

---

**USE OF ALTERNATIVE FUELS IN THE CEMENT INDUSTRY**

---

**Viktorija Bezhovska**

Faculty of technology and metallurgy, University St. Cyril and Methodius, Skopje, Macedonia  
[bezhovska@gmail.com](mailto:bezhovska@gmail.com)

**Blagica Cekova**

MIT University, Faculty of ecological resources management, Skopje, Macedonia  
[cekovab@yahoo.com](mailto:cekovab@yahoo.com)

**Filip Jovanovski**

Faculty of technology and metallurgy, University St. Cyril and Methodius, Skopje, Macedonia  
[f.jovanovski95@yahoo.com](mailto:f.jovanovski95@yahoo.com)

**Abstract:** Cement production releases many emissions like carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). The cement production industry is under pressure to reduce emissions. The use of alternative fuels in cement production is environmentally acceptable, for two reasons: preservation of non – renewable resources and reduction of waste disposal requirements. Alternative fuels used in cement production have different characteristics compared to conventional fuels. Switching from conventional fuels to alternative fuels presents several challenges that must be resolved in order to achieve successful application.

In this paper, some of the main alternative fuels used in cement production are discussed in detail. It focuses on the types of alternative fuels used, the environmental and socio-economic benefits of using alternative fuels, the characteristics of combustion of alternatives to alternative fuels and their impact on cement production and quality. The purpose of this seminar work is to provide an empirical assessment of alternative fuels.

**Keywords:** conventional fuels, alternative fuels, benefits, characteristics of combustion

**УПОТРЕБА НА АЛТЕРНАТИВНИ ГОРИВА ВО ЦЕМЕНТНАТА ИНДУСТРИЈА**

**Викторија Бежовска**

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Технолошко – металуршки факултет, Скопје,  
Република Македонија [bezhovska@gmail.com](mailto:bezhovska@gmail.com)

**Проф. д-р Благица Цекова**

МИТ Универзитет, Факултет за менаџмент на еколошки ресурси, Скопје, Република Македонија  
[cekovab@yahoo.com](mailto:cekovab@yahoo.com)

**Филип Јовановски**

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Технолошко – металуршки факултет, Скопје, Република  
Македонија [f.jovanovski95@yahoo.com](mailto:f.jovanovski95@yahoo.com)

**Резиме:** Производството на цемент ослободува многу емисии како јаглерод диоксид (CO<sub>2</sub>) и азотни оксиди (NO<sub>x</sub>). Индустијата за производство на цемент е под притисок да ги намали емисиите. Употребата на алтернативни горива во производството на цемент е еколошки прифатливо, од две причини: зачувување на необновливите ресурси и намалување на барањата за отстранување на отпадот. Алтернативните горива кои се користат во производството на цемент имаат различни карактеристики во споредба со конвенционалните горива.

Овој труд во детали ги разгледува некои од главните алтернативни горива кои се користат во производство на цемент. Се фокусира на видовите на алтернативни горива кои се користат, еколошките и социо – економските придобивки од користење на алтернативни горива, согорувачките карактеристики на засегнатите алтернативни горива, како и нивното влијание врз производството и квалитетот на цементот. Целта на овој труд е да обезбеди емпириска проценка на алтернативните горива.

**Клучни зборови:** конвенционални горива, алтернативни горива, согорувачките карактеристики,

**АЛТЕРНАТИВНИ ГОРИВА ВО ПРОИЗВОДСТВО НА ЦЕМЕНТ И НИВНА ПОДЕЛБА**

Алтернативните горива се разни врсти на обработен одпаден материјал кој останува одкога ќе се искористат сите можности за повторна употреба или рециклирање, а кои имаат осредена грејна вредност. Исто така се

познати и како неконвенционални или напредни горива, а вклучуваат отпадни масла, обработен цврст отпад од домаќинствата, искористени гуми и биомаса како што е комината од маслини, талогот од отпадната вода и др. Со нивната употреба се намалува вкупната емисија на стакленичките гасови.

