošnja drvenog ugljena iznosila je 24 milijuna tona. Gotovo cjelokupna svjetska potrošnja odnosi se na zemlje u razvoju, a samo Afrika troši oko polovicu svjetske proizvodnje. Proizvodnja drvenog ugljena se povećala za trećinu u razdoblju od 1981. do 1992. godine i očekuje se da će i dalje rasti s obzirom na rast populacije [12].

Korisnici biomase preferiraju drveni ugljen naspram drugih goriva od biomase. Drveni ugljen ima veću energetsku gustoću od ostalih goriva od biomase i može se lako skladištiti bez problema koje uzrokuju kukci. Ima odlična svojstva kao gorivo za kuhanje – gori ravnomjerno i dugo, lako se gasi i ponovno zagrijava. Međutim, kako korisnici postaju imućniji, oni obično prelaze s drvnih biomasa na drveni ugljen, a nakon toga na naftna goriva kao što su kerozin ili ukapljeni naftni plin (LPG).

Razlike između urbanih i ruralnih primanja odgovara izboru kućanskog goriva. Na primjer, u urbanim kućanstvima u Keniji, 66% energije se dobiva iz drvenog ugljena i 18% od drvene biomase. U ruralnim kućanstvima, 90% goriva se dobiva iz drvene biomase i samo 5% iz drvenog ugljena. Ova velika razlika u korištenju goriva pokazuje da urbana migracija može imati veliki utjecaj na potrošnju drvenog ugljena.

Zbog činjenice da potrošnja drvenog ugljena dominira među urbanim korisnicima, može se reći da ruralni korisnici subvencioniraju i nose teret urbane primjene energije budući da zalihe preuzete iz ruralnih područja direktno utječu na dostupnost drvene biomase. Korisnici drvene biomase su zahvaćeni povećanom količinom vremena koje provedu skupljajući drvenu biomasu, a sječom njihovih šuma i uništavanjem ekosustava, može se indirektno utjecati na povećanje erozije tla ili gubitak životinjskih staništa.

Tablica 6: Relativne cijene nekih goriva za kuhanje

|                            | Kamerun | Senegal | Sjeverna<br>Nigerija | Niger | Etiopija |
|----------------------------|---------|---------|----------------------|-------|----------|
| <b>Drvena biomasa</b>      | 1       | 1       | 1,1                  | 1     | 1        |
| <b>Drveni ugljen</b>       | 3,4     | 0,9     | 2,4                  | 1,4   | 1,6      |
| <b>Kerozin</b>             | 10      | 1,7     | 0,6                  | 1,7   | 0,7      |
| <b>LPG</b>                 | -       | 1,3-1,9 | 2                    | 2     | 1,1      |
| <b>Električna energija</b> | 11,1    | 3,3     | 1,1                  | 2,8   | 2        |

Cijena nije jedini, ili čak glavni čimbenik odabira kućanskog goriva. Gornja tablica prikazuje relativne cijene za različite vrste goriva za kuhanje. Treba primjetiti da ogrjevno drvo zbog neugodnosti i dima, nije nužno najjeftiniji odabir. U mnogim slučajevima, dostupnost zaliha goriva određuje odabir. Osim toga, čak i u slučajevima gdje se koriste naftna goriva, ugljen se često koristi kao rezervno ili glavno gorivo za pripremu namirnica. U Senegal, gdje se povećava korištenje LPG-a, kućanstva koja koriste LPG još uvijek koriste jednako ili više drvenog ugljena nego li kućanstva koja koriste isključivo drveni ugljen.

## **5.1. Primjena**

Zbog svojih adsorpcijskih svojstava, drveni ugljen je konvencionalna sirovina za proizvodnju aktivnog ugljena. Granule drvenog ugljena se koriste kao dodatak prehrani domaćim životinjama. Zbog svoje reaktivnosti i čistoće, drveni ugljen se koristi u proizvodnji ugljikovog disulfida i alkalij-metalnog cijanida. Osim toga, drveni ugljen se koristi u proizvodnji crnog praha [3].

Drveni ugljen se u metalurgiji koristi za proizvodnju ferosilicija, silicija, feromangana i za prerađivanje bakra. Koristi se pri kaljenju, u ljevaonicama i za uklanjanje kamenca s limova i žica. U zemljama bez depozita ugljena, drveni ugljen se koristi u visokim pećima.

Komadi drvenog ugljena se miješaju sa škrobnim vezivom i tlače u briquete radi primjene u industriji i kućanstvu, te za vanjsko rekreacijsko kuhanje. Briketi drvenog ugljena gore dulje od drvenog ugljena u obliku gruda. Briketi gore bez plamena i mirisa, a proizvode konstantnu količinu topline. Vanjsko rekreacijsko kuhanje je glavni razlog zbog čega je u svijetu prisutna stalna potražnja za drvenim ugljenom.



## 6. Produkti i toplinske pojave tijekom pretvorbe biomase u drveni ugljen i tijekom njegovog korištenja

### 6.1. Proizvodnja drvenog ugljena

Komercijalna proizvodnja drvenog ugljena uključuje karbonizaciju drva i formiranje nusprodukata. U nekim slučajevima (pri proizvodnji drvenog ugljena u retortama velikih volumena koje se koriste u Europi) moguće je očuvanje nusprodukata, koji se kasnije mogu primijeniti u različite svrhe [3].

