

# Alternativna goriva u industriji cementa

---

Jerković, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*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:149:947448>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-24**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE**  
**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**Ivana Jerković**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, rujan, 2015 god.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE**  
**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**Ivana Jerković**

**ALTERNATIVNA GORIVA U INDUSTRIJI CEMENTA**

**Diplomski rad**

**Voditelj rada: izv.prof. dr.sc. Igor Sutlović**

**Članovi ispitnog povjerenstva:**

**izv.prof. dr.sc. Igor Sutlović**

**prof. dr.sc. Veljko Filipan**

**izv.prof. dr.sc. Vladimir Dananić**

**Zagreb, rujan, 2015. god.**

## SAŽETAK / SUMMARY

U posljednjih nekoliko godina upotreba alternativnih goriva u cementnoj industriji je privukla veliku pozornost zahvaljujući svojoj efikasnosti u zamjeni toplinske energije od fosilnih goriva i smanjenjem štetnih emisija. Alkalno okruženje, visoke temperature i dugo vrijeme zadržavanja omogućavaju suspaljivanje širokog raspona otpada i opasnih materijala u rotacionoj peći. U ovom radu su navedena različita potencijalna alternativna goriva koja se mogu koristiti ili koriste u cementnoj industriji. Alternativna goriva su analizirana na osnovu kalorijske vrijednosti, prednosti, nedostataka te utjecaja na okoliš, emisija CO<sub>2</sub>.

Ključne riječi: alternativna goriva, suspaljivanje, rotaciona peć, kalorijska vrijednost, emisije

In recent years utilisation of alternative fuels in cement manufacturing has gained a wide attention due to its effectiveness in substituting the thermal energy requirement from fossil fuels and reducing the pollutant emission. Alkaline environment, high temperature and long residence time allow rotary kiln to burn a wide range of waste and hazardous material. This study introduces different potential alternative fuels that can be used or are used in the cement manufacturing industry. Alternative fuels have been analysed on the ground of their calorific values, advantages, disadvantages and environmental impact, emissions CO<sub>2</sub>.

Key words: alternative fuels, co-combustion, rotating kiln, calorific value, emission

## SADRŽAJ

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD.....                                                                 | 1  |
| 2. TEHNOLOŠKI PROCESI U PROIZVODNJI CEMENTA.....                             | 2  |
| 2.1. Pridobivanje sirovine.....                                              | 3  |
| 2.2. Priprema (mljevenje i homogenizacija) sirovine.....                     | 4  |
| 2.2.1. Mlin sirovine.....                                                    | 4  |
| 2.3. Pečenje klinkera i proizvodnja cementa.....                             | 8  |
| 2.3.1. Rotaciona peć.....                                                    | 9  |
| 2.4. Mljevenje cementa.....                                                  | 11 |
| 2.5. Skladištenje u silosu i otprema.....                                    | 11 |
| 3. ALTERNATIVNA GORIVA U PROIZVODNJI CEMENTA.....                            | 12 |
| 3.1. Korištenje alternativnih goriva.....                                    | 12 |
| 3.2. Podjela alternativnih goriva.....                                       | 14 |
| 3.3. Suspaljivanje alternativnih goriva u cementnim pećima.....              | 15 |
| 3.4. Najčešće korištena alternativna goriva.....                             | 17 |
| 3.4.1. Rabljene gume.....                                                    | 17 |
| 3.4.2. RDF/SRF.....                                                          | 19 |
| 3.4.3. Mesno koštano brašno.....                                             | 22 |
| 3.4.4. Biomasa.....                                                          | 23 |
| 3.4.4.1. Otpadni mulj.....                                                   | 23 |
| 3.4.4.2. Biomasa iz poljoprivrede.....                                       | 25 |
| 4. UPORABA ALTERNATIVNIH GORIVA U TVORNICI CEMENTA SV. JURAJ, CEMEX D.D..... | 26 |
| 4.1. Biomasa – komina iz maslina.....                                        | 26 |
| 4.1.1. Osnovne značajke komine masline.....                                  | 26 |
| 4.1.2. Tehnološki proces korištenja komine kao alternativnog goriva.....     | 29 |
| 4.2. Otpadno ulje.....                                                       | 31 |
| 4.2.1. Količina i dostupnost otpadnog ulja.....                              | 31 |
| 4.2.2. Značajke otpadnog ulja u proizvodnji cementa.....                     | 34 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 5. REZULTATI.....  | 36 |
| 6. RASPRAVA.....   | 45 |
| 7. ZAKLJUČAK.....  | 48 |
| 8. LITERATURA..... | 49 |

## 1. UVOD

Industrija cementa u proizvodnom procesu koristi velike količine sirovih materijala te toplinske i električne energije. Toplinska energija u proizvodnji cementa zauzima 20 – 25% od ukupnih troškova proizvodnje cementa. U procesu proizvodnje toplinska energija se uglavnom koristi tijekom sagorijevanja dok se najveći dio električne energije koristi za usitnjavanje cementa.

Općenito fosilna goriva kao što su ugljen, petrolkoks i prirodni plin omogućavaju toplinsku energiju koja je potrebna za cementnu industriju. Zamjena fosilnih goriva sa alternativnim gorivima postaje sve očiglednija u proizvodnji cementa zbog sve većih cijena fosilnih goriva kao i njihovim ograničenim resursima. U alternativna goriva ubrajamo sva ne-fosilna goriva i otpad iz drugih industrija uključujući rabljene gume, ostatke iz biomase, otpadni mulj i različiti komercijalni otpad.

Osim ekonomske dobiti velika prednost se može ostvariti i sa ekološke strane ako zamijenimo fosilna goriva alternativnim gorivima smanjujući otpad sa odlagališta ali i smanjujući emisije. Cementna industrija je pod velikim pritiskom da smanji emisije jer ispušta velike količine CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>. Procijenjeno je da 5% globalnog ugljičnog dioksida proizlazi iz cementne industrije[8.5.].

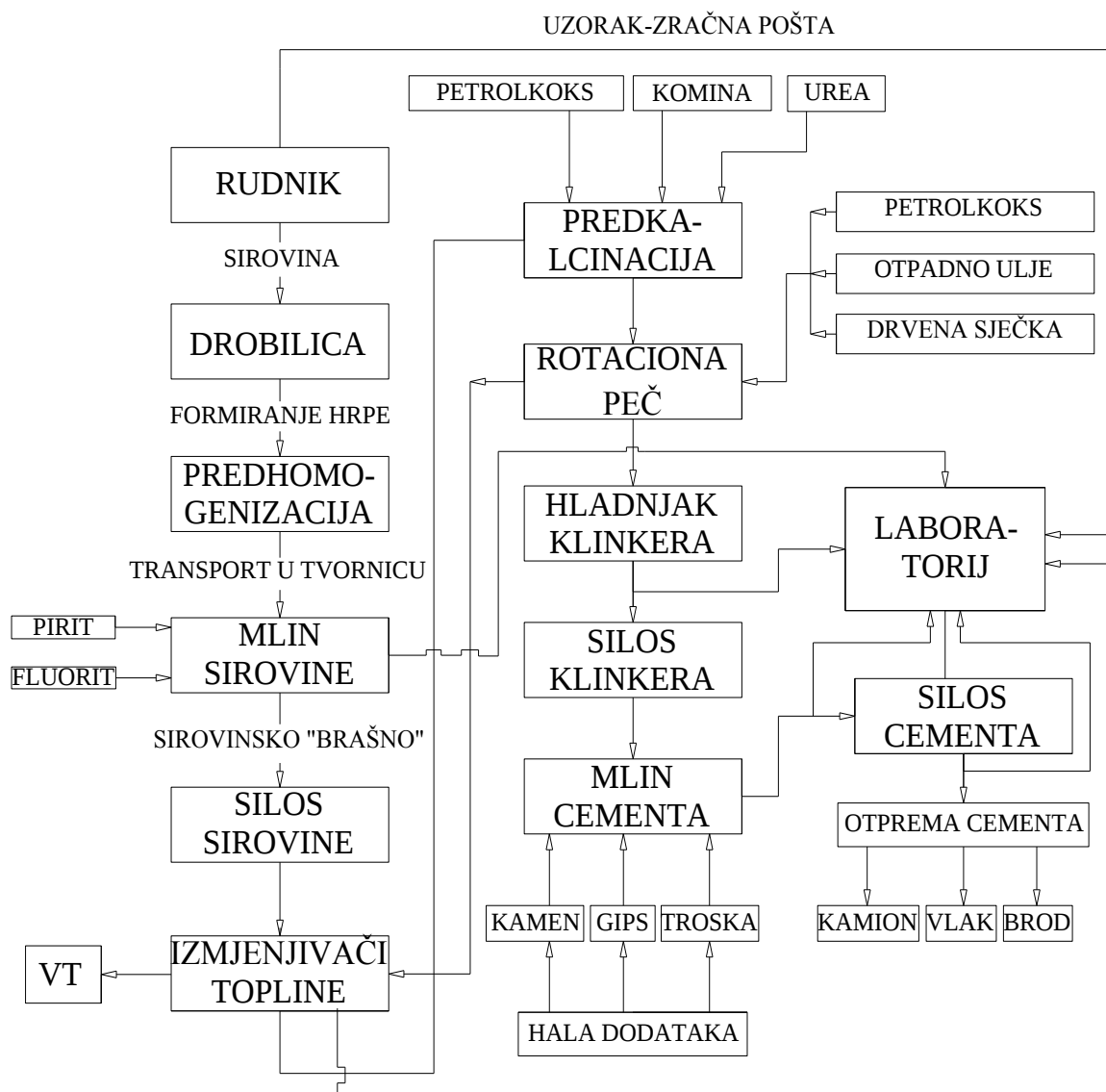
Kyoto je napravio važni preokret u naporima da se promovira upotreba obnovljive energije kao ključna strategija u smanjenju stakleničkih plinova diljem svijeta. Potpisivanjem Protokola iz Kyota Republika Hrvatska se pridružila skupini zemalja kojima je propisano kvantificirano ograničenje emisije stakleničkih plinova. Iz svega navedenoga se zaključuje da se smanji upotreba fosilnih goriva i da se pronađe odgovarajuća paleta alternativnih goriva koji bi adekvatno zamijenili fosilna goriva a da konačni proizvod ne gubi na kvaliteti.

## 2. TEHNOLOŠKI PROCESIU PROIZVODNJI CEMENTA

Osnovni dijelovi tehnološkog procesa u proizvodnji cementa su:

- Pridobivanje sirovine
- Priprema i mljevenjesirovinske smjese
- Pečenje klinkera i proizvodnja cementa
- Mljevenje cementa i skladištenje u silosu
- Pakiranje i otprema

Slika 1. Blok shema pogona proizvodnje cementa od rudnika do konačnog proizvoda



## 2.1. Pridobivanje sirovine

Eksploatacijom se mineralna sirovina, tupina (kalcij karbonat, vapnenac i lapor) odvozi do drobiličnog postrojenja. Drobljenje sirovine odvija se u drobilici koja ima dva rotora s čekićima koji u protusmjernoj rotaciji zahvaćaju, udarcima lome i usitnjavaju sirovinu. Prostor ispod samih rotora zadržava prolaz sirovine dok se ne postigne odgovarajuća granulacija od 30 mm.

Zdrobljena mješavina zbog postizanja što ujednačenijeg kemijskog sastava se transportira na deponij (hrpu) na skladištu izgrađenom na principu staze za miješanje gdje se primjenjuje kombinirani postupak skladištenja sirovine i njene predhomogenizacije (slika 2). Postupak predhomogenizacije je bitan kako bi se dobio što ujednačeniji kemijski sastav koji je važan za kvalitetu i svojstva cementa.



Slika 2. Predhomogenizacija sirovine

Kvalitativno praćenje ulaznog materijala na hrpu ostvaruje se automatskim kontinuiranim satnim uzorkovanjem iz dolaznog toka materijala. U svrhu dobivanja reprezentativnih uzoraka instalirano je postrojenje ispitne stanice u kojem se kontinuiranim oduzimanjem dijela materijala iz ulaznog toka prema hrpi i njegovim višekratnim dijeljenjem, mljevenjem i sušenjem u struji vrućeg zraka te homogenizacijom u mješaču dolazi do potrebite količine uzorka koja se kapsulira i otprema zračnom poštom u laboratorij tvornice na analizu. Na osnovu ovih podataka izračunava se sastav hrpe u promatranom trenutku, kao i potrebni sastav ulazne mješavine za korekciju u cilju dobivanja postavljenih vrijednosti.

## **2.2. Priprema (mljevenje i homogenizacija) sirovine**

Sirovina se trakastim transporterom doprema iz rudnika. Sirovina i dodaci se skladište u bunkerima u krugu postrojenja, a sastoje se od:

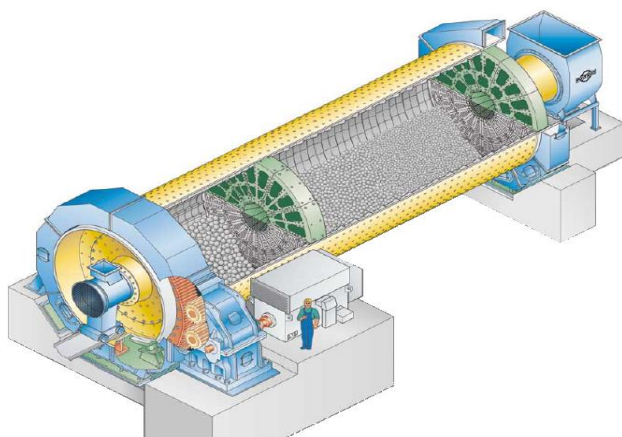
- Prihvatnog bunkera 1 – bunker koji služi za prihvat sirovinekoja se transportira trakama iz hale za grubu homogenizaciju.
- Prihvatnog bunkera 2 – bunker koji služi za prihvat kamena vapnenca koji se transportira iz rudnika kako bi se, po potrebi, miješanjem sa sirovinom prihvatnog bunkera 1 podigla silikatna komponenta.
- Prihvatni bunker dodataka - dva betonska bunkera koji služe za prihvat korektivnog materijala fluorita i pirita.

Sirovina i dodaci se sistemom dozirnih vaga doziraju i transportnom trakom dopremaju do mlina sirovine.

Ovaj dio postrojenja kao i sva presipna mjesta su otprašivana preko vrećastog otprašivača učinka 450m<sup>3</sup>/min.

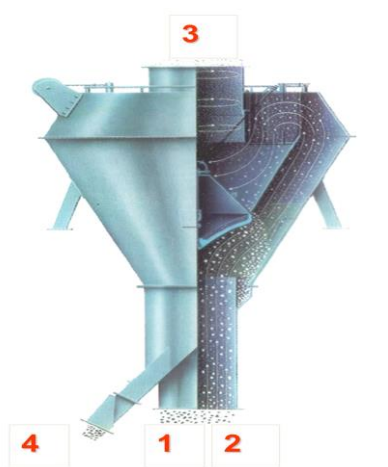
### **2.2.1. Mlin sirovine**

Mljevenje sirovine vrši se u dvokomornom rotacionom mlinu. Sirovinske komponente s vaga doziraju se u komoru za sušenje s kuglama za mljevenje (slika 3.). Mlin se sastoji od dvije komore za meljavu, komore za sušenje materijala i centralnog ispusta. Ovdje se sirovina melje te istovremeno suši toplim dimnim plinovima iz rotacijske peći. Kapacitet meljave je 255 t/h kod finoće od 16% ostatka na (situ) od 4900 oka na cm<sup>2</sup>. U I komori mlina, sirovina se suši i melje na krupniju granulaciju, a II komori mlina vrši se meljava povrata na finu granulaciju.