Во цементната индустрија се користи поделба на алтернативните горива според CEMBUREAU (European Cement Association):

1. Алтернативни горива во гавита состојба – отпаден гас од рафинери, гас од депонии;
2. Алтернативни горива во течна состојба – худраулични масла
3. Распрашени, гранулирани или ситно иситнети цврсти алтернативни горива – пилевина, гранулирана пластика, иситнети гуми.
4. Грубо иситнети, цврсти алтернативни горива – иситнети гуми, гумен/пластичен отпад, дрвен отпад.
5. Цврсти алтернативни горива со неизедначена големина – цели гуми.

### СОГОРУВАЊЕ НА АЛТЕРНАТИВНИ ГОРИВА ВО ЦЕМЕНТНИ ПЕЧКИ

Широк спектар на алтернативни горива може да се искористи во цементната индустрија. Цементните ротациони печки имаат можност за сигурно согорување на различни материјали поради посебноста на технолошкиот процес на производство на цемент. Што значи деча целокупната маса на горивото како и пеплиот остаток се апсорбираат во клинкерот, полупроизвод во процесот на производство на цемент. Со тоа се постигнуваат две важни придобивки:

- Нема потреба за дополнително ракување со пеплта,
- Заради многу високите температури во печката од 1450°C до 2000°C органските делови се уништуваат, а штетните супстанции како тешките метали цврсто се вградуваат во минералите на клинкерот. Тие на тој начин стануваат инертни, односно имобилизирани и не е возможно повторно да се активираат со било какво механичко делување.

Меѓутоа, согорувањето на различните врсти на отпад бара подетална контрола и прилагодливост на технолошкиот процес на секоја врста на отпад. Алтернативните горива произведени од отпад имаат слична структура и состав. Следните својства треба да се земат во предвид пред да се користат алтернативните горива:

- **Агрегатна состојба на горивото – цврста течна гасовита**
- **Содржина на елементите Na, K, Cl, S,**

Приближно 95% од клинкерот се состои од оксидите CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> додека преостанатиот дел го составуваат таканаречените помали компоненти. Иако се присутни во мали количини (<1%) во цементната индустрија се избегнуваат бидејќи можат да имаат негативен ефект на својствата на продуктот и/или на производствениот процес. Едни од најважните такви состојки се оксидите на Na (Na<sub>2</sub>O) и K (K<sub>2</sub>O) кои најчесто се нарекуваат алкалии. Високата содржина на алкалии во цементот може во присуство на влага да доведе до реакции кои создаваат гел што ја зголемува веројатноста за пукање на бетонот.

Алалните метали, Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O имаат голем афинитет кон SO<sub>3</sub> и ако во клинкерот има доволно присуство на сулфати алкалиите нормално се присутни како сулфати, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 2CaSO<sub>4</sub> \* K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Високата содржина на алкални сулфати во цементот влијае на реактивноста на цементот. Од друга страна пак, ако доволно алкални сулфати не излезат од печката заедно со клинкерот, присуството на алкалиите може да има разорно дејство на производството, особено на системите со високо ефикасни изменувачи на топлина, циклони.

- **Токсичност (органски компоненти, тешки метали),**
- **Состав и содржина на пепел и содржина на испарливи материји,**

Во поголемиот дел од печките содржината на пепел од горивата се вградува во структурата на клинкерот и со тоа се менува составот на производот. Главни соединенија кои се наоѓаат во пепелта од горивата се соединенијата на силикати и алуминати кои заедно со суровината го сочинуваат составниот дел од клинкерот. Составот на пепел од горивото го ограничува нивото на замена на алтернативните горива.