Ako se drvo zagrijava u odsustvu kisika iznad 100 °C, nastupit će niz kompleksnih reakcija. Uglavnom, makromolekularni lanci drvenih komponenti (hemiceluloza, celuloza i lignin) depolimeriziraju u različite manje molekule. Do 270 °C odvijaju se pretežito primarne reakcije kao što su hidroliza i izomerizacija, a iznad 270 °C dominiraju sekundarne reakcije u kojima se molekule razdvajaju i ponovno sjedinjuju kondenzacijom i polimerizacijom.

Postoje tri temperaturna raspona. Slobodna i vezana voda isparava na temperaturi od 100 do 170 °C. Na istoj temperaturi stvaraju se male količine ugljikovog dioksida, ugljikovog monoksida, mravlje kiseline i octene kiseline, što ukazuje na prvu razgradnju hemiceluloze i celuloze koja nije ni posebno endotermna niti posebno egzotermna.

Temperaturni raspon između 200 i 350 °C je karakteriziran egzotermnim reakcijama, a najintenzivnije su između 270 i 280 °C. Pritom dolazi do stvaranja povećane količine vode, metanola i octene kiseline. Kao produkti razgradnje lignina pojavljuju se bio ulje, vodik, metan i etilen, a ostatak je drveni ugljen.

Iznad 350 °C, razgradnja više nije egzotermna. U praksi, egzotermna reakcija završava na temperaturi od 380 °C. Kako bi se dobio traženi sadržaj ugljika, što ovisi o konačnoj temperaturi, potrebno je naknadno zagrijavanje. Za vrijeme cijelog procesa karbonizacije, oslobađa se 1600 J/g topline, a iz suhog drveta gornje ogrjevne vrijednosti 14,4-17,4 MJ/kg može se dobiti ogrjevna vrijednost drvenog ugljena i do 29-33 MJ/kg.

Prinosi produkata dobivenih karbonizacijom drva ovisi o vrsti drveta, vrsti postupka, trajanju karbonizacije i temperaturi na kraju reakcije. Najviše se drvenog ugljena dobije iz drveta od 10 cm u promjeru, sporom karbonizacijom i konačnom temperaturom od oko 400 °C. Sljedeća tablica prikazuje prinose ugljena postignute pri laboratorijskom ispitivanju u retorti s indirektnim zagrijavanjem.

Tablica 7: Eksperimentalno dobiveni prinosi drvenog ugljena za različite vrste drveta

|                                    | <b>Javor</b> | <b>Bongosi</b> | <b>Bukva</b> | <b>Hrast</b> | <b>Jova</b> | <b>Eukaliptus</b> | <b>Smreka</b> | <b>Bor</b> |
|------------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------------|---------------|------------|
| <b>Drveni ugljen (80% ugljika)</b> | 35%          | 41,4%          | 34%          | 35,7%        | 35,5%       | 35,5%             | 34,2%         | 32,8%      |
| <b>Octena kiselina</b>             | 6,6%         | 3,1%           | 7,7%         | 5,6%         | 6,5%        | 4,1%              | 3,6%          | 3,9%       |
| <b>Alkoholi</b>                    | 1,8%         | 2,4%           | 2,1%         | 1,6%         | 1,9%        | 2,1%              | 1,7%          | 1,5%       |
| <b>Bio ulje</b>                    | 15,5%        | 11%            | 14%          | 13,6%        | 16,2%       | 12,3%             | 15,6%         | 18,9%      |
| <b>Plinovi</b>                     | 15,5%        | 17,2%          | 16%          | 14,9%        | 16,8%       | 16,3%             | 15,2%         | 15,4%      |

Karbonizacija drveta sa sadržajem vlage od 10-15% proizvodi destilat sirovog likera sa sastavom od 12% octene kiseline i homologa, 3% alkohola (većinom metanola), 10% otopljenog bio ulja i 75% vode.

Bilo da je riječ o obnavljanju ili spaljivanju nusprodukata, što je ekonomičnije ovisi o nekoliko čimbenika – potražnji za nusproduktima, propisima zaštite okoliša, itd. Nusprodukti koji se mogu obnoviti su octena kiselina, propionska kiselina, alkoholi (metanol), bio ulje, kreozot, tekući dim, smola, flotacijska sredstva itd.

## 6.2. Korištenje (izgaranje) drvenog ugljena

Izgaranje je kemijski proces kod kojeg dolazi do oksidacije gorivih sastojaka nekog goriva. Sudionici izgaranja su gorivo i kisik (zrak) potreban za izgaranje, dok su reakcijski produkti dimni plinovi i pepeo. Izgaranje je potpuno ako svi izgorivi sastojci (ugljik, vodik i sumpor) iz goriva potpuno oksidiraju u svoje konačne produkte (ugljkov dioksid, vodu i sumporov dioksid), a nepotpuno ako produkti izgaranja sadržavaju još izgorivih sastojaka (npr. ugljikovog monoksida koji još može oksidirati u ugljkov dioksid) [13].

Produkti izgaranja drvenog ugljena su pepeo, aerosol i dimni plinovi kao što su ugljkov dioksid, dušik i vodena para, ali i produkti nepotpunog izgaranja kao što su ugljkov monoksid, metan i nemetanski ugljikovodici. Naravno da je cilj da sadržaj produkata nepotpunog izgaranja bude što manji jer su oni kao takvi povezani s energetske gubicima, a i štetni su za okoliš. Pepeo također predstavlja ekološki problem zbog njegovog nagomilavanja u velikim količinama.