Slika 3. Presjek mlina

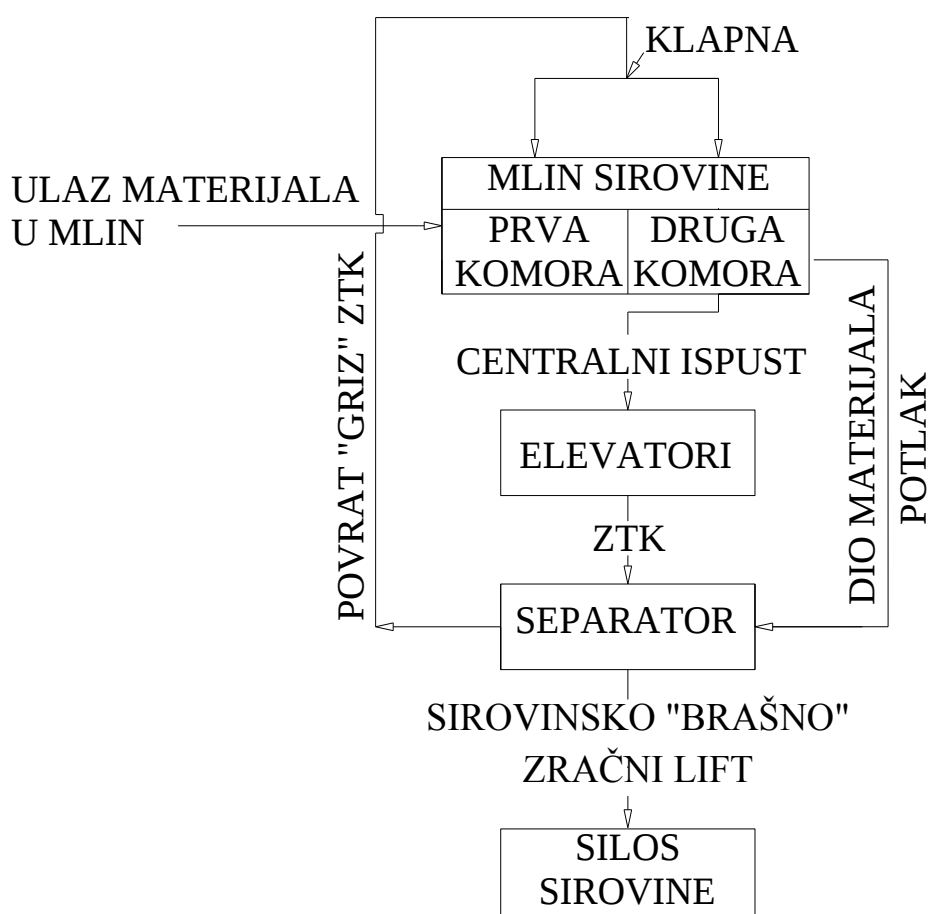
Osušeni i samljeveni materijal se preko centralnog ispusta iz mlina, te preko zračnog transportnog korita transportira do dva elevatora. Dio samljevenog materijala se iz centralnog ispusta mlina podiže podtlakom kroz cjevovod, te odlazi direktno u separator. Ostali materijal se dalje transportira sistemom zračnih transportnih korita (ZTK) u separator. Separator (slika 4.) kapaciteta 350 [t/h] separira sirovinsko brašno od „griza“ na finoću od 16% ostatka na situ od 4900 oka/cm<sup>2</sup>. Kroz ispust separatora izlazi „griz“ koji se preko transportnih korita, te preko mjerača protoka transportira natrag u mlin, i to u prvu, odnosno drugu komoru mlina. Količina materijala koja se vraća u pojedinu komoru može se regulirati klapnom. Taj dio materijala koji nema zadovoljavajuću granulaciju i vraća se natrag u mlin naziva se povrat.



- 1 - unos materijala
- 2 - dovod zraka
- 3 - pripremljena sirovina i izlaz zraka
- 4 - povrat krupne sirovine

Slika 4. Separator sirovine

Fino usitnjenosirovinskobrašno koje zadovoljava postavljene tehnološke veličine transportira se sistemom zračnih korita i zračnog lifta u silos sirovinskog brašna (slika 5.). Silos sirovinskog brašna osim kao skladište, služi i za konačnu homogenizaciju sirovinskog brašna koja se izvodiposebnim sistemom punjenja i pražnjenja silosa preko zračnih korita koja su smještena u vidu lepeze.



Slika 5. Blok shema mlin sirovine – silos sirovine

Sirovinsko brašno koje se transportira podtlakom ide kroz cjevovod do ciklona. Ovi cikloni vrše odvajanje prašine od plina. Prašina, koja se akumulira na dnu ciklona se preko ćelijskog dozatora ispušta u zračni koritasti transporter, te odatle u zračni lift i silos sirovinskog brašna.

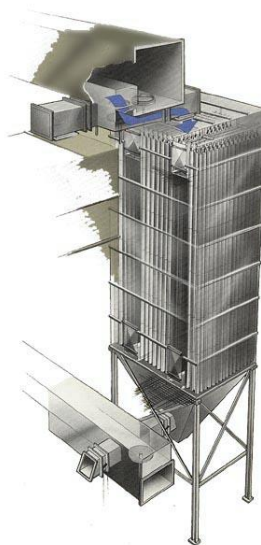
Plinovi odvojeni od prašine u ciklonima se izvlače iz postrojenja mlina optočnim ventilatorom i transportiraju u vodotoranj. Vodotoranj ima svrhu hlađenja otpadnih plinova na temperaturu

koja je dopuštena za rad vrećastog filtera i smanjivanja dijela prašine koja dolazi sa plinovima. Hlađenje struje plinova postiže se na nekoliko načina:

- ubrizgavanjem vodene magle u struju vrućih plinova. Pomoću pumpe vodu podtlakom dovodi se na set mlaznica gdje se ona raspršuje u finu maglu i u struji plinova isparava.
- uvođenjem svježeg zraka u struju plinova. Ovaj način hlađenja se koristi u kombinaciji s ubrizgavanjem vodene magle pri naglim porastima opterećenja.
- uvođenjem otpadnog plina iz mlina sirovine. Otpadni zrak iz procesa mljevenja sirovine pomoću optoćnog ventilatora mlina se ubacuje u vodotoranj preko klapne. Otpadni plin iz mlina sirovine ima značajno nižu temperaturu od otpadnih plinova peći.

Otpadni plin iz vodotoranja se usmjerava prema vrećastom filteru peći (slika 6). Filter peći je podijeljen u 8 komora gdje se ravnomjerno distribuiraju plinovi koji ulaze u filter kroz ulazni otvor.

Slika 6. Vrećasti filter

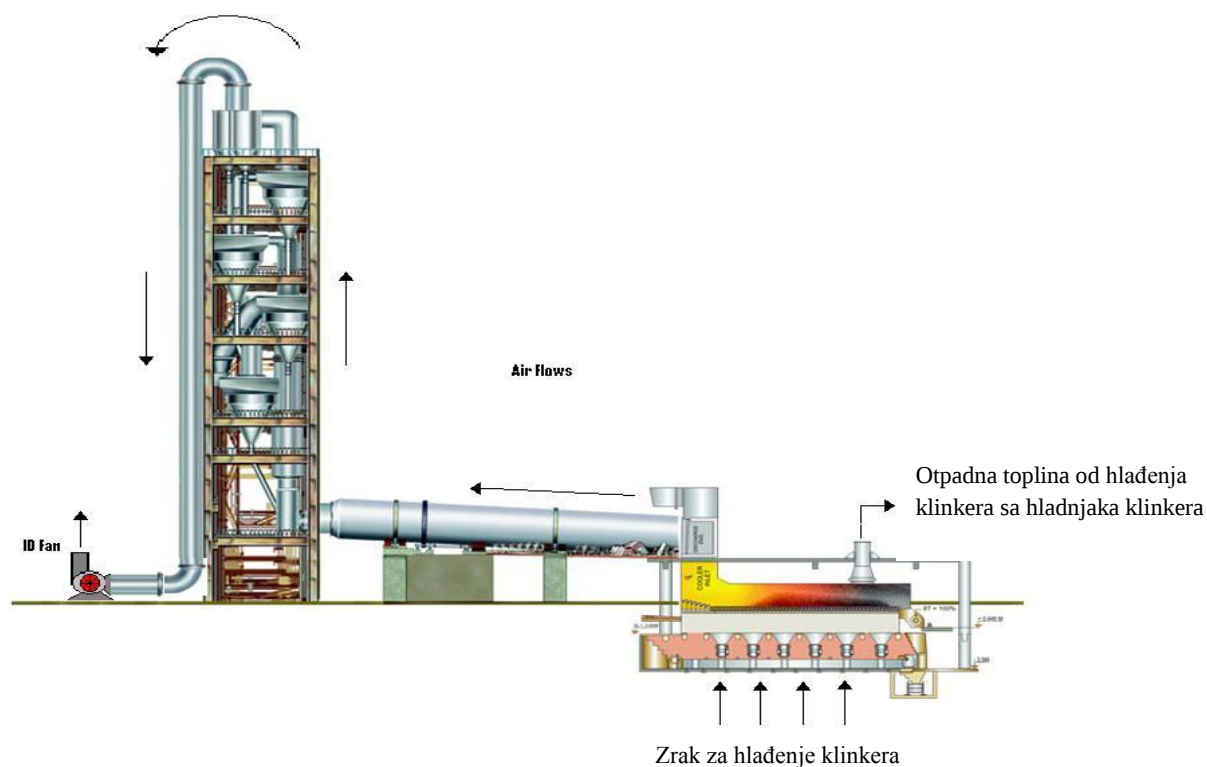


### 2.3. Pečenje klinkera i proizvodnja cementa

Homogenizirano sirovinsko brašno iz silosa se transportira zračnim koritima i elevatorom u spremnik vage peći. Sirovinsko brašno se dozira preko vage na vrh ciklonskog izmjenjivača topline.

U izmjenjivaču topline Polysius tip „Prepol“ sa 4 stupnja, vrši se izmjena topline između vrućih plinova iz peći i sirovine. Vrući plinovi iz peći se izvlače pomoću ispušne cijevi (slika 7). Naizmjenice istostrujnim i protustrujnim prijenosom topline, izlazni plinovi peći se hlade na 300-360°C, a sirovinsko brašno se zagrijava na temperaturu od 950°C.

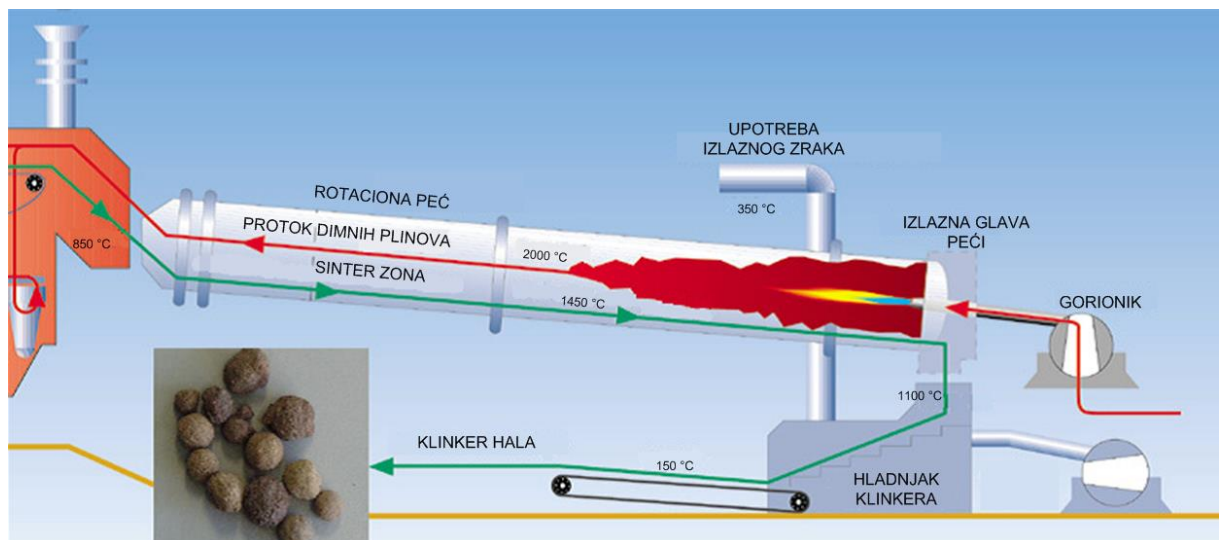
Da bi se pospješila kalcinacija, proces razgradnje  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) u ulaznoj komori peći ili predkalcinatoru vrši se loženje mazutom ili ugljenom tako da sirovina prije ulaska u peć bude 80 – 90% predkalcinirana. Kod ovog sistema cijeli zrak potreban za izgaranje goriva dolazi kroz peć i to uz temperaturu od cca 900°C.



Slika 7. Strujanje zraka povratnih plinova

### 2.3.1. Rotaciona peć

Rotaciona peć je u osnovi čelični cilindar dimenzija 4,6m/5m x 70 m, izolirana je sa unutarnje strane vatrostalnom oblogom, a maksimalan broj okretaja iznosi 3,8 okretaja u min..Blago je nagnuta na jednu stranu pod nagibom od 3,5% , a cijela peć leži preko tri prstena na rolnama i pogonjena je preko elektromotora snage 600 kW. Pomoćni pogon peći koji je napajan iz mreže i preko agregata osigurava nesmetanu rotaciju peći sa smanjenim brojem okretaja u slučaju kvara ili nestanka električne energije, a u svrhu sprječavanja iskrivljenja peći. Na donjem dijelu rotacione peći se nalazi plamenik dok na gornjem kraju ulazi sirovina (slika 8.).



Slika 8. Rotaciona peć za proizvodnju klinkera

Zagrijano sirovinsko brašno, koje je u izmjenjivaču topline već predkalcinirano ulazi u rotacionu peć sa temperaturom od cca 850°C i u protustruji s dimnim plinovima počinje pečenje klinkera. Pečenje se odvija u rotacijskoj pećina temperaturi od oko 1450°C gdje CaO stupa u reakciju sa silicijevim dioksidom, glinicom i željezo oksidom. Kod povoljnih uvjeta izgaranja temperatura plamena dostiže temperaturu do 2000°C. Isto tako zrak potreban za izgaranje goriva ulazi u peć predgrijan, na 800 do 900°C gdje nakon zadržavanja od 5 do 7 sekundi plinovi sagorijevanja još uvijek imaju temperaturu od 1100°C do 1200°C. To omogućava potpunu razgradnju i razaranje svih organskih spojeva. U tablici 1. prikazan je pregled temperatura u pećima.

| Parametar                       | Cementna peć  |
|---------------------------------|---------------|
| Najviša temperatura plamena     | >2.200°C      |
| Najviša temperatura materijala  | 1.450-1.500°C |
| Zadržavanje plinova >1.100°C    | 6-10 sekundi  |
| Zadržavanje materijala >1.100°C | 20-30 minuta  |
| Oksidacijska atmosfera          | da            |

Tablica 1. Pregled temperatura u pećima

Urotacijskoj peći dolazi do dovršetka dekarbonizacije i nastajanja klinker minerala, a u zoni hlađenja i hladnjaku završava se kristalizacija. U hladnjaku klinkera, roštiljnog tipa, klinker se hladi sa 1370°C na cca 80-90°C.

Klinker ohlađen u hladnjaku drobi se u drobilici i transportira u klinker halu. Sustav peći i izmjenjivača topline otprašuje se vrećastim otprašivačem (filterom), a odvojene čestice transportiraju u silos sirovine.

Sirovinsko brašno u određenim zonama peći i temperaturnim intervalima, visokotemperaturnim reakcijama prelazi u određene minerale klinkera. Neki od minerala nastaju reakcijom odmah učvrstom stanju, dok drugi u talini i tek kristalizacijom dijela taline u hladnjaku klinkera procesom hlađenja poprimaju svoju konačnu formu.

Konačni proizvodje klinker u obliku granula, tamno smeđe boje i veličine 1-25mm. Dnevni kapacitet rotacijske peći u postrojenju Sveti Juraj je 3 200t/dan.

Sustav FLS QCX kontrolira kemijski sastav sirovinskog brašna uzorkovanjem ispred vage peći. Kontrolu fizikalno-kemijskog sastava klinkera provodi laboratorij uzorkovanjem iza hladnjaka klinkera sustavom FLS QCX, te sliku pečenja i hlađenja minerala optičkim mikroskopom.