- **Калориска вредност – поголема од 14 MJ/kg,**
- **Содржина на хлор – помала од 0.2% и содржина на сулфур – помала од 2.5%,**

Супстанците кои најчесто влијаат на работата на печката се алкалните сулфати и алканите хлориди. Тие се формираат во процесот на создавање на со алкалиите, сулфурните соединенија и хлоридите кои се содржани во горивото и суровината. Хлорот испарува скоро потполно во синтер зоната (зоната на печење), поради високиот притисок на парите на алкалните хлориди, додека сулфатите имаат воглавно

низок притисок на пареите во спореба на алкалните хлориди. Алкалните сулфати испаруваат во мал опсег во синтер зоната. Алкалните компоненти кои испаруваат, кондензираат во предгревачот предизвикувајќи запушување на каналите и циклоните.

- **Физички својства (големина на отпад, густина, хомогеност),**  
Начинот на горење на честичките на горивото зависи од големината, густината и површината на горивото. Особено поголемите честички на горивата со поголема густина и мала површина имаат својство да паднат од пламенот пред целосно согорување.
- **Својство на мелење,**
- **Содржина на влага,**
- **Емисии кои ги испуштаат,**
- **Квалитет на цементот и негова компатибилност со околината не смее да се намали,**
- **Алтернативните горива треба да бидат економски исплатливи,**
- **Доспност.**

### НАЈЧЕСТО КОРИСТЕНИ АЛТЕРНАТИВНИ ГОРИВА ВО ЦЕМЕНТНА ИНДУСТРИЈА

Добро – основаната технологија, од една страна, овозможува ротационата печка на било која фабрика за цемент да биде отпуштена со ниско испарливи горива како што се петрококс, ниско – испарлив битуменозен јаглен и антрацит, без проблем. Од друга страна, високо испарливите и ниско калорични алтернативни горива имаат лимитирана употреба во примарните отпуштачки системи на печката поради нивните релативно ниските температури на согорување. Тие се користат повеќе во отпуштањето на предкалцинаторот отколку во печката, освен ако нивната калориска вредност надминува околу 16,8 MJ / kg. Искуството покажало дека е тешко да се добие целосно согорување на ниско – испарливите горива во предкалцинаторот. Употребата на ниско – испарливите горива во предкалцинаторите, често се бара дизајн и оперативни модификации на предкалцинаторот или посебно конструирани предкалцинери.

Префрлањето од конвенционалните горива кон алтернативни горива презентира неколку предизвици кои мора да се решат. Неквалитетната дистрибуција на топлинската енергија, нестабилната работа на предкалцинаторот, блокадите во циклоните на презагревавачот, наслугите во столбовите на каналите, поголемите емисии на SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, и CO и формациите од прстени во печките се некои од главните предизвици.

Квалитетот, видот и количината на гориво врши големо влијание врз квалитетот на произведениот клинкер. Како резултат на тоа, изборот на соодветен тип на гориво е од витално значење за оптималната ефикасност. Горивата добиени од отпад имаат различни карактеристики во споредба со конвенционалните горива какво што е јагленот и за да бидат способни да ги користат во производство на цемент, познавање на нивниот состав е важно. Енергијата и содржината на пепел, како и на влага и испарливите содржини се сите важни ограничувачки фактори. Во крајна линија, цената и достапноста на алтернативните горива остануваат главните фактори на влијание за нивниот избор.

#### Употребени гуми

Еколошката прифатеност на употребата на гумите како гориво во печните системи зависи од индивидуалните перформанси на фабриката, обемни податоци за животната средина се генерирани за различни конфигурации на печки и замена на горивото. Во принцип, различните резултати од испитувањата покажуваат дека горивото добиено од гуми (TDF – Ture derived fuel) нема негативно влијание врз емисиите; односно, употребата на TDF не предизвикува надминување на работните ограничувања. Во споредба со јагленот, честичките, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> и HCl емисиите обично се намалуваат или остануваат константни со користењето на TDF. Органските емисии, диоксините и фураните се настојува да се намалат, додека пак промените на концентрациите на тешки метали се номинални.