Pri procesu izgaranja drvenog ugljena, oslobađa se toplina koja je jednaka razlici entalpije ulaznih sudionika (entalpije drvenog ugljena i entalpije zraka potrebnog za izgaranje) i entalpije izlaznih sudionika, odnosno entalpije produkata izgaranja:

$$-\phi_{12} = q_{mDP}h_{DP}(\vartheta_{DP}) - (q_{mZ}h_Z(\vartheta_Z) + q_{mG}h_G(\vartheta_G)).$$

Oslobodena toplinska energija ovisi o kvaliteti izgaranja drvenog ugljena, odnosno o tome da li je izgaranje potpuno ili nepotpuno. U idealnom slučaju bi došlo do potpunog izgaranja i do potpunog iskorištenja entalpije (osjetne topline) dimnih plinova. U praksi, uvijek dolazi do gubitaka zbog neizgorenosti goriva i gubitaka na osjetnoj toplini nastalih dimnih plinova.

## 7. Utjecaj na okoliš

Drveni ugljen utječe na okoliš u svim fazama njegovog životnog vijeka, odnosno pri njegovoj proizvodnji (koja obuhvaća opskrbu sirovinom i pirolizu drveta), korištenju i odlaganju ostataka. Utjecaji koji nastaju pri opskrbi sirovinom uglavnom se odnose na gospodarenjem šumama, odnosno sječu i odnošenje stabala iz šuma, a učinci tih radnji mogu biti deforestacija, erozija i osiromašenje tla. Najnegativniji utjecaji nastaju pri njegovoj proizvodnji (pirolizi drveta) i korištenju, a odnose se na emisije štetnih plinova i tvari u atmosferu. Emisije štetnih plinova i tvari uključuju stakleničke plinove, katran, nemetanske hlapive organske tvari i lebdeće čestice. Navedene tvari pridonose globalnom zagrijavanju i mogu predstavljati zdravstveni rizik za radnike i stanovništvo koje živi u područjima koja se nalaze u blizini proizvodnih pogona [4].

Biomasa se smatra ekološkim gorivo jer je emisija čistoga CO<sub>2</sub> pri njezinome izgaranju jednaka je nuli. Ipak, ovaj navod vrijedi samo ukoliko se drveni ugljen proizvodi na održivi način. Postoji velika razlika između utjecaja na okoliš poveznih sa sječom i odnošenjem drveta iz prirodnih šuma i raslinja kojima se ne gospodari i u kojima se vrši nekontrolirana sječa, i iz održivo gospodarenih šuma i/ili ostataka drveno-prerađivačke industrije. Sječa stabala u šumama kojima se ne gospodari, odnosno neodržive prakse sječe stabala ili nekontrolirana sječa mogu uzrokovati višestruke negativne učinke koji mogu dovesti do propadanja šuma i tla, deforestacije i erozije tla i/ili dezertifikacije. Takve prakse uzrokuju povećanje emisija CO<sub>2</sub> pridonoseći globalnome zagrijavanju.

U Africi su atmosferske emisije i problemi koji povezani s tim vrlo izraženi pošto je tamo prisutna najveća svjetska potrošnja drvenog ugljena. U većini afričkih država drveni ugljen je glavni izvor energije za kuhanje, kao i glavni izvor prihoda ali i uzrok degradacije okoliša. U usporedbi sa zemljama u razvoju u Africi ili Aziji, u zemljama Europe i Sjeverne Amerike drveni ugljen se koristi u različitim industrijama i kao gorivo za vanjsko rekreacijsko kuhanje. Stoga proizvodnja drvenog ugljena u razvijenijim zemljama nije toliko značajna, a postoji i formalizirani pristup opskrbi sirovinom, pri čemu velika količina drveta koja se koristi za proizvodnju drvenog ugljena potječe od ostataka i otpada iz šumarstva i drveno-prerađivačke industrije ili iz održivo gospodarenih šuma. Zbog toga je u razvijenijim zemljama negativni utjecaj opskrbe sirovinom za proizvodnju drvenog ugljena zanemariv, ili čak pozitivan u nekim slučajevima.

Atmosferske emisije uključuju emisije ugljikovog monoksida (CO), ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), hlapivih organskih spojeva (VOC), lebdećih čestica (TSP) (nastalih iz neizgorenih katrana i ugljične prašine) i pirokiselina koje mogu formirati aerosol. Razina emisija uglavnom ovisi o tehnologiji proizvodnje drvenog ugljena, temperaturi koja se razvija uslijed pirolize drveta i postotku vlage u drvetu.

Razina emisija ugljikovog dioksida iz tradicionalnih pogona za proizvodnju drvenog ugljena u određenim zemljama u Africi varira između 450 i 500 grama po kilogramu proizvedenog drvenog ugljena, emisije metana oko 700 grama, emisije ugljikovog monoksida između 450 i 650 grama, a emisije nemetanskih ugljikovodika između 10 i 700 grama po kilogramu proizvedenog drvenog ugljena. Glavni uzrok tako visokih razina emisija je nepotpuno izgaranje drveta i nastajanje plinovitih produkata koji se ispuštaju izravno u okoliš.