## **2.4. Mljevenje cementa**

U završnoj fazi ohlađeni klinker će se fino samljeti uz dodatak gipsa dihidrata i ostalih dodataka u konačni proizvod cement. U tvornici se nalaze dva mlina cementa kapaciteta 120t/h svaki.

Mljevenje se odvija u mlinu cementa koji se sastoji od dvije komore s pripadajućim asortimanom kugli. Komponente za proizvodnju cementa doziraju se preko vaga u mlin cementa. Sanljeveni se materijal transportira zračnim koritima i elevatorom do frekventno reguliranog separatora gdje se finalni materijal odvaja i transportira zračnim liftom u silos cementa. Grube čestice se vraćaju u prvu komoru mlina i drugu komoru mlina. Odvojene čestice iz sustava za otprašivanje transportiraju se dijelom u finalni proizvod zbog visoke finoće ili se mogu vratiti ponovno u separator, ako je potrebno.

Ovisno o vrsti cementa koja se proizvodi, upotrebljavaju se različite ulazne komponente. Tijekom materijala, reguliranjem vaga i ostalim procesnim veličinama upravlja upravljač iz centralne upravljačke prostorije.

## **2.5. Skladištenje u silosu i otprema**

Cement koji zadovoljava postavljene tehnološke veličine transportira se u silos cementa. Cement se otprema u rasutom stanju u kamionima i brodovima, te uvećano kamionima i željeznicom dok se klinker otprema u rasutom stanju brodovima.

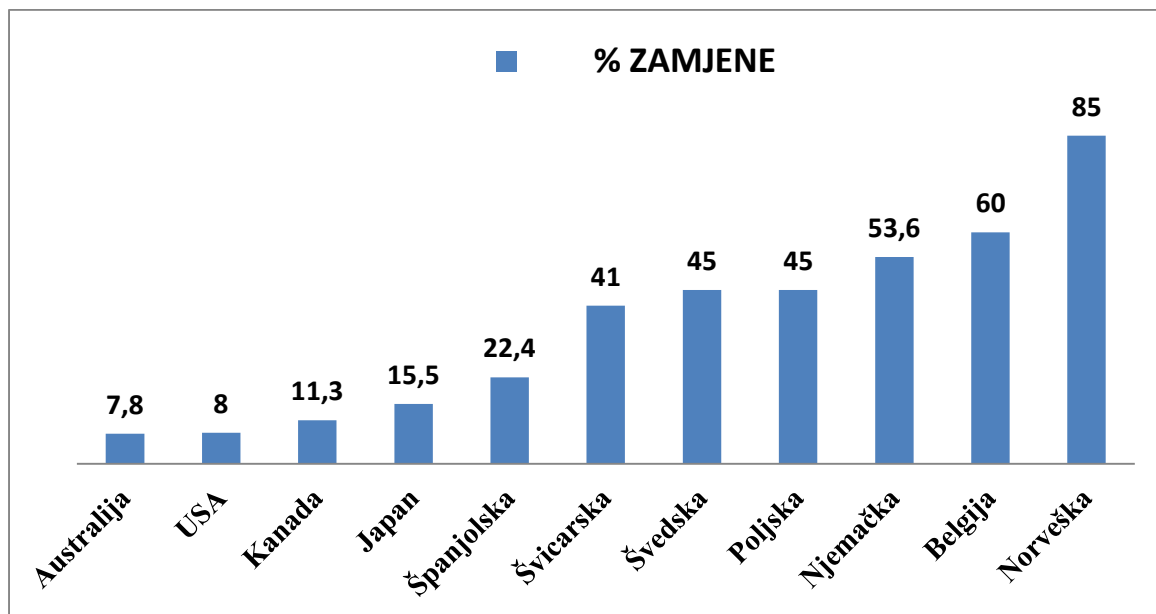
### **3. ALTERNATIVNA GORIVA U PROIZVODNJI CEMENTA**

Alternativna goriva su razne vrste obrađenog otpadnog materijala koji ostaje nakon što se iskoriste sve mogućnosti ponovne upotrebe ili reciklaže, a koja imaju određenu ogrijevnu vrijednost. Također su poznata i kao nekonvencionalna ili napredna goriva a uključuju otpadna ulja, obrađeni kruti otpad iz kućanstava, iskorištene gume i biomasu kao što je komina masline, drvena sječka, talog otpadnih voda i slično. Njihovom se upotrebom smanjuju ukupne emisije stakleničkih plinova.

#### **3.1. Korištenje alternativnih goriva**

Početkom 1950-ih godina stare gume su se prvi puta koristile kao alternativno gorivo u cementnoj industriji u Njemačkoj [8.4.]. Dvije svjetske ekonomske recesije početkom 1980-te i 1990-te imale su utjecaj i na industriju cementa na način da su tražili mogućnost smanjenja operativnih troškova. Kako su korištena goriva imala najveći udio u troškovima proizvodnje tako je korištenje alternativnih goriva postala glavna preokupacija za postizanje ekonomske dobiti. Krajem 1980-ih i početkom 1990-ih u Europi i SAD je velika količina opasnog, otpadnog goriva spaljena u cementnim pećima. Tijekom godina, spaljivanje neopasnog, otpadnog goriva kao što su korištene gume je postalo uhodano i dobro prihvaćeno alternativno gorivo u industriji.

Industrija cementa je pod povećanim pritiskom od strane agencija nadležnih za zaštitu okoliša da smanji emisije. Korištenje alternativnih goriva u proizvodnji cementa utječe na smanjenje emisija i ima značajnu ekološku dobit očuvanjem neobnovljivih izvora. Većina Europskih država je značajno ispred ostalih država u svijetu u postotku korištenja alternativnih goriva što se može vidjeti na slici 9 [8.2].



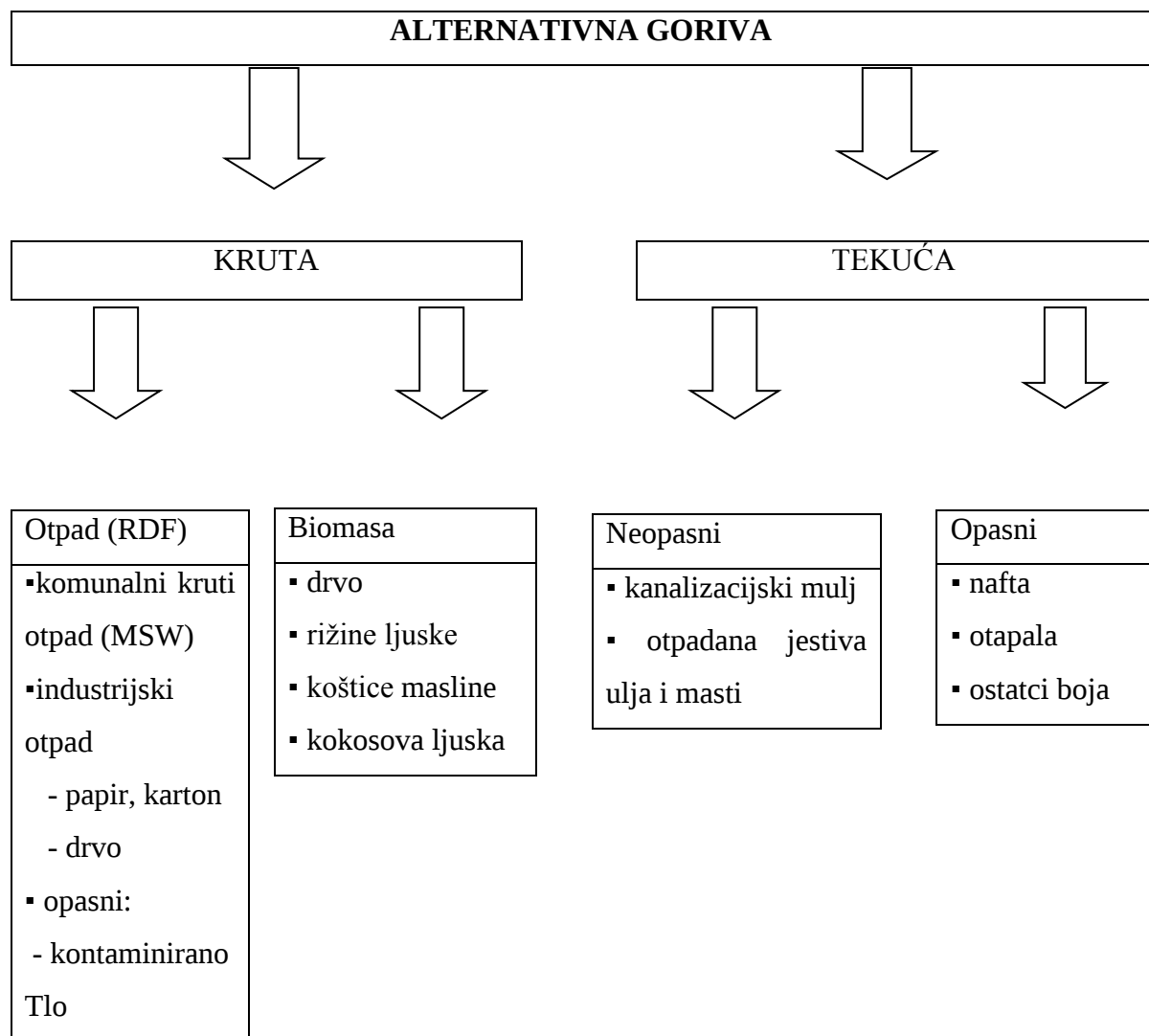
Slika 9. Korištenje alternativnih goriva u različitim zemljama

Vodeći svjetski proizvođači cementa trenutno koriste alternativna goriva u velikoj mjeri. U tablici 2 je prikazan postotak korištenja različite vrste otpadakoja se koristi kao alternativno gorivo [8.2.].

| Vrsta otpada koja se koristi kao AF | Holcim grupa(2011) | Cemex grupa(2011) | Heidelberg grupa(2011) | Italcementi grupa(2011) | Lafarge grupa(2011) |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| Otpadno ulje                        | 5                  |                   |                        | 3.7                     | 8.5                 |
| Tekući otpad                        | 11                 |                   |                        | 4.7                     | 21.9                |
| Gume                                | 10                 |                   | 16                     | 11.6                    | 14.9                |
| Impregnirana piljevina              | 6                  |                   |                        |                         |                     |
| Plastika                            | 9                  |                   |                        | 26.4                    | 4.7                 |
| Industrijski i kućni kruti otpad    |                    |                   | 65                     |                         | 13.8                |
| MBM                                 | 2                  |                   | 4                      | 6.1                     | 15.7                |
| Poljoprivredni otpad                | 9                  |                   | 10                     | 4.2                     | 11.1                |
| Drvena sječka i ostala biomasa      | 15                 |                   | 5                      | 24.5                    |                     |
| Kanalizacijski mulj                 | 2                  |                   |                        | 4.2                     | 1.7                 |
| RDF                                 |                    |                   |                        |                         | 7.8                 |
| Ostala AF                           |                    |                   |                        | 14.6                    |                     |

Tablica 2. Postotak korištenja različite vrste otpada kao alternativnog goriva

### 3.2. Podjela alternativnih goriva



Takodjer postoji podjela alternativnih goriva koja se koriste u cementnoj industriji prema CEMBUREAU (European Cement Association):

- 1. skupina: alternativna goriva u plinovitom stanju (otpadni plin iz rafinerije, plin sa odlagališta),
- 2. skupina: alternativna goriva u tekućem stanju (hidraulička ulja),
- 3.skupina: raspršena, granulirana ili fino usitnjena kruta alternativna goriva (piljevina, granulirana plastika, usitnjene gume),

- 4. skupina: grubo usitnjena, kruta alternativna goriva (usitnjene gume, gumeni/plastični otpad, drvni otpad),
- 5. skupina: kruta alternativna goriva neujednačene veličine (cijele gume, plastične bale).

Kruta alternativna goriva mogu se podijeliti u 4 skupine:

- kruta, suha goriva relativno dobre veličine koja ne prijanjaju (dimenzije: < 2mm, vlažnost: < 10-15%); npr. drvna prašina, prah od kore, rižina ljuska,
- kruta, suha goriva, grube veličine koja ne prijanjaju (dimenzije: < 20mm, vlažnost: < 10-15%); npr. plastični otpad, drvni otpad,
- kruta, suha goriva koja imaju sklonost ljepljenju (dimenzije: < 20mm, vlažnost: < 10-15%); npr. impregnirana drvna prašina, životinjski prah,
- mješavina različitih goriva neujednačene veličine (dimenzije: < 200mm, vlažnost: < 20%); npr. papir i karton.

### **3.3. Suspaljivanje alternativnih goriva u cementnim pećima**

Široki raspon alternativnih goriva se može iskoristiti u cementnoj industriji. Cementne rotacione peći imaju mogućnost sigurnog suspaljivanja različitih materijala zbog posebnosti tehnološkog procesa proizvodnje cementa. Što znači da se cjelokupna masa goriva kao i pepelni ostatak apsorbiraju u klinker, poluproizvod u procesu proizvodnje cementa. Time se postižu dvije važne koristi:

- nema potrebe za dodatnim zbrinjavanjem pepela,
- a zbog iznimno visoke temperature u peći od 1450°C do 2000°C organski se dijelovi razore, a štetne supstance poput teških metala čvrsto se ugrađuju u minerale klinkera. Oni na taj način postaju inertni, odnosno imobilizirani, i nemoguće ih je ponovno aktivirati bilo kakvim mehaničkim djelovanjem pa tako ni isprati vodom.

Međutim, suspaljivanje različite vrste otpada zahtjeva detaljnu kontrolu i prilagodljivost tehnološkog procesa svakoj vrsti otpada. Alternativna goriva proizvedena iz otpada imaju

sličnu strukturu i svojstva. Sljedeća svojstva trebaju se uzeti u obzir prije korištenja alternativnog goriva:

- **fizikalno stanje goriva (kruto, tekuće, plinovito),**
- **sadržaj elemenata (Na, K, Cl, S),**

Približno 95 % klinkera se sastoji od oksida,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dok preostali dio čine tvz. manje komponente. Iako su prisutne u malim količinama ( $<1$ ) u cementnoj industriji se izbjegavaju te manjekomponente jer mogu imati nepovoljan efekt na svojstva produkta i/ili proizvodnog procesa. Jedni od najvažnijih takvih sastojaka su oksidi Na ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) i K ( $\text{K}_2\text{O}$ ) koji se obično nazivaju alkalije. Visoka razina alkalija u cementu može u prisutnosti vlage dovesti do reakcija koje stvaraju gel što povećava vjerovatnost pucanja betona i žbuke.

Alkalijski metali,  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{K}_2\text{O}$  imaju snažan afinitet prema  $\text{SO}_3$ , i ako je u klinkeru prisutno dovoljno sulfata, alkalije su normalno prisutne kao spojevi sulfata,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  i  $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$ . Visoka razina alkalijskih sulfata u cementu utječe na reaktivnost cementa. A s druge strane, ako dovoljno alkalijskih sulfata ne izađe iz peći zajedno sa klinkerom, prisutnost alkalija može imati razoran učinak na proizvodnju, pogotovo na sisteme peći sa visoko djelotvornim izmjenjivačima topline, ciklonima.