Табелата 1 покажува елементарни анализи на пепелта од гуми во споредба со онаа на јагленот. Употребата на TDF во печни системи на цемент технички звучи како гумата да е уништена и неорганичкиот дел, вклучително и тешките метали, се заробени и комбинирани во производот. Дополнителната предност на користењето на TDF е неговниот челичен дел. Челикот може да ја замени, делумно, поради барањето на железото во рецептот за суровинското брашно. Содржината на железо оксид во Портланд цементот е 1.5 – 4.5% врз основа на масата. Од друга страна, иако цинк оксидот делува како флукс како и минерализатор, познато е дека има штетно влијание врз квалитетот на цементот ако е присутен во вишок. Тој силно го забавува времето на стврднување и јачината на цементот ако вкупната содржина на цинк од сите горива надминува 4000 делови во милион (ppm). Затоа, освен проблемите со нецелосното согорување, содржината

на цинк оксидот во гумите има тенденција да ја ограничи замената на конвенционалните горива во производството на цемент. Согорувањето на целите гуми бара долго време на престој за да се добие целосна конверзија. Во некои цементни инсталации, гумите се целосно испечени, најчесто во ротационите печки. Почесто, тие се исецкани во процесот на ситнење, произведувајќи парчиња гуми и пропратен отпуштен материјал со јаглен во прекалцинерот. Тие сепак не можат да бидат толку ситно економски раздробени и во најдобар случај, тие можат да бидат исецкани на парчиња од околу 25 mm, обично, нивната големина се движи од 25 – 100 mm.

Табела 1 Елементарни анализи на пепел од гуми во споредба со јаглен

Елемент (оксид)	Јаглен	TDF со жица	TDF без жица
Алуминиум	20.7	1.93	13.11
Калциум	3.3	0.56	3.8
Железо	18.89	0.35	2.37
Магнезиум	0.79	0.10	0.68
Фосфор	0.62	0.10	0.68
Калиум	2.06	0.14	0.95
Титаниум	0.82	0.14	0.95
Силициум	47.98	5.16	35.05
Натриум	0.48	0.13	0.88
Сулфур	4.33	0.99	6.72
Цинк	0.02	5.14	34.81
Метал		85.26	
Вкупно	100	100	100

Поради временски релативно краткиот престој во предкалцинерите, околу 2 до 4s, отпуштањето на парчиња гума често резултира со нецелосно согорување. Некои од парчиња гума паѓаат директно во задниот крај на печката или во терцијарниот воздушен канал, во аранжманот на влезниот прекалцинер пред тие да бидат целосно одпарени. Во задниот крај на печките има многу малку кислород во печниот гас за согорување на парчињата гума. Помали парчиња и фрагменти од одпарените парчиња лебдат многу полесни и се пренесуваат пред да заврши нивното согорување во прекалцинерот. Ова значи дека значителен дел од парчињата гума исто така може да се пренесат и во ротациона печка како јаглородни честички измешани со калциниранираната смеса. Покрај недоволното искористување на енергијата на горивото, зголемувањето на содржината на јаглород во обичниот Портланд цемент ја забрзува корозијата на челичното зајакнување во бетонот, алкалноста на цементите е засегната и цементот ја губи својата карактеристична боја.

Проблемите со користењето на старите гуми како алтернативно гориво произлегуваат од недостатокот од разбирање на нивното однесување при согорувањето. Гумите, како и повеќето од алтернативните горива страдаат од недоволна карактеризација. Гумите се јаглеводородно - базиран материјал добиен од масло, природна гума и гас. Некои неоргански материјали, како што е прикажано во табелата 2 се додаваат за подобрување на реакциите или перформансите. Како такви гумите се многу нехомогени и покажуваат големи варијации. Нехомогеноста се јавува поради кабловитото зајакнатите материјали и челичните додатоци кои се користат во нивната конструкција. Варијациите во својствата се во зависност од нивната примена, екстремната големина и геометриските разлики. Варијациите на својствата може да се јават како резултат на различен степен на искористување на гумите и во заисност од конструкцијата на државните патишта.