S druge strane, atmosferske emisije iz industrijskih pogona za proizvodnju drvenog ugljena su znatno niže. Na temelju EPA-inih čimbenika emisija za proizvodnju drvenog ugljena, pri proizvodnji jednog kilograma drvenog ugljena u pećima za diskontinuiranu proizvodnju prosječno se ispušta 140 grama ugljikovog monoksida, 54 grama metana i 560 grama ugljikovog dioksida. Pri proizvodnji iste količine drvenog ugljena u retortama za kontinuiranu proizvodnju prosječno se ispušta 160 grama ugljikovog monoksida, 50 grama metana i oko 490 grama ugljikovog dioksida. Razine atmosferskih emisija moguće je znatno smanjiti uporabom dimnih plinova za zagrijavanje komore za izgaranje, što dovodi do povećanja temperature u komori izgaranja, unaprjeđenjem ekoloških radnih karakteristika pogona, poput filtera za prikupljanje lebdećih čestica, i prethodnim sušenjem sirovine koja se koristi u proizvodnji drvenog ugljena. Naknadno izgaranje dimnih plinova smanjuje emisije metana za više od deset puta. Emisije lebdećih čestica, ugljikovog monoksida i hlapivih organskih spojeva mogu se smanjiti za 80%, a znatno se mogu smanjiti i emisije katrana i dušikovih oksida. Nadalje, neki eksperimenti su pokazali kako izgaranje dimnih plinova na temperaturi od oko 1000 °C dovodi do uništenja 99% mase zagađivača, izuzev ugljikovog dioksida.

Prosječne atmosferske emisije iz tradicionalnih i industrijskih pogona za proizvodnju drvenoga ugljena prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 8: Usporedba atmosferskih emisija za različite tipove proizvodnje drvenog ugljena

|                                                          | <b>CO<sub>2</sub></b>                                      | <b>CO</b> | <b>CH<sub>4</sub></b> | <b>NMHC/VOC</b> | <b>TSP</b> |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------|------------|
|                                                          | <u>U gramima po kilogramu proizvedenog drvenog ugljena</u> |           |                       |                 |            |
| <b>Kontinuirana proizvodnja u pećima</b>                 | 492                                                        | 160       | 50                    | 100             | 200        |
| <b>Diskontinuirana proizvodnja u pećima</b>              | 560                                                        | 140       | 54                    | 140             | 160        |
| <b>Nekontrolirana diskontinuirana proizvodnja</b>        |                                                            | 160-179   | 44-57                 | 7-60            | 197-598    |
| <b>Slabo kontrolirana diskontinuirana proizvodnja</b>    |                                                            | 24-27     | 6,6-8,6               | 1-9             | 27-89      |
| <b>Kontrolirana kontinuirana proizvodnja u retortama</b> |                                                            | 8-8,9     | 2,2-2,9               | 0,4-3           | 9,1-30     |
| <b>Moderne peći</b>                                      | 3300                                                       | 443       | 147                   | 405             | 320        |
| <b>Relativno moderne peći</b>                            | 1350                                                       | 700       | 170                   |                 |            |
| <b>Zidane peći u zemljama u razvoju</b>                  | 1540                                                       | 233       | 40                    | 8               | 5          |

Pored negativnih učinaka na okoliš, proizvodnja i uporaba drvenoga ugljena može utjecati i na ljudsko zdravlje. Ti su utjecaji povezani s emisijama plinova i lebdećih čestica u zatvorene radne i životne prostore.

Drveni ugljen sadrži oko 80% vezanog ugljika, 24% hlapivih spojeva, 4% pepela, 0,53% dušika i 0,01% sumpora. Dugotrajno udisanje štetnih tvari koji se oslobađaju pri izgaranju drvenog ugljena mogu dovesti do problema s disanjem i nekih bolesti, poput akutne respiratorne infekcije (ARI), astme, raka pluća i drugih bolesti. Neka istraživanja su pokazala da su emisije lebdećih čestica znatno niže kod izgaranja drvenog ugljena u odnosu na izgaranje ostalih krutih goriva dobivenih od biomase. Koncentracija lebdećih čestica PM10 u kućanstvima uslijed izgaranja drvenoga ugljena iznosi oko 0,38 do 0,50 mg/m<sup>3</sup>, dok ta koncentracija može varirati između 0,89 i 3 mg/m<sup>3</sup> pri izravnome paljenju drvenoga ogrjeva na otvorenome plamenu. No koncentracija CO nešto je niža (8,5 ppm) pri uporabi drvenoga ogrjeva u usporedbi s drvenim ugljenom (13 ppm). Pri uporabi navedenih goriva koncentracija prašine je znatno veća u odnosu na standarde USEPA-e i smjernice SZO-a o kvaliteti zraka u zatvorenim prostorima, dok koncentracija CO jedva ispunjava ili premašuje standarde (Tablica 9). Potrebno je istaknuti kako razina emisija lebdećih čestica i ugljikovog monoksida znatno ovise o vrsti peći ili štednjaka i tipu dimnjaka.