- **toksičnost (organske komponente, teški metali),**
- **sastav i sadržaj pepela i sadržaj hlapljivih tvari,**

U većini peći sadržaj pepela iz goriva se ugrađuje u strukturu klinkera i time mijenjaju sastav proizvoda. Glavni spojevi koji se nalaze u pepelu od goriva su spojevi silikata i glinice koji zajedno sa sirovinom čine sastavni dio klinkera. Sastav pepela iz goriva ograničava nivo zamjene većini alternativnih goriva

- **kalorijska vrijednost – više od 14 MJ/kg,**
- **sadržaj klora – manje od 0.2% i sadržaj sumpora – manje od 2.5%,**

Tvari koje najčešće pogađaju rad peći su alkalijski sulfati i alkalijski kloridi. Oni se formiraju u procesu izgaranja sa alkalijama, sulfatnim spojevima i kloridima koji susadržani u gorivu i sirovini. Klor isparava skoro potpuno u sinter zoni (zoni pečenja), zbog visokog tlaka para alkalijskih klorida, dok sulfati imaju uglavnom nizak tlak para u usporedbi sa alkalijskim

kloridima. Alkalijski sulfati isparavaju u malom opsegu u sinter zoni. Alkalijske komponente koje ispare, kondenziraju u predgrijaču uzrokujući začepljenja u kanalima i ciklonima.

- **fizikalna svojstva (veličina otpada, gustoća, homogenost),**

Način gorenja čestice goriva uglavnom ovisi o veličini, gustoći i površini dotičnog goriva. Posebice veće čestice goriva sa višom gustoćom i malom površinom imaju svojstvo da spadnu sa plamena prije potpunog sagorijevanja.

- **svojstvo mljevenja,**

- **sadržaj vlage,**

- **emisije koje se ispuštaju,**

- **kvaliteta cementa i njegova kompatibilnost sa okolinom ne smije se umanjiti,**

- **alternativna goriva trebaju biti ekonomski isplativa,**

- **dostupnost.**

### **3.4. Najčešće korištena alternativna goriva**

#### **3.4.1. Rabljene gume**

Polovne ili istrošene gume predstavljaju otpad iz automobilske industrije. Visoki sadržaj ugljika, visoka toplinska vrijednost od 31 MJ/kg i nizak sadržaj vlage čine gorivo dobiveno iz gume (TDF-Tyre derived fuel) jednim od najčešće korištenih alternativnih goriva u industriji cementa.

Rabljena guma se može u bilo kojem obliku koristiti kao alternativno gorivo u cementnim pećima, od cijele do rabljene gume koja je usitnjena do sitnozrnastog oblika. Fino usitnjena guma se može kombinirati sa usitnjenim ugljenom kada se ubacuje direktno u peć, ali proces odvajanja željeza od gume da bi se napravila sitnozrnasta guma stvara dodatni trošak, dok korištenje cijelih guma ne zahtjeva dodatne troškove.

Jedna dodatna prednost je što gume sadrže željezo. Koristeći gume u peći za proizvodnju klinkera vrijeme zadržavanja u peći je dovoljno dugo za potpuno izgaranje gume, tj. dovoljno dugo da željezne trupove pretvori u komponente željeza koje se ugrade u klinker mineral. U tablici 3 dani su rezultati analize između uobičajeno korištenog fosilnog goriva, petrolkoksa i otpadne gume [8.5].

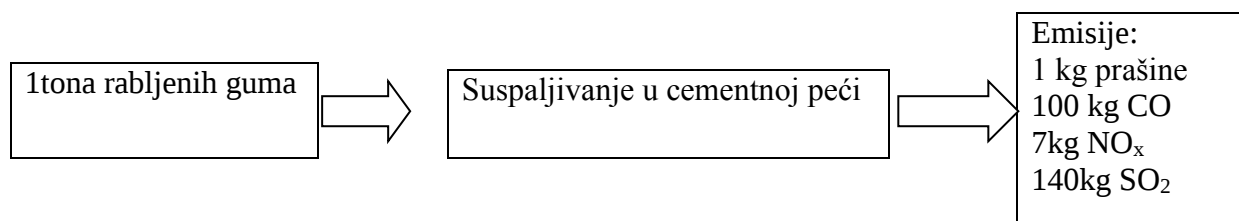
U usporedbi sa ugljenom, čestice SO<sub>x</sub> i NO<sub>x</sub> su u opadanju ili su iste kod korištenja TDF [8.5].

| petrolkoks  | otpadna guma |       |
|-------------|--------------|-------|
| Vlaga (%)   | 1.50         | 0.6   |
| Ugljik      | 89.50        | 71.85 |
| Vodik       | 3.08         | 6.07  |
| Dušik       | 1.71         | 0.20  |
| Sumpor      | 4.00         | 1.06  |
| Kisik       | 1.11         | 1.12  |
| Pepeo       | 0.90         | 19.1  |
| LHV (MJ/kg) | 33.7         | 31    |

Tablica 3. Rezultati analize između otpadne gume i petrolkoksa

Na slici 10 nalazi se shematski prikaz emisija kod spaljivanja 1T rabljenih guma, tj. pokazuje količinu onečišćujućih tvari koje će se povećati ako se 1T rabljenih guma spaljuje zajedno sa fosilnim gorivom [8.2].

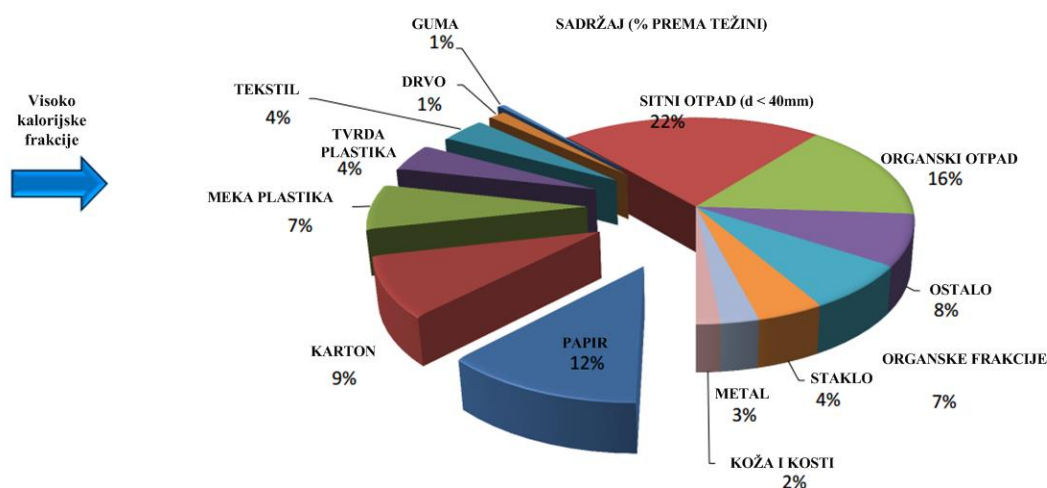
Slika 10. Emisije kod spaljivanja guma



### 3.4.2. RDF/SRF

RDF(Refuse Derived Fuels) ili gorivo iz otpada je vrsta krutog alternativnog goriva čiji sastav čine obnovljivi materijali iz komunalnog ili industrijskog krutog otpada kao što je plastika ili iz materijala koje je teško reciklirati nakon raspadanja.

RDF se obično sastoji od komunalnog otpada koji ostaje nakon što se uklone negorivi materijali kao što je kamen, željezo, šljunak i ostali negorivi materijali. Materijal koji ostaje se naziva RDF-om i koristi se kao sekundarno gorivo u proizvodnji klinkera. Na slici 11. su prikazane izdvojene frakcije otpada iz komunalnog krutog otpada koje se mogu koristiti kao sekundarno gorivo.



Slika 11. Identifikacija potencijalnog otpada koji se može koristiti kao alternativno gorivo

Procesni koraci u dobivanju RDF-a su sljedeći:

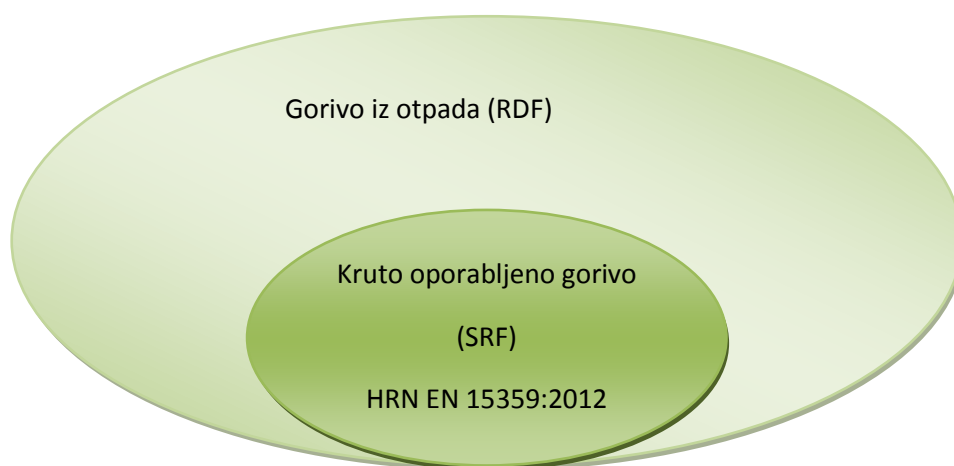
- odvajanje na početku;
- sortiranje ili mehaničko odvajanje;
- reguliranje veličine (drobljenje, ljomljenje i mljevenje);
- odvajanje i pregled;
- miješanje;
- sušenje i peletiranje;
- pakiranje i pohrana.

Komunalni kruti otpad se najprije obrađuje u primarnom usitnjivaču nakon čega slijedi magnetni separator. Nakon toga se šalje na uređaj koji radi na principu odvajanja otpada po težini (ballistic separator) gdje odvaja otpad nisko kalorične vrijednosti. Ostatak otpadnog materijala se pregledava da se ukloni željezo, inertne frakcije (staklo), vlažne frakcije (hrana) prije usitnjavanja materijala. Na ovaj način proizvedeno gorivo iz otpada se zove RDF.

Toplinska vrijednost RDF-a je oko 16 747 kJ/kg. Razlog ovako visoke toplinske vrijednosti je zahvaljujući prisutnosti plastike, papira i kartona u RDF-u. Osim što ima visoku toplinsku vrijednost, jedna od prednosti RDF-a su niži sadržaj vlage i pepela.

Glavni problem kod korištenja ovog goriva je sadržaj klora jer klor ima negativan utjecaj na svojstva, trajnost cementa. Međutim cementne industrije procjenjuju da bi oko 20% toplinskog opterećenja u cementnoj peći moglo biti proizvedeno od RDF-a a da cementna peć u isto vrijeme može spaljivati ostali otpad kao što su gume.[8.6]

Prema *CEN/TS 15357 SRF* (Solid Recovery Fuel), je kruto gorivo dobiveno iz neopasnog otpada. SRF je podvrsta RDF-a pod kojim se podrazumijeva gorivo koje je u skladu sa zahtjevima normi tehničkog odbora *CEN/TC 343*. Možemo reći da je razlika između RDF i SRF što se za RDF ne primjenjuje klasifikacija prema normi HR EN 15359:2012. Na slici 12 je prikazan odnos RDF-a i SRF-a.



Slika 12. Odnos goriva iz otpada (RDF) i krutog oporabljenog goriva (SRF).

Možemo reći da je SRF heterogena grupa goriva jer može biti proizvod iz komunalnog krutog otpada, industrijskog, komercijalnog i konstrukcijskog otpada.

Klasifikacija SRF-a je bazirana na graničnim vrijednostima triju važnih karakteristika goriva, a to su:

- Neto kalorijska vrijednost (NCV), indikator tržišne vrijednosti SRF-a, to je ujedno i najvažnije svojstvo SRF-a jer daje informaciju o vrijednosti SRF-a kao goriva.

- sadržaj klora (Cl), klor nije poželjan u SRF-u jer doprinosi stvaranju korozije. Visoki udio klora će smanjiti tržišnu vrijednost goriva.
- sadržaj žive (Hg), od svih relevantnih teških metala živa je izdvojena kao indikator kvalitete okoliša. Zbog visoke isparljivosti živa je teški metal koji će najvjerojatnije biti emitiran.

Ova tri klasifikacijska svojstva daju trenutni i pouzdani dojam o cjelokupnoj kvaliteti SRF-a. Međutim ove klasifikacije ne daju cjelokupnu informaciju koja mora biti osigurana za specifikacijsku formu. Za spomenuta svojstva utemeljene su klase i to 5 klasa. Svojstva SRF-a mogu biti klasificirana prema tablici 4.

| Klasifikacijska karakteristika   | Statistička Mjera                        | Jedinica | Klase       |             |             |             |             |
|----------------------------------|------------------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  |                                          |          | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           |
| Neto kalorijska vrijednost (NCV) | Srednja vrijednost                       | MJ/kg    | $\geq 25$   | $\geq 20$   | $\geq 15$   | $\geq 10$   | $\geq 3$    |
|                                  |                                          |          |             |             |             |             |             |
| Klasifikacijska karakteristika   | Statistička mjera                        | Jedinica | Klase       |             |             |             |             |
|                                  |                                          |          | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           |
| Klor (Cl)                        | Srednja vrijednost                       | %        | $\leq 0,2$  | $\leq 0,6$  | $\leq 1,0$  | $\leq 1,5$  | $\leq 3$    |
|                                  |                                          |          |             |             |             |             |             |
| Klasifikacijska karakteristika   | Statistička mjera                        | Jedinica | Klase       |             |             |             |             |
|                                  |                                          |          | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           |
| Živa (Hg)                        | Srednja vrijednost bez graničnih uzoraka | mg/MJ    | $\leq 0,02$ | $\leq 0,03$ | $\leq 0,08$ | $\leq 0,15$ | $\leq 0,50$ |
|                                  |                                          | mg/MJ    | $\leq 0,04$ | $\leq 0,06$ | $\leq 0,16$ | $\leq 0,30$ | $\leq 1,00$ |

Tablica 4. Sistem klasifikacije za kruta goriva iz otpada

Proizvodnja krutog goriva iz otpada nije standardiziran proces. Opseg obrade ovisi o tipu otpada koji je zaprimljen kao i o samoj primjeni krutog goriva iz otpada.

U mehaničko biološkim postrojenjima, procesu koji se koristi za proizvodnju krutog goriva iz otpada najprije se visoko kaloričan otpad separira a potom ide na stupanj biološke obrade.

U nekim slučajevima, stupanj biološke razgradnje je dio proizvodnog procesa krutog goriva iz otpada iz razloga da se smanji udio vode. U ostalim slučajevima biološka razgradnja je također uključena u proizvodni proces dobivanja krutog goriva iz otpada ali iz razloga da se smanji organski sadržaj.

### **3.4.3. Mesno koštano brašno**

Mesno koštano brašno (MBM) se proizvodi u postrojenjima za preradu koštanog brašna gdje se životinjske iznutrice i kosti miješaju, usitnjavaju i kuhaju. Loj se ekstrahira tijekom procesa kuhanja a ostatak se suši i usitnjava. S obzirom da je u EU zabranjeno hranjenje stoke koštanim brašnom zbog GSE (goveđa spongiformna encefalopatija), suspaljivanje u cementnim pecima je najprikladniji način da se MBM uništi i samim time iskoristi njegova toplinska vrijednost.

U usporedbi sa ugljenom, MBM ima niži sadžaj ugljika i veći sadržaj pepela i klora. Većina klora u MBM je prisutna kao obična sol (NaCl) dok je sadržaj sumpora neznatno niži nego kod ugljena. MBM ima toplinsku vrijednost 14 – 17 MJ/kg. Visoki sadržaj kalcija u MBM ima prednost jer se kalcij može ponašati na način da zadrži većinu SO<sub>2</sub> koja nastaje prilikom izgaranja MBM [8.2]. Pepee MBM sadrži velike količine fosfata (42%) i kalcija (43%).

Dok je visoki sadržaj kalcija prednost u cementu, visoka razina fosfata može imati negativan utjecaj na proizvodni proces i kvalitetu cementa.

### **3.4.4. Biomasa**

Uloga biomase je, prije svega, u smanjenju stakleničkih plinova. Opterećivanje atmosfere s CO<sub>2</sub> pri izgaranju biomase kao goriva je zanemarivo, budući da je količina emitiranog CO<sub>2</sub> pri izgaranju jednaka količini apsorbiranog CO<sub>2</sub> tijekom rasta biljke. Osim toga, biomasa je izvor energije s kojim se mogu zamijeniti fosilna goriva. Biomasa kao i njezini produkti – tekuća biogoriva i bioplin nije samo potencijalno obnovljiva nego i dovoljno slična fosilnim gorivima da je moguća izravna zamjena.