Топлинската деградација на гумите е познато дека произведува широк спектар на производи во течна (маслена) и гасни фази во дополнително на остатокот од јаглен. Главните гасови произведени за време на пиролизата на гуми се: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, и C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>, со пониски концентрации на други јаглеводородни гасови.

Табела 2 Типичен состав на гуми

Состав	Приближен процент
Гума (природна и синтетичка)	38
Полнители (саѓи, цинк оксид, итн)	30
Зајакнувачки материјали	16

Пластификатори (масла и смоли)	10
Хемикалии	5
Разно	1

Времето на исцрпување на и одпарување и согорувањето на парчињата гума остануваат извори на контроверзии. Одпарувањето на просечно парче гума одржувано во прекалцинерот на температура помеѓу 1050 – 1150 °C, со брзина на гасот од 22 m / s е речиси завршена во 30 секунди. Целосното одпарување и максималните времиња на задржување на парчињата гума на температура од 900 °C во огноотпорно обложената печка кои се движат од 2 до 20 минути соодветно се евидентирани.

Кога парчињата гума се внесуваат во печката тие горат со енергичен пламен по палењето. Времето на запалување јасно зависи од температурата. На 900 °C е забележана просечно време за палење од 3 s. Енергичниот пламен е доказ за интензивно одпарување на парчето од гумата. По исцрпувањето на испарливите состојки, пламен со низок интензитет ги следи и ги гори до исцрпување – карактеризирање на согорувањето на јаглен. Јагленот од гумите потекнува од зајакнувачките саѓи кои се користат како полнителни во производството на гума. Јагленот од гумите исто така ги содржи речиси сите неоргански соединенија присутни во гумите.

#### Смеса од коски и месо

Смесата од коски и месо (МВМ) се произведува во фабриките за рендерирање каде се мешаат, мелат и готват отпадоците од животинско потекло и коските. Лојот е извлечен во текот на процесот на готвење, а потоа останатиот материјал се суши и меле.

Ко – инсинерацијата во печните системи за производство на цемент е најчестиот начин за уништување на МВМ). Во споредба со јагленот, МВМ има понизок фиксен јаглерод и висока содржина на пепел и хлор. Поголемиот дел од хлоридот во МВМ е присутен како обична сол (NaCl). Содржината на сулфур во МВМ е малку пониска отколку во јагленот. Сепак, врз основа на калориската вредност, содржина на сулфур во МВМ може да биде за иста како во јагленот. МВМ има калорична вредност (HHV) од околу 14 – 17 (MJ / kg), тоа е околу половина од таа на јагленот. Високата содржина на калциум во МВМ може да биде предност така што може да дејствува за да го задржи поголемо количество на SO<sub>2</sub> формиран за време на согорување на МВМ. Користењето на МВМ во производството на цемент дополнително ја намалува можноста за зголемување на емисиите на SO<sub>2</sub>.

Границата во стапката на дозирање на МВМ се должи на ефектите на хлоридите. Хлоридите лесно испаруваат од зоната на согорување во печката и кондензираат во разменувањето на топлина за да се комбинираат со алкалиите и сулфатите за да формираат мешавини со ниска точка на топење. Ова води до создавање на наслаги и блокади во единиците на предзагревачот. Нивното влијание врз работењето на печките со циклонски предзагревачи е толку сериозна што за поранешните е вообичаена практика за ограничување на вкупниот износ на хлорид воведен во процесот до максимум од 0.015 проценти од дозираното суровинско брашно.