Tablica 9: Usporedba prosječne koncentracije zagađivača zraka u zatvorenim prostorima prilikom uporabe drvenog ugljena i drvenog ogrjeva sa smjericama SZO-a i standardom USEPA-e

|                          | <b>Izgaranje drvenoga ugljena</b> | <b>Izgaranje drvenoga ogrjeva</b> | <b>Smjernice SZO-a</b> | <b>Standard USEPA-a</b>                                                               |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Prašina (PM10)</b>    | 0,38-0,5 mg/m <sup>3</sup>        | 0,89-3 mg/m <sup>3</sup>          | 0,15 mg/m <sup>3</sup> | Prosječno 0,15 mg/m <sup>3</sup> u 24 sata, prosječno 0,05 mg/m <sup>3</sup> godišnje |
| <b>Ugljikov monoksid</b> | 13 ppm                            | 8,5 ppm                           | 8,6 ppm                | Prosječno 9 ppm u 8 sati, prosječno 35 ppm u 1 satu                                   |

Kako je već navedeno, prisutna je velika razlika u proizvodnji drvenog ugljena u zemljama u razvoju i razvijenim zemljama. U razvijenim se zemljama drveni ugljen vrlo rijetko kotisti kao gorivo za kuhanje u zatvorenim prostorima, nego više kao gorivo za vanjsko rekreacijsko kuhanje. U tom slučaju je utjecaj njegove uporabe na ljudsko zdravlje neznatan (ili čak zanemariv). Međutim, štetne tvari mogu utjecati na zdravlje radnika koji su zaposleni u pogonima proizvodnje drvenog ugljena ukoliko nisu ispunjeni standardi zaštite na radu.

Sljedeća tablica prikazuje najviše dopuštene koncentracije ugljikovog monoksida i prašine sukladno NIOSH-u (SAD) i hrvatskim standardima zaštite na radu.

Tablica 10: Dopusćene koncentracije ugljikovog monoksida i prašine sukladno NIOSH-u i hrvatskim standardima zaštite na radu

|                          | <b>NIOSH</b>                   | <b>Hrvatski standard zaštite na radu</b> |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Prašina (PM10)</b>    | 2,5 mg/m <sup>3</sup> u 8 sati | 3 mg/m <sup>3</sup> u 8 sati             |
| <b>Ugljikov monoksid</b> | 50 ppm u 8 sati                | 30 ppm u 8 sati                          |

Ovisno o kvaliteti sirovine, otprilike 10 do 15% proizvedenog drvenog ugljena zapravo su prašina i krhotine koje ne pridonose kvaliteti drvenog ugljena i zbog toga ih se smatra otpadom. Ipak, mogu se koristiti u proizvodnji briketa. I ostali nusprodukti drvenog ugljena se mogu koristiti. Od njih se može proizvoditi toplinska energija, a otpadna voda se može obraditi i kasnije upotrijebiti. Uređaji i spremnici za obnovu i skladištenje kapljevityh nusprodukata se izrađuju od bakra ili nehrđajućeg čelika [3].

## **8. Načini proizvodnje, količine i utjecaji na okoliš drvenog ugljena na razini nekih svjetskih područja/država i na razini Hrvatske**

### **8.1. Brazil**

Brazil je najveći svjetski proizvođač drvenog ugljena. Međutim, efikasnosti procesa karbonizacije za proizvodnju drvenog ugljena su niske i nisu se znatno povećavale već cijelo stoljeće. Industrijska primjena drvenog ugljena u Brazilu obuhvaća industriju sirovog željeza (Brazil je najveći proizvođač sirovog željeza baziranog na drvenom ugljenu), proizvodnju čelika i ferolegura [14].

U južnom Brazilu (država Rio Grande do Sul – najjužniji dio Brazila) najviše se koriste tradicionalne ciglene peći koje nemaju kontrolu štetnih emisija u atmosferu. Njihova efikasnost je vrlo niska i iznosi oko 30% mase sirovog materijala [15].

U nekim općinama države Rio Grande do Sul, proizvodnja drvenog ugljena može iznositi i do oko 5000 tona godišnje. Ukupna razina atmosferskih emisija općina Brochier, Marata, Paverama, Poco das Antas, Salvador do Sul, Sao Jose do Sul, Sao Pedro da Serra države Rio Grande do Sul iznosi 53,753 tona godišnje (605,6 tona godišnje po km<sup>2</sup>), od čega je 38,952 tona godišnje kondenzirajućih i 14,802 tona godišnje nekondenzirajućih emisija. Emisija ugljikovog monoksida iznosi 7697 tona godišnje. Ukupna emisija organskih komponenti iznosi 8569,3 tona godišnje (96,5 tona godišnje po km<sup>2</sup>).

Iz navedenog se može zaključiti da je proizvodnja drvenog ugljena u tradicionalnim ciglenima pećima u Brazilu vrlo štetna po okoliš i zdravlje radnika koji rade u takvim pogonima. Poglavito se to odnosi na visoku emisiju ugljikovog monoksida i organskih komponenti kao što su policiklički aromatski ugljikovodici.

### **8.2. Tropski krajevi**

U tropskim krajevima (Afrike, Južne Amerike, Srednje Amerike, Azije i Oceanije) prisutna je velika potrošnja drvenog ugljena, a iznosi preko 50% ukupne svjetske potrošnje. Velika većina drvenog ugljena u tom dijelu svijeta proizvodi se u tradicionalnim zemljanim pećima čiji stupanj konverzije iznosi oko 20% [16].

Štetni utjecaji po okoliš pri opskrbi sirovinom za proizvodnju drvenog ugljena se uglavnom odnose na deforestaciju, eroziju i osiromašenje tla. Negativni utjecaji nastaju i pri njegovoj proizvodnji (pirolizi drveta) i korištenju, a odnose se na emisije štetnih plinova i tvari u atmosferu.