Ima nekoliko bitnih elemenata u procesu korištenja biomase kao energenta:

- od svih dosadašnjih izvora energije najveći se doprinos u bližoj budućnosti očekuje od biomase;
- posebnu važnost biomasa dobiva zbog problema emisija stakleničkih plinova i globalnog zagrijavanja;
- međunarodna je potreba za smanjenjem rasta količine otpada i njegovog korištenja kao energenta – princip « waste to energy ».

#### **3.4.4.1. Otpadni mulj**

Velike količine otpadnog mulja se proizvodi u svijetu tijekom procesa obrade otpadnih voda. Konvencionalne metode odstranjivanja jesu odlaganje na odlagališta, ispuštanje u more i upotreba u poljoprivredi kao organskog gnojiva. Međutim postoje ekološka i ekonomska ograničenja po pitanju konvencionalnih načina odlaganja. Povećani troškovi odlaganjana odlagalištima zajedno sa sve strožim ekološkim standardima čine konvencionalni način odlaganja na odlagališta sve manje atraktivnijom opcijom. Isto tako nekontroliranim dodavanjem mulja u poljoprivredno zemljište može rezultirati povećanom koncentracijom teških metala u obrađenoj zemlji. Svi ovi navedeni faktori čine toplinsku upotrebu otpadnog mulja jednom od najatraktivnijih načina njegovog upravljanja.

Najprikladniji način alternativnog odlaganja otpadnog mulja je njegovo spaljivanje i odlaganje pepela na kontrolirana odlagališta. Od ukupno proizvedenog mulja u Danskoj se spaljiva 24% , 20% u Francuskoj, 15% u Belgiji, 14% u Njemačkoj, dok se u SAD i Japanu 25 i 55% otpadnog mulja spaljiva .

U gore navedenim zemljama otpadni mulj se koristi u proizvodnji cementa i to obično suspaljivanjem sa ugljenom, a da je mulj prethodno osušen jer je osušeni mulj jednostavniji za pohranu, transport i spaljivanje. Sa ekološkog aspekta spaljivanje otpadnog mulja kao goriva u cementnoj peći je dobro prihvaćeno zbog toga što se spaljivanjem organski dio uništi, a anorganski dio uključujući i teške metale ostaju zarobljeni u produktu (CEMBUREAU, 1997).

Pepeo otpadnog mulja ima visoki sadržaj  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  što može utjecati na kvalitetu cementa ako se koriste pretjerane količine mulja. Raspon različitih elemenata u otpadnom mulju i njegova toplinska vrijednost ovisi o podrijetlu mulja i o procesu obrade samog otpadnog mulja. U tablici 5 prikazana je usporedba sadržaja pepela otpadnog mulja sa cementom [8.5].

Tablica 5. Usporedba sadržaja pepela otpadnog mulja sa cementom.

|                                | Cement (Bye, 1999) | Pepeo otpadnog mulja |
|--------------------------------|--------------------|----------------------|
| CaO                            | 63 – 67            | 9 – 22               |
| SiO <sub>2</sub>               | 19 - 23            | 30 – 49              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3 - 7              | 8 – 15               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.5 - 4.5          | 5 – 23               |
| MgO                            | 0.5 - 2.5          | 1 -2                 |
| K <sub>2</sub> O               | 0.1 – 1.2          |                      |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.07 – 0.4         |                      |
| SO <sub>3</sub>                | 2.5 – 3.5          |                      |

Otpadni mulj ima značajno veći sadržaj dušika, fosfata, isparljivih tvari i pepela i vrlo niski sadržaj ugljika u odnosu na ugljen. Sadržaj sumpora je usporedljiv sa onim koji sadrži ugljen. Toplinska vrijednost (HHV) mulja je u rasponu od 8 – 17 J/kg.

#### **3.4.4.2. Biomasa iz poljoprivrede**

Upotreba biomase iz poljoprivrede kao alternativnog goriva u cementnoj industriji nije uobičajena praksa u industrijaliziranim zemljama već se više koristi u ruralno razvijenim zemljama poput Indije, Tajlanda i Malezije. Vrsta biomase koja se koristi u cementnoj industriji je promjenjiva i odnosi se na usjeve koji su lokalno uzgojeni. Rižine ljuske, ljuske od lješnjaka, kokosa, kave i palme su jedne od brojnih vrsta biomase koje se trenutno spaljavaju u cementnim pećima.

Biomasa koja se koristi kao gorivo se smatra CO<sub>2</sub> neutralnim gorivom jer CO<sub>2</sub> koji se oslobađa tijekom procesa izgaranja biomase je u biti onaj CO<sub>2</sub> koji je biljka koristila tijekom životnog ciklusa (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPPC] 2006).

Raspon donje toplinske vrijednosti (LHV) biomase iz poljoprivrede je od 9.2 – 19.4 GJ/ t suhe biomase. Količina biomase iz poljoprivrede koja je potrebna da zamjeni 1t ugljena ovisi o energetske vrijednosti i sadržaju vode u gorivu.

Nedostatci korištenja biomase iz poljoprivrede je relativno niska toplinska vrijednost koja može uzrokovati nestabilnost plamena kao i dostupnost s obzirom da poljoprivredne ostatke nemamo kroz cijelu godinu. Isto tako moramo uzeti u obzir da se biomasi sa vremenom mijenja sastav tj. moramo je iskoristiti prije raspada.

Biomasa se najčešće koristi u tvornici cementa na način da biomasu direktno sagorijevamo u predgrijačima/predkalcinatorima i u peći djelomičnom zamjenom fosilnog goriva s kojim podižemo temperaturu sirovinskog brašna. Ovo se može napraviti na dva načina: prvi, miješajući usitnjenu biomasu sa ugljenom ili petrolkoksom i drugi, direktnim ubacivanjem biomase u krutom obliku (peleti i briketi) u rotacionu peć i/ili u predkalcinator.

#### **4. UPORABA ALTERNATIVNIH GORIVA U TVORNICI CEMENTA SV. JURAJ, CEMEX D.D.**

##### **4.1. Biomasa – komina iz maslina**

U biljnoj proizvodnji, uz željeni proizvod, nužno se proizvodi i biomasa kao nusproizvod. Prilikom obrade maslina tj. njenim prešanjem dobije se maslinovo ulje, ali prilikom prerade nastaje i velika količina otpadnog materijala kojeg nazivamo komina.

Komina se smatra korisnim ostatkom koji se može upotrijebiti u različite svrhe:

- kao dodatak životinjskoj hrani (ishrana domaćih i divljih životinja);
- kao prirodno organsko gnojivo (komina ima povoljan utjecaj na propusnost i stabilnost tla);
- kao pogonsko gorivo u tehnološkim procesima.

##### **4.1.1. Osnovne značajke komine masline**

Komina se sastoji od samljevenih i iscijeđenih koštica, kožica, mesa ploda i vode zaostalih ostatka ulja. Nakon prerade maslina prešanjem (tradicionalni postupak), komina se sastoji od 20 – 25% vode, 55 – 65% suhe tvari, 7,5 – 8% preostalog maslinovog ulja. Međutim, taj se proces obrade maslina zamijenio uvođenjem horizontalnih i vertikalnih centrifuga, a samim time se i sastav komine promijenio. Postoje tri načina prerade maslina:

##### **1. Tradicionalna preša**

Tijekom procesa nije potreban dodatak vode (smanjena količina otpadne vode), a komina masline je suša nego u ostalim načinima prerade masline dok kvaliteta ulja može biti visoka zbog niskih temperatura prerade. Međutim, potrebne su velike količine potrebnog ljudskog rada.

## 2. 3-fazni postupak

Ovaj proces se obavlja s puno manje ljudskog rada ali je veći prinos ulja, međutim povećava se količina otpadne vode uprocesu proizvodnje (1,25-1,75 puta u odnosu na tradicionalne preše) i gube se vrijedne tvari (fenoli) u vodenoj fazi.

## 3. 2-fazni postupak

Ovim postupkom je smanjena količina otpadne vode, a ulje dobiveno ovim postupkom je više kvalitete od onoga koje je dobiveno 3-faznim centrifugalnim sustavom. Najveći nedostatak je obilni nusproizvod koji u sebi sadrži oko 1% ulja ali oko 65% vode te ga je nemoguće skladištiti u uljarama pa su se zbog tog problema razvile tehnologije koje uključuju daljnju ekstrakciju i sušenje vlažne komine.

Sva tri postupka prerade maslina pokazuju različiti postotak vlage komine, a za korištenje komine kao alternativnog goriva najvažniji podatak je sadržaj vlage u komini. U tablici 6. navedena su svojstva i karakteristike prerađene masline, a u tablici 7. Nalaze se kalorijske vrijednosti prerađene masline [8.7].

Tablica 6. Svojstva i karakteristike prerađene masline

| Maslina prerađena prešanjem |                        |                          | Maslina prerađena 3-faznim postupkom |                        |                          | Mokro prerađene masline |                        |                          |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| vlaga %                     | masnoće u suhom uzorku | masnoće u vlažnom uzorku | vlaga %                              | masnoće u suhom uzorku | masnoće u vlažnom uzorku | vlaga %                 | masnoće u suhom uzorku | masnoće u vlažnom uzorku |
| 28,2                        | 7,2                    | 5,2                      | 48,3                                 | 5,1                    | 2,6                      | 59,5                    | 6,3                    | 2,9                      |

Tablica 7. Kalorijske vrijednosti prerađene masline

|                                      | Vrijednost (kcal/kg) | Vrijednost (kJ/kg) |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------|
| Maslina prerađena prešanjem          | 2800-3000            | 11,7-12,5          |
| Maslina prerađena 3-faznim postupkom | 2500-2800            | 10,5-11,7          |
| Prerađena maslina bez masnoće        | 3500                 | 14,6               |
| Koštica                              | 4000                 | 16,7               |

Ostatci otpada iz prerade maslina ne sadrže teške metale i druge štetne tvari u iznosima koji bi imali štetni utjecaj po okoliš ako usporedimo rezultate ispitivanja eluata (tablica 8.) s dopuštenim vrijednostima za eluate otpada (odlaganje na odlagališta I i II kategorije) sukladno *Pravilniku o uvjetima za postupanje otpadom* (NN 123/97). Međutim visoka je razina ukupnog organskog ugljika (TOC), što je za očekivati budući da je komina «organski materijal» kojoj je ugljik osnovni sastojak. Zbog ove visoke razine TOC-a nije dopušteno odlaganje komine na odlagališta I i II kategorije. Dopuštena masena koncentracija TOC-a u eluatu za odlagalište I kategorije iznosi 200 mg/l a za odlagalište II kategorije 20 mg/l.

Tablica 8. Rezultati analize eluata komine

| Određivanje                        | Jedinica mjere | Rezultat |
|------------------------------------|----------------|----------|
| Fenoli                             | mg/l           | 0,000    |
| Cijanidi (lako oslobodivi)         | mg/l           | 0,000    |
| Nitriti, N                         | mg/l           | 0,00     |
| Fluoridi                           | mg/l           | 0,39     |
| Kromati, Cr <sup>6+</sup>          | mg/l           | < 0,05   |
| Arsen, As                          | mg/l           | < 0,0001 |
| Kadmij, Cd                         | mg/l           | < 0,005  |
| Krom, Cr                           | mg/l           | < 0,02   |
| Živa, Hg                           | mg/l           | < 0,0001 |
| Nikal, Ni                          | mg/l           | < 0,02   |
| Olovo, Pb                          | mg/l           | < 0,05   |
| Bakar, Cu                          | mg/l           | < 0,02   |
| Cink, Zn                           | mg/l           | 1,10     |
| Adsorptivni organski halogeni, AOX | mg/l           | 0,02     |
| Ukupni organski ugljik, TOC        | mg/l           | 851,9    |
| Amonij, N                          | mg/l           | 1,14     |

#### **4.1.2. Tehnološki proces korištenja komine kao alternativnog goriva**

Inicijativa prikupljanja komine pokrenuta je 2008. godine pilot- projektom odlaganja komine masline od strane Cemex Hrvatska u suradnji sa Zajednicom maslinara i uljara Hrvatske, uz podršku Upravnog odjela za gospodarstvo, razvitak i obnovu Splitsko-dalmatinske županije.

U 2010. godini ustrojen je i prvi prihvatno- logistički lanac prikupljanja komine u priobalnom dijelu Splitsko-dalmatinske županije u suradnji sa tvrtkom Čistoća Split. Prikupljanje komine poticalo se postavljanjem kontejnera zapremnine 7 m<sup>3</sup> u neposrednoj blizini uljara te se vršila kontinuirana zamjena po sistemu „puno za prazno“, a usluga je za uljare bila potpuno besplatna.

Od početka inicijative prikupljene su sljedeće količine komine:

- 2010 god. – 3 923 t
- 2011 god. – 2 971 t
- 2012 god. – 5 561 t
- 2013 god. – 2903 t
- 2014 god. – 1 522 t

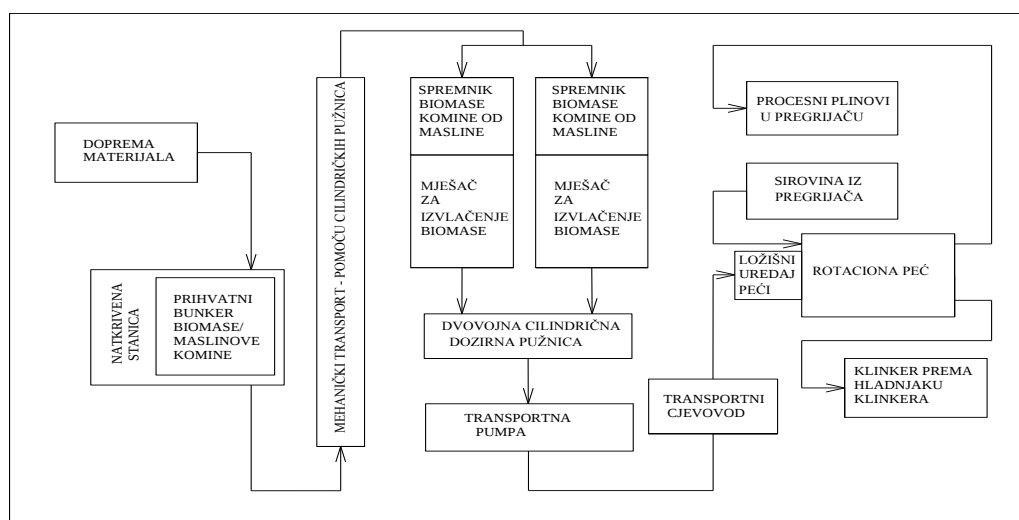
Proces pripreme komine za korištenje kao alternativnog goriva u tvornici Sv. Juraj može se prikazati u glavnim koracima:

- dopremu i prihvrat komine u pogonima;
- skladištenje komine do upotrebe;
- transport komine do mjesta ubacivanja u peć;
- doziranje komine zajedno sa sirovinom;
- kontrolirano spaljivanje.

Prihvat kamiona s kominom tehnički je riješen na način da se materijal direktno iskipava u natkrivenoj stanici u prihvatni bunker biomase komine te se kao takav odmah mehanički

transportira pomoću pužnica u jedan od dva spremnika biomase, komine od masline (slika 13). Tijekom 2012. u rad je pušten sustav za prijem, skladištenje i doziranje komine u tvornici Sv. Juraj.

Slika 13. Shema prihvata, skladištenja i doziranja komine



U pogonu Sv. Juraj ugrađen je sistem predkalcinacije u kojem se loži oko 30% ukupne količine goriva. Za izgaranje goriva u predkalcinaciji zrak se vodi kroz rotacijsku peć tako da se količina kisika u ulaznoj komori povećava (oko 5%), odnosno ovisi o količini goriva koje izgara u predkalcinaciji. Tim postupkom je proces dekarbonizacije znatno povećan prije ulaska sirovine u rotacijsku peć. Ostalih 70% količine goriva koja se loži dovodi se na glavni gorionik rotacijske peći.