Бидејќи содржината на азот во МВМ е околу 7 – 8 пати повисока од онаа во јагленот, може да се очекува дека емисиите на NO<sub>x</sub> ќе се зголемат со зголемување на МВМ во ко – согорувањето. Сепак, конверзијата на N – горивото до NO<sub>x</sub> и N<sub>2</sub>O се намалува со зголемување на содржината МВМ во јаглен – МВМ мешавината. 20% (теж.) МВМ додадени на горивото довеле до намалување на концентрацијата на NO<sub>x</sub> од околу 25% во однос на согорувањето на самиот јаглен, иако внесувањето на N било речиси двојно. Ова се припишува на значаен дел од N – горивото испуштено како NH<sub>3</sub> за време на отпарувањето со што се намалува NO<sub>x</sub> да N<sub>2</sub> преку познати механизми DeNO<sub>x</sub>.

МВМ пепелта главно произлегува од согорувањето на коските, содржи голема количина на фосфат (56,3%) и калциум (30,7%), двете главни состојки на коските. Исто така, има значителни нивоа на натриум (2,7%), калиум (2,5%) и магнезиум (0,8%). Високата содржина на калциум во МВМ е предност во цементот, високото ниво на фосфат, натриум, калиум и магнезиум може да има штетни ефекти врз процесот на производство и / или квалитетот на цементот. Фосфатот е соединение со фосфор. Нормалниот опсег на содржината на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> во портланд цементниот клинкер е 0,03 – 0,22%. Кога се присутни поголеми количини од P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> дикалциум силикат (C<sub>2</sub>S) се стабилизира до степен да конверзијата на трикалциум силикат (C<sub>3</sub>S) е инхибирана. Кога количината на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> моментално ќе се зголеми за еден процент, 10% од C<sub>3</sub>S се губат со секој додаден 1% од P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Калиумот и натриумот се алкалии и во цементот, високи алкални нивоа може, во присуство на влага да предизвикаат реакции со одредени видови на агрегати и да произведат гел кој се шири што резултира во пукање во бетоните и малтерите.

Употребата на МВМ во производството на цемент може да се ограничи со компонентите од

произведената пепел.

### **Аграрна биомаса**

Биомасата и остатоците од биомасата, ако се вбројат во еколошки и социјално одржлив начин, би претставувале огромен – и во голема мера неискористен – обновлив извор на енергија. Културите и агрикултурните остатоци имаат ниски волуменска тежина и енергија, и од тие причини не можат да се превезуваат далеку од производствените локации без некоја форма на преработка. Остатоците од големи комерцијални фарми и агроиндустриите можат да се конвертираат до горива со релативно висок квалитет и високоенергетски густы горива за употреба во домашни, комерцијални и индустриски сектори низ голем број на физички, биолошки и термо-хемиски процеси на конверзија. Употребата на земјоделските остатоци од биомаса во производството цемент е толку честа појава во индустријализираните земји и изгледа дека се концентрирани во повеќе рурални региони во развој како Индија, Тајланд и Малезија. Видот на биомаса искористена од страна на цементарниците е многу променлива, и се базира на култури кои се локално одгледувани. На пример оризовата арпа, лешниковите, кокосовите лушпи, парчињата кафе и палмините оревови лушпи се меѓу многуте видови на биомаса кои во моментот се изгорени во цементни печки.

Горивата од биомаса се сметаат за јаглеродно – неутрални бидејќи јаглеродот ослободен за време на согорувањето е изваден од атмосферата од видови за време на фазата на раст. Поради растот на биомасата и нејзиното користење како гориво се случува на многу краток временски период целиот циклус да има нула нето влијание на атмосферскиот јаглерод диоксид. Важна забелешката на оваа претпоставка е дека растењето на биомасата и нејзиното транспортирање до точка на употреба бара влезови како гориво и ѓубриво кое придонесува за јаглероден отпечаток во биомасата. Кога биомасата се одгледува конкретно за гориво, протокот на стакленичките гасови, кои обично се припишуваат на биомасата се оние кои се поврзани со вештачкото ѓубриво, собирањето и транспортирањето до објектот. Кога се користат остатоци од биомаса, ѓубривото се смета само за дел од јаглеродниот отпечаток ако остатоците, кои нормално ќе останат во областите на збогатување на почвата се собираат.