Značajnu štetnu po okoliš u tropskim krajevima svijeta predstavlja neodrživo gospodarenje šumama. Sječa stabala u šumama kojima se ne gospodari, odnosno neodrživa praksa sječe stabala uzrokuje višestruke negativne učinke koji mogu dovesti do propadanja šuma i tla. Takve prakse uzrokuju povećanje emisija ugljikovog dioksida što pridonosi globalnome zagrijavanju. Međutim, 2009. godine doprinos proizvodnje drvenog ugljena deforestaciji i propadanju tla u krajevima gdje je prisutna najviša stopa ovih štetnih utjecaja je bila manja od 7%. Osim toga, veliki dio šuma koje se koriste za opskrbu sirovinom za proizvodnju drvenog ugljena ima veliki potencijal brzog oporavka, posebno uz dobro gospodarenje šumama.

Što se tiče emisija štetnih plinova pri proizvodnji drvenog ugljena u tropskim krajevima, 2009. godine iznosila je 71,2 milijuna tona za ugljikov monoksid, 1,3 milijuna tona za metan i 103,04 milijuna tona za ugljikov dioksid. Od toga, daleko najviše emisija je proizvedeno u Africi – 46,7 milijuna tona ugljikovog monoksida, 0,84 milijuna tona metana i 67,6 milijuna tona ugljikovog dioksida.

Neuspjeh prethodnih političkih mjera u podizanju svijesti o štetnosti drvenog ugljena po okoliš i postizanju održivosti može se pripisati pogrešnim pretpostavkama nacionalnih i međunarodnih organizacija. Zato buduća unaprjeđenja gospodarenjem proizvodnjom drvenog ugljena moraju osim smanjenja siromaštva značajno doprinijeti i održivosti okoliša.

### **8.3. Republika Hrvatska**

Drveni ugljen se u Hrvatskoj proizvodi najčešće kao gorivo za vanjsko rekreacijsko kuhanje. Prema službenim podacima, u Hrvatskoj postoji samo jedan veći proizvođač drvenog ugljena i to unutar industrije Belišće. Postoji više manjih do srednje velikih proizvođača i oko 400 malih proizvođača razbacanih po predjelima šuma (najviše u sjevernom dijelu Hrvatske) [4].

Sirovina potrebna za proizvodnju drvenog ugljena dolazi iz šuma, u većini slučajeva od debla manjih promjera rodova stabala kao što su bukva, hrast i topola, ili iz ostataka drvne industrije.

#### **a) Proizvodnja drvenog ugljena u Belišću**

Belišće je najveći proizvođač drvenog ugljena u Hrvatskoj i jedini posjeduje razvijenu proizvodnu tehnologiju. Drveni ugljen se proizvodi s kapacitetom proizvodnje od 10-14 tona unutar ciklusa proizvodnje od 24 sata. Godišnja proizvodnja drvenog ugljena iznosi oko 3000 tona, a maksimalni kapacitet iznosi 3600-4200 tona. Proizvodnja briketa drvenog ugljena dostiže 1120 tona godišnje, a maksimalni kapacitet iznosi 1150 tona.

Sirovina koja se koristi za proizvodnju uključuje ostatke iz industrija za obradu drveta koje se nalaze u krugu od 100 km od Belišća i ostatke koji dolaze iz vlastite proizvodnje Belišća (10% ukupne sirovine). Ostaci se uglavnom sastoje od bukve (80%), graba i malog postotka hrasta. Treći i najvažniji dobavljač sirovina su Hrvatske šume.

Prije same proizvodnje drvenog ugljena, drvo se suši u trajanju od 8 sati pri čemu se postiže vlažnost drveta u iznosu od 10%. Nakon sušenja, sirovina se priprema (reže na manje dijelove) i ubacuje u komore. U čvrsto zatvorenim komorama odvija se karbonizacija – osnovni izvori toplinske energije su plinovi komora (85%) i zemni plin (15%). Karbonizacija traje 24 sata pri temperaturi između 430 i 480 °C. Sadržaj ugljika gotovog proizvoda ovisi o temperaturi, a obično iznosi 80-82%. Nakon karbonizacije, komore se otvaraju pri čemu se temperatura snižava na otprilike 240-250 °C. Komore se zatim hlade u komorama za hlađenje koje se hlade izvana pomoću vode u trajanju od 24 sata. Potom se komore vade iz komora za hlađenje i hlade na zraku također u trajanju od 24 sata. Ohlađeni komadi drvenog ugljena se zatim lome i prosijavaju u cilju ukljanjanja komada manjih od propisanih. Komadi koji su manji od propisanih se dalje koriste kao sirovina za proizvodnju briketa. Na kraju proizvodnog kruga, drveni ugljen se pakira, skladišti i distribuira.



Belišće također proizvodi i brikete drvenog ugljena. Glavna sirovina je prašina drvenog ugljena i mali komadi drvenog ugljena iz vlastite proizvodnje drvenog ugljena. Ako za to postoji potreba, dodatne količine se kupuju od drugih proizvođača drvenog ugljena. Za vezanje materijala u proizvodnji koriste se prašina drvenog ugljena i biljni škrob (kukuruzni škrob).

Proces proizvodnje briketa drvenog ugljena započinje mrvljenjem i miješanjem prašine i malih komada drvenog ugljena u cilju dobivanja homogene smjese. Zatim se prašina drvenog ugljena miješa s biljnim škrobom kako bi se omogućilo oblikovanje briketa. Pritom, udio biljnog škroba ne smije biti veći od 14% (u Belišću udio biljnog škroba iznosi 10-14%). Nakon toga slijedi proces oblikovanja briketa što se postiže pod pritiskom pri visokoj temperaturi. Proces oblikovanja prati istovremeni proces sušenja pri temperaturi od 400 °C. Na kraju, gotovi briketi se pakiraju, skladište i distribuiraju.