Komina kao alternativno gorivo dozira se na sistemu predkalcinacije na način da se pumpama ubacuje u prostor temperature 700<sup>0</sup>C gdje izgara i povećava temperaturu sirovinskog brašna. Najveći problem komine je njezina vlažnost koja ovisi o načinu prerade kod samih uljara od 55-70%.

## **4.2.   Otpadno ulje**

Maziva ulja su dio naše svakodnevnice. Njihova uporaba je neophodna za funkcioniranje gotovo svih djelatnosti.

Otpadna maziva ulja se dijele u dvije kategorije:

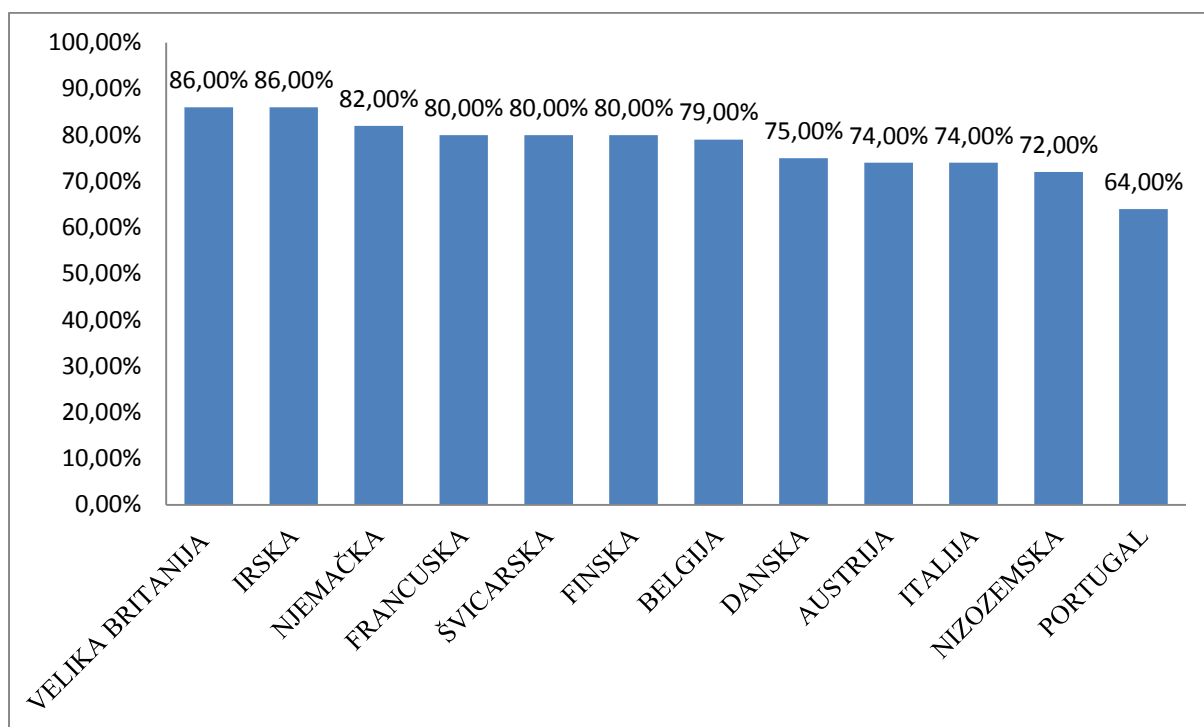
1. Tvz. čista ulja, industrijskog porijekla koja se jednostavno mogu regenerirati kroz jednostavni proces pročišćavanja (filtracija i/ili centrifugiranje).
2. Tvz. tamna ulja, koja su se koristila uglavnom za podmazivanje mehanizacije te svih vrsta prijevoznih sredstava, a sadrže metale i ostatke sagorijevanja.

Maziva ulja imaju svoj ograničeni vijek uporabe i nakon toga se moraju mijenjati. Prilikom njihove uporabe, razgradnjom, izgaranjem, istjecanjem uslijed kvarova, uobičajeno je da se manje od polovice na ovaj način izgubi. To znači da više od polovice mazivih ulja postane otpadno mazivo ulje koje treba na propisani način zbrinuti. Ovakva otpadna maziva ulja su opasan otpad, i zbog svojih svojstava da su tekućine i da u vrlo maloj koncentraciji opasno zagađuju medij u kojem se nađu predstavljaju veliku opasnost za okoliš. Zbog toga je vrlo važno da se sve količine otpadnog ulja prikupe i propisno zbrinu.

### **4.2.1.   Količina i dostupnost otpadnog ulja**

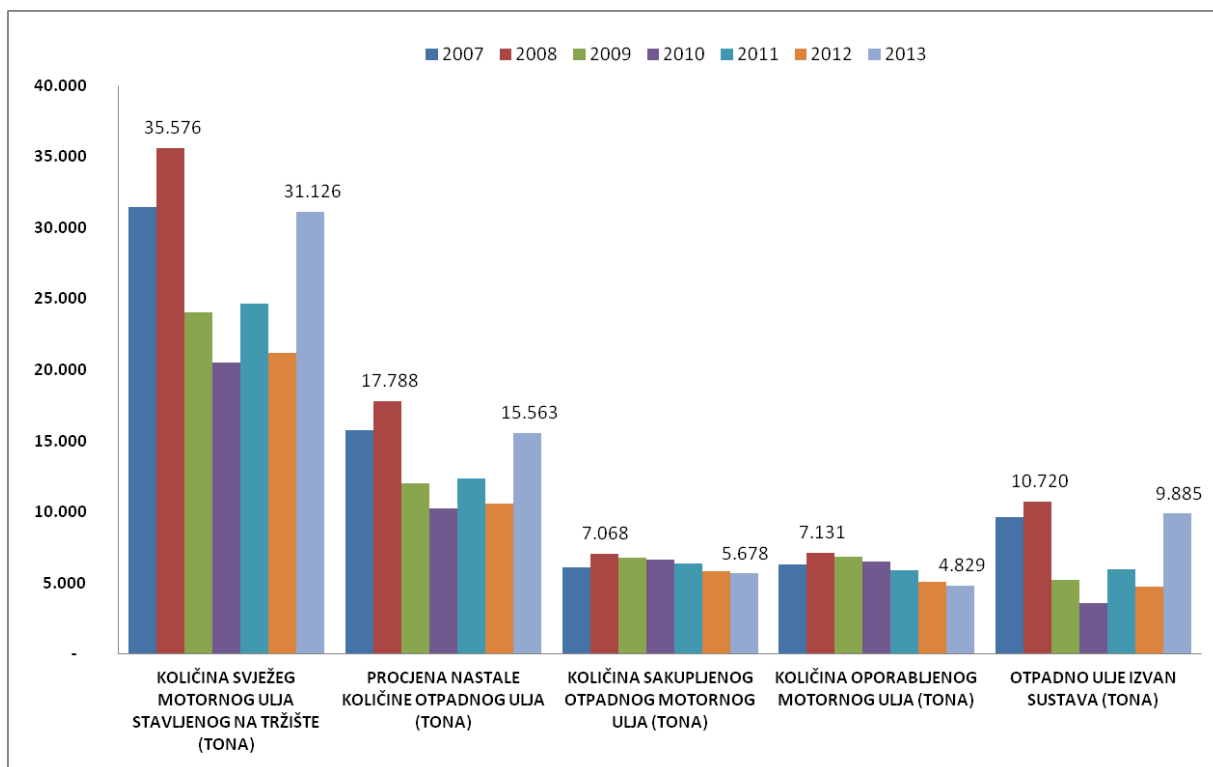
Europska iskustva u području prikupljanja otpadnog mazivog ulja su vrlo pozitivna, i u izgrađenim sustavima se gotovo svo otpadno ulje prikupi. Prema podacima iz 2000.g. postotak prikupljanja otpadnog ulja u Velikoj Britaniji i Irskoj je 86%, Njemačkoj 82% i Francuskoj 80%.

Detalnije se može vidjeti u narednim grafikonima (Slika 14. i 15.) po pojedinima zemljama EU.



Slika 14. Postotak prikupljenog otpadnog ulja u onosu na procjenu nastalog otpadnog ulja za 2000.g.

U Hrvatskoj je u 2008. godini postotak prikupljenog otpadnog ulja u odnosu na nastalo otpadno ulje bio 40% , te osam godina nakon objavljivanja gore navedene Studije Hrvatska je još uvijek daleko od rezultata zemalja EU.



Slika 15. Kretanje i količina mazivog ulja i otpadnog mazivog ulja u RH za period 2008-2013.

U periodu od 2008.g do 2012.g. u Hrvatskoj se po pitanju otpadnih mazivih ulja može uočiti dva trenda:

Jedan je da se količina mazivog ulja koje se stavlja na tržište smanjuje, vjerovatno zbog smanjenja gospodarskih aktivnosti, pa je u tom periodu smanjena godišnja količina s 35.576 tona na 24.667 tona, odnosno za 31%.

Paralelno s tim imamo i trend opadanja sakupljenih količina otpadnog ulja, iako u pojedinim godinama postotak sakupljanog ulja u odnosu na novonastalo otpadno ulje raste sa 40% na 64%.

Ako gledamo postotak sakupljenog otpadnog ulja u odnosu na novo mazivo ulje on je bio 20% u 2008.g. i porastao je na 32% u 2010.g., a realno ostvariva vrijednost je 40%-50% zavisno od mjesta i načina uporabe mazivih ulja.

Iz gornjeg grafikona (Slika 15.) se može jasno uočiti da je 2009 došlo do pada isporučenih količina mazivog ulja na tržištu, a da količine poslije toga stagniraju do 2013 godine. Nažalost količina prikupljenog otpadnog ulja opada, a količina otpadnog ulja koje je nastalo, a izvan je sustava zbrinjavanja ostaje podjednaka ili raste.

Cementna industrija je svugdje u svijetu prepoznata kao idealna mogućnost u zbrinjavanju ovog otpada, pa je tako i cementna industrija u RH investirala značajna sredstva u postrojenja za zbrinjavanje otpadnog ulja (godišnji kapaciteti uporabe; Cemex Hrvatska d.d. Split 56.000 tona, Našicecement Našice 10.000 tona, Holcim Koromačno 14.000 tona), ali zbog male količine prikupljenog otpadnog ulja oni ostaju neiskorišteni.

#### **4.2.2. Značajke otpadnog ulja u cementnoj proizvodnji**

Zbog posebnosti tehnološkog procesa proizvodnje cementa, moguće je otpadno ulje prema *Pravilniku o gospodarenju otpadnim uljima* (NN br. 178/04 i 111/06) 1. i 2. Kategorije (otpadna ulja mineralnog sintetičkog i biljnog porijekla sa sadržajem halogena ispod 0,2% i ukupnim polikloriranim bifenilima (PCB) i polikloriranim terafenilima (PCT) iznad 20 mg/kg i ispod 30 mg/kg) suspaljivati u rotacijskoj peći.

Cjelokupna masa goriva i pepeo se tada apsorbiraju u klinker. Prednost toga je što nije potrebno dodatno zbrinjavati pepeo, a zbog visoke temperature u peći od 1450 do 2000 °C štetne supstance iz otpada, poput teških metala, stapaju se u molekularnu strukturu klinkera i na taj način postaju inertni i nije ih moguće ponovno aktivirati nikakvim mehaničkim djelovanjem.

Sve su tvrtke koje termičku uporabu otpadnog ulja provode na način da ga suspaljuju dužne kontrolirati svoje emisije štetnih tvari upravljanjem procesnim parametrima na način da su emisije ispod propisanih graničnih vrijednosti propisanih *Uredbom o graničnim vrijednostima emisija* (NN 117/12). Uz to, prema *Pravilniku o praćenju emisija* (NN 129/12) tvrtke moraju bilježiti stvarne emisije štetnih tvari u okoliš pomoću AMS11 uređaja.

U pogonu Sv.Juraj - u postrojenju se toplinska energija potrebna za proizvodnju klinkera dobiva suspaljivanjem otpadnih ulja i standardnih fosilnih goriva. U svrhu zadovoljavanja graničnih vrijednosti emisija praškastih tvari, tvrtka koristi vrećaste otprašivače visoke učinkovitosti ugrađene na izlaze rotacijskih peći za dobivanje klinkera. Kontrolu vrijednosti emisija štetnih tvari vrše automatskim mjernim sustavima postavljenim na ispust vrećastih otprašivača. Na taj se način osigurava stalan nadzor nad emisijama dušikovih oksida, sumporovog dioksida i praškastih tvari (PT), TOC, NH<sub>3</sub>, HF, HCl i Hg u cijelom periodu rada rotacijske peći.

S obzirom na male količine prikupljenog otpadnog ulja, pogon Sv. Juraj koristi oko 200 tona otpadnog ulja u mjesecu i tu količinu koriste kroz 8 dana po 25 t/dan.

Otpadno ulje se po dolasku u tvornicu transportira do spremnika od 3000 t. Prije pohrane u spremnik otpadno ulje prolazi kroz sustav filtera i bistrilišta da se uklone krute čestice i zaostatci vode. Iz spremnika se transportira pumpama pod tlakom od 4 bara i dovodi do gorionika. Prije gorionika se uzimaju uzorci i salju na analizu. Na slici 16. prikazan je primjer analitičkog izvješća laboratorija na kojem se nalaze ispitivani parametri otpadnog ulja.

Oznaka uzorka za analizu: otpadno ulje  
 Uzorkovano: 22.10.2014.  
 Analizirano: 22.10.-29.10.2014.  
 Vrsta otpada (po KO): 13, 19  
 Ključni broj (po KO): 13 02 05\*neklorirana maziva ulja za motore i zupčanike, na bazi mineralnih ulja  
 13 02 08\*ostala maziva ulja za motore i zupčanike  
 13 01 13\*ostala hidraulična ulja  
 19 02 07\*ulja i koncentracije iz procesa odvajanja  
 13 03 07\*neklorirana izolacijska ulja i ulja za prijenos topline na bazi minerala  
 13 04 03\*kaljužna ulja iz drugih plovila  
 Izgled uzorka: crna viskozna tekućina  
 Miris: po naftnim derivatima

| PARAMETRI                   | METODA                  | Jed. mjere | REZULTATI |
|-----------------------------|-------------------------|------------|-----------|
| Točka paljenja              | HRN ISO 2719:2003*      | °C         | 62,0      |
| Toplinska vrijednost        | HRN EN 15170:2010*      | kJ/kg      | 31928,05  |
| Ukupni klor (halogeni)      | HRN EN 15289:2011       | %          | 0,07      |
| Sadržaj sumpora             | HRN EN 15289:2011       | %          | 0,70      |
| Sadržaj vode                | HRN ISO 3733:2002       | %          | 26,3      |
| Pepeo                       | HRN EN 15169:2008*      | %          | 0,91      |
| PCB(Poliklorirani bifenili) | HRN EN ISO 12766-1:2002 | mg/kg      | <0,01     |
| Kadmij,Cd                   | HRN EN ISO 11885:2010*  | mg/kg      | 2,26      |
| Krom,Cr                     | HRN EN ISO 11885:2010*  | mg/kg      | 2,63      |
| Živa,Hg                     | HRN EN ISO 11885:2010*  | mg/kg      | 0,647     |
| Nikal,Ni                    | HRN EN ISO 11885:2010*  | mg/kg      | 16,7      |
| Olovo,Pb                    | HRN EN ISO 11885:2010*  | mg/kg      | 7,73      |
| Vanadij,V                   | HRN EN ISO 11885:2010*  | mg/kg      | 35,3      |
| Arsen,As                    | HRN EN ISO 11885:2010   | mg/kg      | 14,3      |
| Antimon,Sb                  | HRN EN ISO 11885:2010   | mg/kg      | 14,0      |
| Bakar,Cu                    | HRN EN ISO 11885:2010*  | mg/kg      | 13,5      |
| Kobalt,Co                   | HRN EN ISO 11885:2010   | mg/kg      | 1,37      |

Slika 16. Ispitivani parametri otpadnog ulja.