Belišće grupa sastoji se od nekoliko jedinica proizvodnje gdje se nusproizvodi i otpad jednog procesa koriste kao sirovina ili izvor energije drugog procesa, a drvo kupljeno u Hrvatskim šumama proizvodi se održivom šumarskom praksom. Tijekom proizvodnog procesa generiraju se dvije glavne vrste otpada – plinovi iz komora i prašina drvenog ugljena. Plinovi se spaljuju u visokim pećima i tako proizvode toplinu potrebnu za karbonizaciju drveta, čime pridonose sa 75% ukupne potrošnje energije za proces karbonizacije. Tijekom izgaranja plinova, gotovo se sve drvene kiseline iz smole spaljuju, a metan i ugljikov monoksid oksidiraju u ugljikov dioksid. Što se tiče prašine drvenog ugljena i krhotina (otprilike 10-15% proizvedenog drvenog ugljena), oni se tretiraju kao nusproizvod/otpad drvenog ugljena i kasnije koriste u proizvodnji briketa.

Najvažniji učinak zaštite okoliša u proizvodnji drvenog ugljena i Belišću definira ispuštanje ispušnih tvari u zrak i radnu okolinu. Nakon izgaranja plinova iz komora, ostaci se ispuštaju u okoliš putem dvaju dimnjaka. U odnosu na ispuštanje štetnih plinova u ostalim zemljama u razvoju, u Belišću je ispuštanje ugljikovog dioksida nešto više od predviđenog, ali je ispuštanje ugljikovog monoksida zanemarivo. Ako se gleda ukupna količina ispuštanja ugljikovog dioksida svih hrvatskih industrijskih izvora, koja je 2004. godine iznosila 5828 Gg, onda je ukupno godišnje ispuštanje ugljikovog dioksida u Belišću, koje je 2005. godine bilo 14,26 Gg, gotovo zanemarivo. Također su šume prema IPCC Uputama „ponori“ ugljikovog dioksida, pa je prema tome ispuštanje ugljikovog dioksida izgaranjem drveta balansirano kao rezultat s nikakvim ispuštanjem ugljikovog dioksida.

S druge strane, ispuštanje štetnih tvari relativno je visoko u usporedbi sa čimbenicima ispuštanja procijenjenih u ostalim zemljama. Imajući na umu da u Belišću ne postoji uređaj za smanjenje ispuštanja štetnih tvari, instalacija uređaja može pridonijeti značajnom smanjenju nekontroliranih ispuštanja štetnih tvari.

#### b) Tradicionalna proizvodnja

Procjenjuje se da u Hrvatskoj postoji otprilike 400 proizvođača drvenog ugljena koji njeguju tradicionalnu proizvodnju. Postoji deset registriranih proizvođača prisutnih na tržištu, dok ostali prodaju svoje proizvode ili registriranim proizvođačima ili direktno restoranima. Godišnja količina iznosi po nekoliko tona za male proizvođače, a 200-300 tona za nešto veće proizvođače.

Naravno, proizvodnja drvenog ugljena nije glavni izvor prihoda kod ovakvih proizvođača i u većini slučajeva se radi o proizvodnji u cilju iskorištavanja drvenih ostataka koji se ne mogu ekonomski iskoristiti na neki drugi način.

Sirovina koja se koristi za proizvodnju drvenog ugljena isključivo je drvo – bukva, grab ili hrast. Nabava sirovine najmanjih i srednjih proizvođača nisu u potpunosti transparentne, no općenito postoje tri glavna izvora – Hrvatske šume, privatne šume i industrije za obradu drva.

Za proizvodnju drvenog ugljena najčešće se koriste sušionice opeke. Njihova veličina može varirati između 30 do 40 m<sup>3</sup>. Prosječna sušionica može primiti otprilike 25 m<sup>3</sup> drva i proizvoditi od 5 do 6 tona drvenog ugljena.

Ovisno o vrsti gradnje postoji nekoliko načina za rukovodstvo proizvodnje. Jedna od tipova sušionica ima otvor za punjenje na vrhu i mali ispušni otvor oko donjeg dijela zidova sušionice. Nakon punjenja, drvo se pali i zatim karbonizira od dna prema vrhu sušionice. Ispušni otvor se drži otvorenim sve dok temperatura ne dostigne 180 °C, nakon čega se zatvara. U kasnijim fazama proizvodnje koristi su za regulaciju ispušnih plinova.

Druga vrsta sušionice ima otvor za punjenje u donjem dijelu, i pali se na vrhu (ispušni otvor). Karbonizacija se odvija od vrha prema dnu sušionice.

Zahvaljujući činjenici da ne postoji specijalizirana tehnologija za proizvodnju, proizvodni krug je jednostavan i traje otprilike petnaest dana. Nakon punjenja sušionica, drvo se pali i ostavlja zatvoreno deset dana, sve do završetka karbonizacije. Temperatura u sušionici iznosi od 250 do 350 °C. Nakon deset dana otvaraju se svi otvori i ostavlja se u tom stanju sljedećih pet dana u svrhu hlađenja drvenog ugljena. Ohlađeni drveni ugljen se lomi i pakira.

U skladu s provedenim ispitivanjima s proizvođačima i s obzirom na nabavu sirovine, može se reći da su najvažniji dobavljači Hrvatske šume i industrije za obradu drveta, zbog čega se nabava sirovina smatra održivom i nema utjecaja na okoliš.