## 5. REZULTATI

U rezultatima će se prikazati potencijalne uštede goriva supstitucijom fosilnog goriva, petrolkoksa sa alternativnim gorivima različite toplinske vrijednosti i s različitim postotkom supstitucije. Alternativna goriva koja će se biti prikazana su komina masline, otpadno ulje te RDF.

Instalirani kapacitet postrojenja tvornice cementa Sv. Juraj je 3 200 tona klinkera/dan.

Specifični utrošak toplinske energije = 3 140 kJ/kg klinkera,

dnevni utrošak energije = 3 200 t/dan \* 1000 \* 3 140 kJ/kg = 10 004 800 000 kJ/dan (10 milijardi kJ/dan.)

### **Petrolkoks / komina masline**

Ako koristimo petrolkoks (PK) kao gorivo u rotacionoj peći bez dodatka zamjenskog goriva tada imamo sljedeću potrošnju goriva:

LHV petrolkoksa = 34 332 kJ/kg

utrošak PK = 10 004 800 000 kJ/dan / 34 332 kJ/kg = 291 413 kg/dan = 291,4 t/dan

cijena PK = 600 kn/t

iz toga sljedeći:

cijena petrolkoksa za proizvodnju klinkera = 291,4 t/dan \* 600 kn/t = 174 840 kn/dan

U obzir moramo uzeti i cijenu uree koju dodajemo zajedno sa petrolkoksom, a koja se koristi kao reducens za emisiju NO<sub>x</sub>.

cijena uree = 3 kn/t klinkera

trošak uree = 3 kn/t \* 3 200 t/dan = 9 600 kn/dan,

U odnosu na prethodni slučaj gdje smo koristili 100% petrolkoksovdje ćemo dio petrolkoksa zamijeniti sa alternativnim gorivom, kominom od masline.

S obzirom da se komina masline prikupljala od 55 – 75% vlažnosti, njen kalorijski efekt je sljedeći:

1t suhe komine = 22190 kJ/kg

1 tona (60% v) = 22 190 \*0,40 = 8876 kJ/kg

Da ispari 1 000 kg vode potrebno je 2 386 kJ (570 kcal), dok je u našem slučaju za 600 kg vode potrebno 1 432 kJ (342 kcal), iz čega slijedi:

1 tona (60% v) = (22 190\*0,40) – (2 386\*0,60) = 7 444 kJ/kg iskoristivih kalorija

| Suha komina, kJ/kg | Vlaga % | Kalorije vlastite smjese, kJ/kg | Utrošak kalorija za vodu, kJ/kg | Iskoristive kalorije komine, kJ/kg | Ekvivalent petrolkoksa po toni komine |
|--------------------|---------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 22 190             | 0       | 22 190                          | 0                               | 22 190                             | 0.65                                  |
| 22 190             | 55      | 9 986                           | 1312                            | 8 674                              | 0.25                                  |
| 22 190             | 60      | 8876                            | 1432                            | 7 444                              | 0.22                                  |
| 22 190             | 65      | 7 767                           | 1551                            | 6 216                              | 0.18                                  |
| 22 190             | 70      | 6 657                           | 1 670                           | 4 987                              | 0.15                                  |

Tablica 9. Utrošak kalorija za sušenje komine i iskoristive kalorije

Prosječna dnevna potrošnja komine = 60 t/dan

Ekvivalent petrolkoksa za 60 t komine/dan = 13,2 t

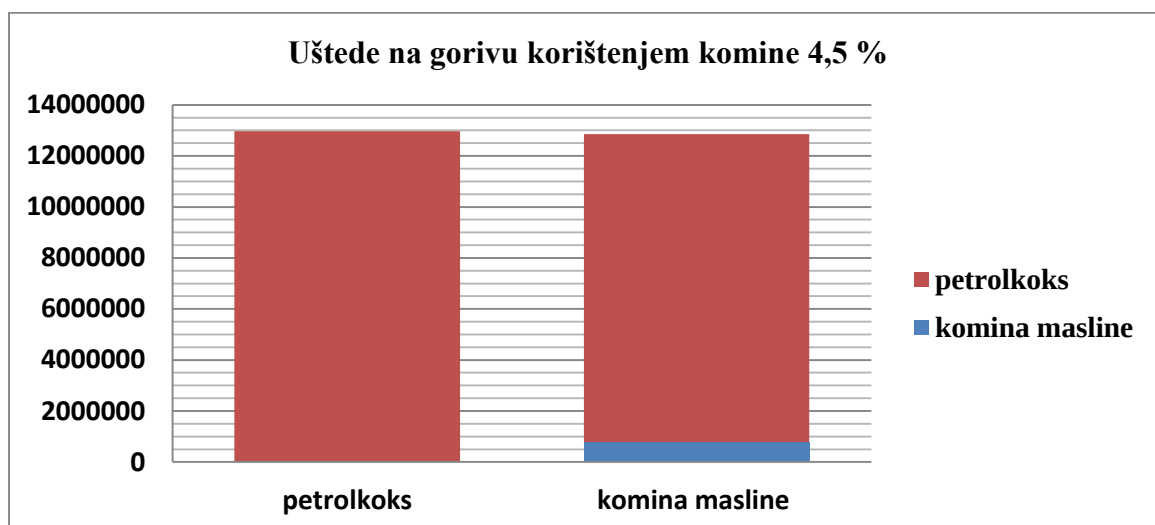
U tablici 10. te slici 17. je prikazan razlika troškova goriva korištenjem 100 % petrolkoksa, te supstitucijom dijela petrolkoksa sa alternativnim gorivom, kominom od masline.

cijena komine (troškovi prijevoza od uljare do tvornice) = 185 kn

utrošak uree = 1,5 kn/t\*3 200 t/dan = 4 800 kn/dan

|                                        | osnovno gorivo | dodatak zamjenskog goriva |            |
|----------------------------------------|----------------|---------------------------|------------|
|                                        | Petrolkoks     | komina masline            | Petrolkoks |
| Toplinska vrijednost    kJ/kg          | 34332          | 7 444                     | 34 332     |
| Doziranje goriva        [t/dan]        | 291,4          | 60                        | 278,2      |
| [t/70 r. dana]                         | 20 398         | 4 200                     | 19 474     |
| Postotak zamjene    [%]                |                | 4,5%                      |            |
| Troškovi                [kn/t]         | 600            | 185                       | 600        |
| [kn/70 r. dana]                        | 12 238800      | 777 000                   | 11 684400  |
| Troškovi uree         [kn/70 r. dana]  | 672 000        |                           | 336000     |
| Ukupni troškovi        [kn/70 r. dana] | 12 910800      | 777 000                   | 12 020400  |
| Uštede                 [kn/70 r. dana] |                | 113 400                   |            |

Tablica 10. Uštede u cementnoj industriji supstitucijom petrolkoksa sa kominom masline



Slika 17. Uštede u cementnoj industriji supstitucijom petrolkoksa sa kominom masline

Komina masline se smatra klimatski neutralnim gorivom i njena uporaba doprinosi smanjenju emisija CO<sub>2</sub> što je i prikazano u tablici 11.

Ako 1 TJ energije emitira 101 t CO<sub>2</sub> znači da je:

$$\text{LHV PK} = 8\,200 \text{ kcal/kg} ; 8\,200 \text{ kcal/kg} \cdot 4,18 / 1000 = 34,3 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{za 1 TJ energije potrebno je petrolkoksa} = 1\,000\,000 \text{ MJ} / 34,3 \text{ MJ/kg} = 29154,5 \text{ kg} = 29,2 \text{ t},$$

$$1 \text{ t petrolkoksa emitira CO}_2 = 101 \text{ t} / 29,2 \text{ t} = 3,46 \text{ t CO}_2.$$

Ako je ušteda na petrolkoksu iz 2. slučaja iznosila 13,2 t tada je:

$$\text{ušteda CO}_2 \text{ emisije} = 13,2 \text{ t} \cdot 3,46 \text{ t} = 45,7 \text{ t}$$

Na EU burzi cijena CO<sub>2</sub> = 8 €/t,

što znači da je ušteda na emisijama CO<sub>2</sub> = 45,7 t · 8 €/t = 366 €/dan; 25 620 €/70 dana

Rezultat proračuna smanjenja količine CO<sub>2</sub>:

| Gorivo                                             | Jedinica                                             | Količina<br>CO <sub>2</sub> |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Petrolkoks (100%)                                  | t CO <sub>2</sub> /dan                               | 1012,7                      |
| Petrolkoks + komina (60 t/dan)                     | t CO <sub>2</sub> /dan                               | 967                         |
| Smanjenje emisija suspaljivanjem komine<br>maslina | t CO <sub>2</sub> /dan<br>t CO <sub>2</sub> /70 dana | 45, 7<br>3 199              |

Tablica 11. Pregled smanjenja količine CO<sub>2</sub>

## Petrolkoks / Otpadno ulje

S obzirom na male količine prikupljenog otpadnog ulja, pogon Sv. Juraj koristi oko 200 tona otpadnog ulja u mjesecu i tu količinu koriste kroz cca 8 dana u mjesecu.

dnevna potrošnja otpadnog ulja = 25 t/dan

toplinska energija od otpadnog ulja = 25 t/dan\*1000\*31928 kJ/kg = 798 200 000 kJ/dan

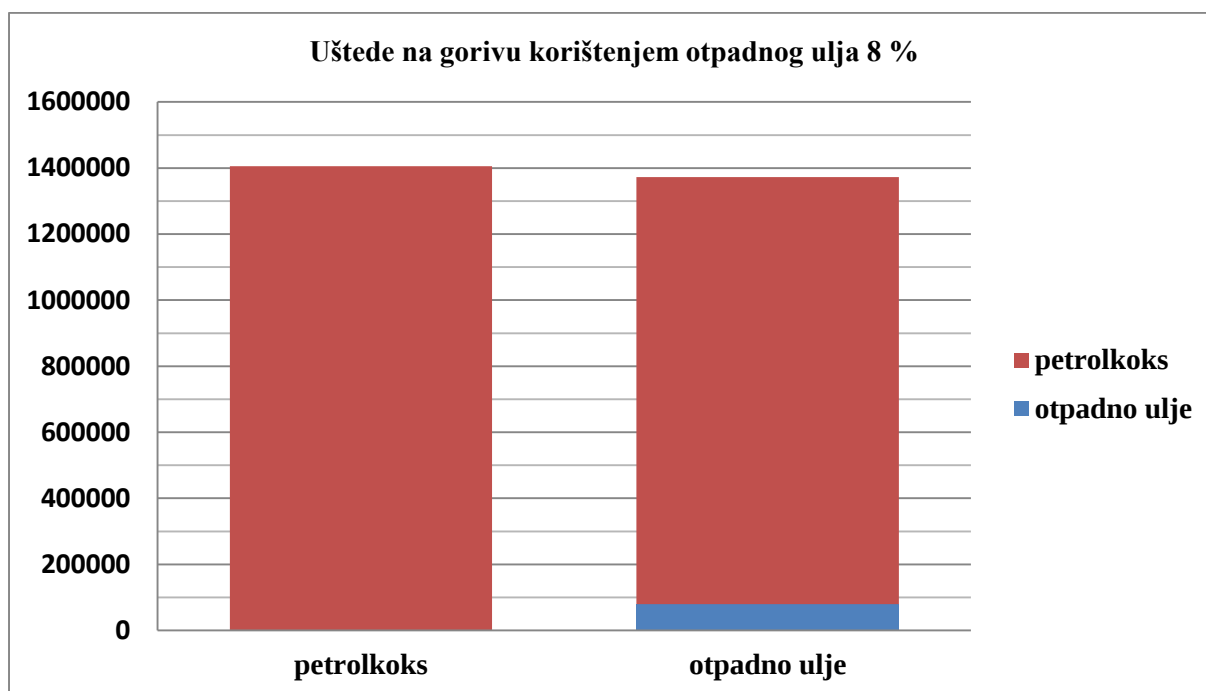
preostali petrolkoks =  $1.0048 \cdot 10^{10}$  kJ/dan – 798200 000 kJ/dan / 34331 kJ/kg / 1000 = 269,4t

ekvivalent petrolkoksa za 25 t otpadnog ulja / dan = 23,3 t

U tablici 12. te slici 18. je prikazana razlika troškova goriva korištenjem 100 % petrolkoksa, te supstitucijom dijela petrolkoksa sa alternativnim gorivom, otpadnim uljem.

|                                                      | osnovno gorivo | dodatak zamjenskog goriva |            |
|------------------------------------------------------|----------------|---------------------------|------------|
|                                                      | Petrolkoks     | otpadno ulje              | Petrolkoks |
| Toplinska vrijednost      kJ/kg                      | 34 331         | 31 928                    | 34 331     |
| Doziranje goriva      [t/dan]<br>[t/8 dana mjesečno] | 292,7          | 25                        | 269,4      |
|                                                      | 2342           | 200                       | 2155       |
| Postotak zamjene      [%]                            |                | <b>8,0%</b>               |            |
| Troškovi      [kn/t]<br>[kn/8 dana mjesečno]         | 600            | 400                       | 600        |
|                                                      | 1 405200       | 80 000                    | 1293000    |
| Uštede      [kn/8 dana mjesečno]                     |                | 32 200                    |            |

Tablica 12. Uštede u cementnoj industriji supstitucijom petrolkoksa sa otpadnim uljem

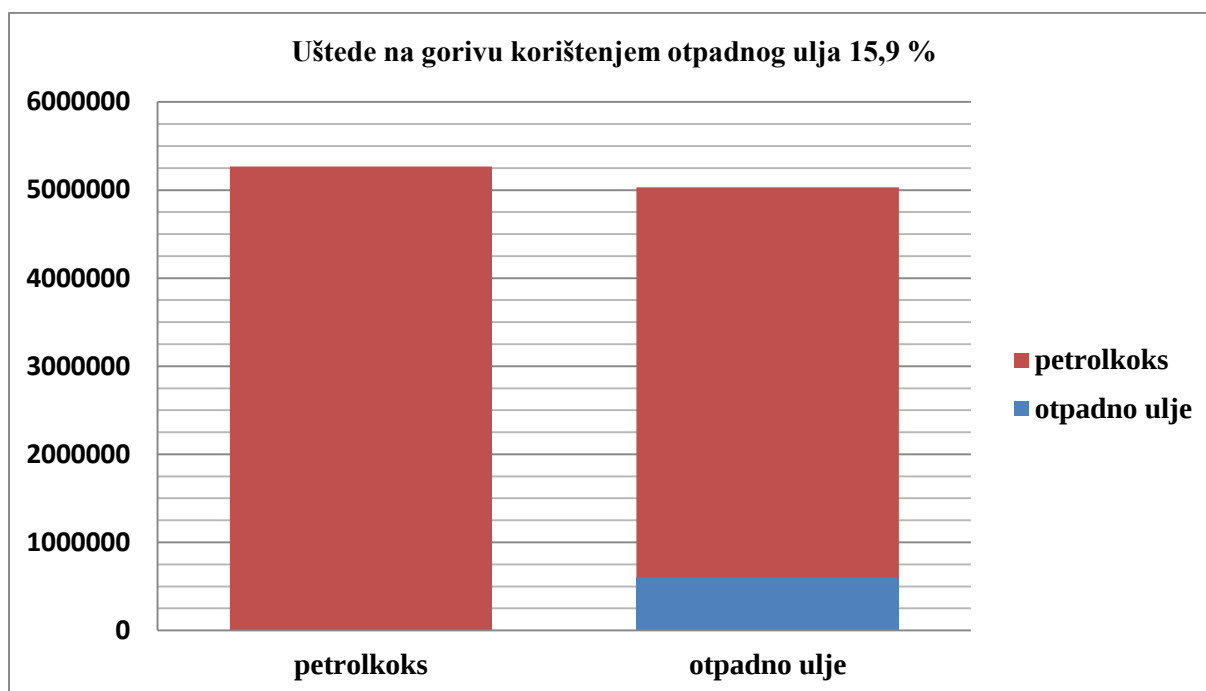


Slika 18. Uštede u cementnoj industriji supstitucijom petrolkoksa sa otpadnim uljem

Ako pretpostavimo da na tržištu postoje dovoljne količine prikupljenog otpadnog ulja te da pogon Sv. Juraj koristi 50 tona otpadnog ulja / dan, što ne pokriva niti polovinumogućeg godišnjeg kapaciteta uporabe, ušteda je prikazana u tablici 13, slici 19.

|                      |                             | osnovno gorivo | dodatak zamjenskog goriva |            |
|----------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|------------|
|                      |                             | Petrolkoks     | otpadno ulje              | Petrolkoks |
| Toplinska vrijednost | kJ/kg                       | 34331          | 31928                     | 34 331     |
| Doziranje goriva     | [t/dan]                     | 292,7          | 50                        | 246,2      |
|                      | [t/mjesečno]                | 8 781          | 1 500                     | 7 386      |
| Postotak zamjene     | [%]                         |                | <b>15,9%</b>              |            |
| Troškovi             | [kn/t]                      | 600            | 400                       | 600        |
|                      | [kn/mjesečno]               | 5268600        | 600 000                   | 4431600    |
| Uštede               | [kn/mjesečno]               |                | 237000                    |            |
| Uštede               | [kn/godišnje (330 r. dana)] |                | 2 607 000                 |            |

Tablica 13. Uštede u cementnoj industriji supstitucijom petrolkoksa sa otpadnim uljem



Slika 19. Uštede u cementnoj industriji supstitucijom petrolkoksa sa otpadnim uljem

Ako zamijenimo petrolkoks sa otpadnim uljem u iznosu od 15,9 % dolazi do smanjenja količine CO<sub>2</sub>.

Rezultat proračuna emisije CO<sub>2</sub>.

| Gorivo       | količina<br>[t/mjesec] | LHV [TJ/t] | emisijski faktor<br>[t CO <sub>2</sub> /TJ] | količina<br>CO <sub>2</sub> [t] | Razlika u<br>količini<br>CO <sub>2</sub><br>[t/mjesec] |
|--------------|------------------------|------------|---------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|
| petrolkoks   | 1395                   | 34 331     | 94,3                                        | 4 517                           | 1 253                                                  |
| otpadno ulje | 1500                   | 31 928     | 73,3                                        | 3 264                           |                                                        |

Tablica 14. Pregled smanjenja količine CO<sub>2</sub>

## Petrolkoks / RDF

U sljedećim tablicama je prikazan izračun ekonomičnosti kod suspaljivanja alternativnog goriva, RDF-a sa različitim cijenama fosilnog goriva, petrolkoks.

|                      |          | osnovno gorivo | dodatak zamjenskog goriva |            |
|----------------------|----------|----------------|---------------------------|------------|
|                      |          | petrolkoks     | RDF                       | Petrolkoks |
| Toplinska vrijednost | kJ/kg    | 34 331         | <b>18000</b>              | 34 331     |
| Doziranje goriva     | [t/dan]  | 292,7          | 60                        | 261        |
|                      | [t/god]  | 96591          | 19800                     | 86204      |
| Postotak zamjene     | [%]      |                | 11,0%                     |            |
| Troškovi             | [kn/t]   | <b>600</b>     | 160                       | 600        |
|                      | [kn/god] | 57954600       | 3168 000                  | 51722196   |
| Uštede               | [kn/god] |                | <b>3064403</b>            |            |

Tablica 15. Uštede u cementnoj industriji sa cijenom petrolkoks od 600 kn/t, 11% - tnom supstitucijom RDF-a kalorijske vrijednosti 18 000 kJ/kg

|                      |          | osnovno gorivo | dodatak zamjenskog goriva |            |
|----------------------|----------|----------------|---------------------------|------------|
|                      |          | petrolkoks     | RDF                       | Petrolkoks |
| Toplinska vrijednost | kJ/kg    | 34 331         | <b>18 000</b>             | 34 331     |
| Doziranje goriva     | [t/dan]  | 292,7          | 60                        | 261        |
|                      | [t/god]  | 96 591         | 19 800                    | 86204      |
| Postotak zamjene     | [%]      |                | 11,0%                     |            |
| Troškovi             | [kn/t]   | <b>570</b>     | 160                       | 600        |
|                      | [kn/god] | 55 056870      | 3168000                   | 51722196   |
| Uštede               | [kn/god] |                | <b>166 673</b>            |            |

Tablica 16. Uštede u cementnoj industriji sa cijenom petrolkoks od 570 kn/t, 11% - tnom supstitucijom RDF-a kalorijske vrijednosti 18 000 kJ/kg.

|                      |          | osnovno gorivo | dodatak zamjenskog goriva |            |
|----------------------|----------|----------------|---------------------------|------------|
|                      |          | petrolkoks     | RDF                       | Petrolkoks |
| Toplinska vrijednost | kJ/kg    | 34 331         | <b>13 000</b>             | 34 331     |
| Doziranje goriva     | [t/dan]  | 292,7          | 85                        | 260        |
|                      | [t/god]  | 96 591         | 28 050                    | 85 963     |
| Postotak zamjene     | [%]      |                | 11,0%                     |            |
| Troškovi             | [kn/t]   | <b>600</b>     | 125                       | 600        |
|                      | [kn/god] | 57 954 600     | 3506250                   | 51 577 927 |
| Uštede               | [kn/god] |                | <b>2 870422</b>           |            |

Tablica 17. Uštede u cementnoj industriji sa cijenom petrolkoksa od 600 kn/t, 11% - tnom supstitucijom RDF-a kalorijske vrijednosti 13 000 kJ/kg.

|                      |          | osnovno gorivo | dodatak zamjenskog goriva |            |
|----------------------|----------|----------------|---------------------------|------------|
|                      |          | petrolkoks     | RDF                       | Petrolkoks |
| Toplinska vrijednost | kJ/kg    | 34 331         | <b>13 000</b>             | 34 331     |
| Doziranje goriva     | [t/dan]  | 292,7          | 85                        | 260        |
|                      | [t/god]  | 96 591         | 28 050                    | 85 963     |
| Postotak zamjene     | [%]      |                | 11,0%                     |            |
| Troškovi             | [kn/t]   | <b>570</b>     | 125                       | 600        |
|                      | [kn/god] | 55 056 870     | 3506250                   | 51 577 927 |
| Uštede               | [kn/god] |                | <b>- 27307</b>            |            |

Tablica 18. Uštede u cementnoj industriji sa cijenom petrolkoksa od 570 kn/t, 11% - tnom supstitucijom RDF-a kalorijske vrijednosti 13 000 kJ/kg.

## 6. RASPRAVA

### **Petrolkoks / komina masline**

Iz tablice 9.se vidi kolika je toplinska vrijednost komine te iskoristive kalorije komine s obzirom na postotak vlažnosti. Možemo uočiti da se povećanjem vlažnosti smanjujeekvivalent petrolkoksa po toni komine.

Tablica 10.prikazuje razlikuu troškovimagoriva s obzirom na instalirani kapacitet postrojenja, kada se koristi 100% petrolkoks i kada dio petrolkoksa zamijenimo sa kominom od masline, u ovom slučaju supstitucijom od 4,5%. Možemo uočiti da nam se supstitucijom petrolkoksa sa kominom masline smanjiva utrošak goriva. Da bi dobili potpuni pregled troška goriva u obzir je uzet trošak uree koja se u procesu koristi za smanjenje emisije NO<sub>x</sub>-a, s obzirom da se prilikom korištenja komine taj trošak smanjuje jer komina prilikom gorenja stvara redukcionu atmosferu (višak CO).

Iz tablice se vidi da se može ostvariti ušteda na troškovima goriva suspaljivajući kominu masline, vlažnosti 60% iako bi ta ušteda na gorivu mogla biti i veća da koristimo kominu sa manjim postotkom vlažnosti.

Osim smanjivanja utroška na gorivu, koristeći kominu masline imamo benefit i kroz emisije CO<sub>2</sub>. Komina masline se smatra klimatski neutralnim gorivom i njeno korištenje kao zamjensko gorivo dopridonosi smanjenju količine CO<sub>2</sub> što je prikazano utablici 11.

Rezultati su prikazani za 70 radnih dana s obzirom da je komina masline dostupna kroz mjesec listopad i studeni, što je i veliki nedostatak komine pošto je nemamo kroz cijelu godinu. Isto tako na prikupljene količine komine utječu i vremenski uvjeti tijekom godine jer sa smanjenim prinosom ploda masline automatski nam se smanjiva i količina komine.

## **Petrolkoks / Otpadno ulje**

Iz tablice 12. je vidljivo da supstitucijom petrolkoksa sa otpadnim uljem od 8% u samo 8 dana imamo značajnu financijsku dobit. Razlog tomu je što otpadno ulje ima približno istu toplinsku vrijednost kao i petrolkoks, a vidno manju cijenu.

Pogon Sv. Juraj koristi cca 2 400 t/god otpadnog ulja iako ima godišnji kapacitet uporabe od 56 000 t. Razlog tomu su male količine prikupljenog otpadnog ulja na tržištu. U tablici 13. je stvorena pretpostavka da pogon Sv. Juraj suspaljuje 1500 t/mjesec otpadnog ulja. Vidljivo je da uz supstituciju od 15,9% imamo značajno smanjen utrošak na gorivu.

Osim značajne uštede na utrošku goriva, koristeći otpadno ulje kao alternativno gorivo smanjivamo i količinu emisija CO<sub>2</sub> što je prikazano u tablici 14.

## **Petrolkoks / RDF**

Prilikom razmatranja mogućnosti korištenja RDF-a ili nekog drugog alternativnog goriva, moramo usporediti troškove fosilnog goriva sa troškovima alternativnog goriva.

Ako usporedimo tablice 15. i 16. te 17. i 18. možemo uočiti da za istu toplinsku vrijednost RDF-a, isti postotak zamjene petrolkoksa sa RDF-om i uz razliku cijene petrolkoksa od 5% imamo značajnu razliku u uštedama. U tablici 18. vidimo da smo u gubitku sa smanjenjem cijene petrolkoksa od 5% iz čega se vidi daračun isplativosti je vrlo osjetljiv, jer uz malu promjenu cijene petrolkoksa cijeli slučaj može biti neisplativ.

Iz navedenoga se može zaključiti da potencijalne uštede primarno ovise o omjeru toplinske vrijednosti petrolkoksa i RDF-a u kombinaciji sa cijenama fosilnog goriva i naravno sa cijenama RDF-a.

Ako promatramo tablicu 15. i 17. zasebno tada se može zaključiti da supstitucijom petrolkoksa sa RDF-om od 11% imamo značajne uštede. Isto tako prilikom korištenja RDF-a moramo voditi računa o mogućim negativnim posljedicama na proizvodnju klinkera, a to su sljedeće:

- Smanjenje kapaciteta peći – zbog povećanja količine dimnih plinova u procesu koji nastaju suspaljivanjem RDF-a iz vlage materijala
- Povećanje emisija Hg (ovisno o kvaliteti RDF-a)
- Utjecaj na kvalitetu klinkera (RDF sa višim postotkom vlage ukoliko se koristi na glavnom gorioniku neće u potpunosti izgoriti u struji zraka, nego će pasti na klinker i negativno utjecati na kvalitetu)

## 7. ZAKLJUČAK

- Suspaljivanjem alternativnih gorivau cementnoj peći možemo ostvariti financijske uštede jer smanjujemo trošak goriva za proizvodnju klinkera.
- Potencijalne uštede goriva kod suspaljivanja alternativnih goriva ovise o omjeru toplinske vrijednosti i cijene fosilnog goriva i alternativnog goriva, te postotka vlažnosti alternativnog goriva.
- Cementne pećisu pogodne za suspaljivanje goriva iz otpada zbog sljedećeg:
  - termička obrada je kvalitetna (temperatura materijala iznad 1400 °C, a plinova do 2000 °C uz vrijeme zadržavanja više od 5 sekundi i visoku turbulenciju vrućih plinova) s potpunim razaranjem i najstabilnijih organskih spojeva;
  - pepeo iz termičke obrade otpada postaje dio klinkera i nema dodatnog problema za njegovo zbrinjavanje, odnosno izbjegava se uobičajeni postupak odlaganja velikih volumena na deponije čime se štiti tlo kao prirodan resurs;
- Koristeći alternativna goriva imamo benefit i kroz emisije CO<sub>2</sub> jer njihovim suspaljivanjem smanjujemo količinu CO<sub>2</sub>.
- Suspaljivanjem goriva iz otpada osigurana je energetska uporaba otpada, što donosi dodatne ekološke i gospodarske prednosti, osim što se štede ograničeni prirodni resursi – nafta, plin i ugljen;
- Cementna industrija uRH može imati značajnu ulogu u sustavu gospodarenja otpadom kao krajnji potrošač RDF-a koji se proizvodi u MBO postrojenjima (otprilike 250.000 t/god).

## 8. LITERATURA

### 8.1. Korištenje interneta:

<http://www.sciencedirect.com>, Mokrzycki, E., Uliasz – Bochenczyk, A., Alternative fuels for the cement industry, Applied Energy 74, 2003.

### 8.2. Korištenje interneta:

<http://www.sciencedirect.com>, Rahman, A., Rasul, M., G., Khan, M., M., K., Sharma, S., Recent development on the uses of alternative fuels in cement manufacturing process, Fuel 145, 2015.

### 8.3. Korištenje interneta:

<http://www.sciencedirect.com>, Rahman, A., Rasul, M., G., Khan, M., M., K., Sharma, S., Impact of alternative fuels on the cement manufacturing plant performance: an overview, 5<sup>th</sup> BSME International Conference on Thermal Engineering, Procedia Engineering 56, 2013.

### 8.4. Knjiga:

Lechtenberg, D., Diller, H., Alternative Fuels and Raw Materials Handbook, volume 1, Mulheim/Ruhr, Germany, 2012., str

### 8.5. Poglavlje u knjizi:

Manzanera, M., Alternative fuel, Chinyama, M., P., M., Alternative fuels in Cement Manufacturing, In Tech, 2011, str. 263 – 280.

### 8.6. Korištenje interneta:

<http://www.sciencedirect.com>, Kara, M., Environmental and economics advantages associated with the use of RDF in cement kilns, Conservation and Recycling 68, 2012.

### 8.7. Poglavlje Studije:

Dalmacijacement d.d., Korištenje komine od maslina kao alternativnog goriva u pogonima Dalmacijacement d.d., Split, 2008.

## **ŽIVOTOPIS:**

Rođena sam 04.12.1982. godine u Splitu. Odrasla sam u Solinu gdje sam i započela školovanje 1989 godine u osnovnoj školi „Vjekoslav Parać“.

Godine 1997. upisala sam se u Zdravstvenu školu u Splitu, smjer laborant. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja odradila sam obvezni pripravnički staž u Medicinsko – biokemijskom laboratoriju u Kaštel Sućurcu u trajanju od godinu dana te potom položila Državni ispit i stekla zvanje laboratorijskog tehničara.

Nakon pripravničkog staža, 2002. godine upisala sam se na Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije u Splitu, te sam 2005. godine stekla zvanje: inženjer kemijskog inženjerstva.

Nakon završetka studija, počela sam raditi u MORH-u, u 4. gardijskoj brigadi u Kninu te sam nakon 11 mjeseci rada poslana u Zagreb na školovanje u trajanju od godine dana (Časnička škola, Černomerac).

Po završetku Časničke škole 2008. godine stekla sam prvi časnički čin, poručnik, te sam dobila postavljenje na radno mjesto Zapovjednika voda u bojni NBKO u Dugom Selu. Nakon pet godina, 2013. godine promaknuta sam u čin natporučnika.

Godine 2012. sam upisala diplomski studij Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije, smjer Kemijsko inženjerstvo.

Krajem 2014. godine sam se udala, a nekoliko mjeseci nakon vjenčanja sam rodila prekrasnu djevojčicu Tiu.