Prašine i krhotine drvenog ugljena se mogu koristiti u proizvodnji briketa. Mali proizvođači najčešće prodaju prašinu i krhotine proizvođaču koji posjeduje tehnologiju za proizvodnju briketa.

Zahvaljujući činjenici da postoji samo nekoliko registriranih proizvođača drvenog ugljena koji imaju relativno stabilnu proizvodnju, ne postoje dokumentirani podaci tradicionalne proizvodnje drvenog ugljena. Kako je razine proizvodnje relativno mala, zakon ih ne obvezuje na nadzor okoliša.

## 9. Zaključak

U početnom dijelu ovoga rada drveni ugljen je uspoređen s fosilnim ugljenom gdje se pokazalo da su razlike prisutne i da drveni ugljen ima i određene prednosti u odnosu na fosilni ugljen, ponajviše u pogledu ogrjevnog vrijednosti i utjecaja na okoliš. Međutim, drveni ugljen zahtjeva proizvodnju što podrazumijeva određeni financijski trošak i štetnost po okoliš, ovisno o načinu proizvodnje.

Nakon toga se pristupilo analizi osnovnih načina i mogućnosti proizvodnje drvenog ugljena, od onih tradicionalnih u zemljanim pećima do razvijenijih načina proizvodnje u pećima s više ognjišta i retortama. Također su analizirane i neke sirovine koje se koriste u proizvodnji drvenog ugljena kako bi se pokazalo da pojedina sirovina može utjecati na kvalitetu drvenog ugljena, odnosno na njegov prinos i ogrjevnu vrijednost.

Mogućnost primjene drvenog ugljena je široka – od industrijske primjene (kemijska industrija i metalurgija) do primjene u kuhanju. Osim toga, primjena drvenog ugljena razlikuje se ovisno o tome da li se radi o primjeni u zemljama u razvoju gdje se koristi prvenstveno za kuhanje, ili o primjeni u razvijenijim zemljama gdje se drveni ugljen koristi ponajviše u industriji i vanjskom rekreacijskom kuhanju.

Prilikom proizvodnje i korištenja drvenog ugljena nužno nastaju i nusprodukti koji se mogu iskoristiti za različite svrhe ili ispuštati u okoliš ali na način da se minimalizira njihov negativan utjecaj.

Također je detaljno prikazan utjecaj drvenog ugljena na okoliš i zdravlje ljudi tijekom njegove proizvodnje, korištenja i odlaganja ostataka. Dokazano je da se njegovi štetni utjecaji međusobno razlikuju po veličini i važnosti ovisno o praksama gospodarenja šumama i tehnologijama koje se primjenjuju tijekom životnoga vijeka drvenog ugljena.

U završnom dijelu rada dan je prikaz načina proizvodnje, količina i utjecaja na okoliš drvenog ugljena u južnom dijelu Brazila (najvećem proizvođaču drvenog ugljena), tropskim krajevima svijeta (najvećim potrošačima drvenog ugljena) i Hrvatskoj. Naglasak je ipak stavljen na proizvodnju drvenog ugljena u Hrvatskoj i utjecaju pojedine proizvodnje na okoliš. Belišće je najveći proizvođač drvenog ugljena u Hrvatskoj i jedini posjeduje razvijenu proizvodnu tehnologiju. Osim Belišća, u Hrvatskoj je registrirano još 10 manjih proizvođača drvenog ugljena.

## Literatura

- [1] Domac J., Benković Z., Starčić T.: Razvitak održive industrije drvenog ugljena, Šumarski list, 2008., br. 11-12, 555-561
- [2] Šilić Đ., Stojković V., Mikulić D.: Goriva i maziva, Veleučilište u Velikoj Gorici, Velika Gorica, 2012.
- [3] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005.
- [4] Domac J., Trossero M.: Ekološki aspekti u proizvodnji drvenog ugljena u Hrvatskoj, Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, Zagreb, 2008.
- [5] Charcoal Production, Energypedia, 2015.
- [6] Biomass (Technical Brief), Howtopedia, 2010.
- [7] Energy & Environment: Household Energy Developments in Southern and East Africa, Household Energy Network, 2010.
- [8] Making Charcoal – The Retort Method, Autonopedia, 2012.
- [9] Forest Products Laboratory: Charcoal Production, Marketing and Use, Wisconsin, 1961.
- [10] Syred C., Griffiths A. J., Syred N., Beedie D., James D.: A clean, efficient system for producing Charcoal, Heat and Power (CHaP), Fuel, 2006., br. 85, 1566-1578
- [11] Sugumaran P., Seshadri S.: Evaluation of selected biomass for charcoal production, Journal of Scientific & Industrial Research, 2009., br. 68, 719-723
- [12] Kammen D. M., Lew D. J.: Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal, Energy and Resources Group & Goldman School of Public Policy University of California, Berkeley, 2005.
- [13] Galović A.: Termodinamika II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [14] Muylaert M. S., Sala J., Marcos Aurelio Vasconcelos de Freitas: The charcoal production in Brazil – process efficiency and environmental effects, Renewable Energy, 1999., br. 16, 1037-1040
- [15] Gabriel Meneghetti Fae Gomes, Encarnacao F.: The environmental impact on air quality and exposure to carbon monoxide from charcoal production in southern Brazil, Environmental Research, 2012., br. 116, 136-139
- [16] Chidumayo E. N., Gumbo D. J.: The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world – A synthesis, Energy for Sustainable Development, Lusaka, 2012.