Во прилог на тоа што служи како офсет за побарувачката на не – обновливи горива, употребата на остатоците од биомаса се од дополнителна корист на намалување на  $\text{NO}_x$  емисиите од цементните печки. Емпириските докази укажуваат дека намалувањето на  $\text{NO}_x$  се должи на фактот дека поголемиот дел од азотот (N) во биомасата се ослободува како амонијак ( $\text{NH}_3$ ), кој делува како намалувачки агент со  $\text{NO}_x$  за да се формираат молекули азот ( $\text{N}_2$ ). Интересно е тоа што изгледа дека нема силна врска помеѓу содржината на азот N во биомасата и последователните намалувања на емисиите на  $\text{NO}_x$ .

### **Мил**

Голема количина мил се произведува во светот. Милта се формира за време на третманот на отпадните води. Отпадната вода е комбинација од течност – или вода – која ги носи отпадоците отстранети од станбени, институционални, комерцијални и индустриски објекти.

Во земјите како Јапонија, САД, Данска, Холандија, Швајцарија и Белгија милта се користи во производство на цемент. Во производството на цемент, милта е обично ко – согорна со јагленот во пред сушена форма. Пред сушената мил е полесно да се складира, транспортира и дозира. Милта за ко – согорување е исушена, прашкаста и пневматски дозирана во горилници. Или милта е предходно помешана со јаглен и се дозираат заедно, или двете горива може да се дозираат посебно ако се користат повеќекратни горилници на горива. Загриженоста за животната средина поврзана со согорувањето на канализацискиот отпад се значително намалени кога милта се користи како гориво во цементните печки. Органскиот дел се уништува и неорганскиот дел, вклучително и тешките метали, се заробува и комбинира во производот.

Согорувањето на милта се очекува да доведе до повисоки емисии на  $\text{SO}_2$ . Во производството на цемент, тоа не може да влијае на емисиите на  $\text{SO}_2$  значително, бидејќи околу 60 до 80% од сулфурот е фатен од страна на калциум оксидот во системот на печката. Сепак, како што беше дискутирано порано, во цементните печки сулфурот е познато дека предизвикува тешки наслаги поради формирањето на сулфатни соединенија. Повисоката содржина на азот во милта не се претвора во сразмерно зголемување на  $\text{NO}_x$  емисиите во прекалцинерите. Ова се должи на пониските температури на согорување, и под  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , кои го потиснуваат топлинското формирање на  $\text{NO}_x$ . Влезниот прекалцинер ги комбинира вреднисисте на двете воздушни и горивни исценирачки технологии. Во овој аранжман, горивото горено во прекалцинерот се користи во реакциите на повторно горење.

Пепелта од милта, сепак, има висока содржина на  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  кои можат да влијаат на квалитетот на цементот, доколку се користат вишокот на количини на милта. Табелата 3 ја покажува споредбата на составот на милната пепел со оние на цементите. А содржина хлор од талогот на повеќе од 0,2 – 0,5 проценти може да предизвика затнување во циклонските предзагревачи. За да се задржи нивото на

оксида во рамките на границата предложена е максимална стапка на дозирање на милта да биде не повеќе од 5% капацитетот за производство на клинкер на фабриката за цементот, освен ако милта не е кондиционирана и стабилизирана со вар, нормално 0,3 – 0,5 kg CaO / kg сува мил.

Табела 3 Споредба на составот на милната пепел со оние на цементите

	Цемент	Милна пепел
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	

Милта има значително повисока содржина на азот, испарливи материи и пепел, и многу низок фиксиран јаглерод отколку типичните јаглени. До 80% од јаглеродот во милта е испарлив во јаглерод и согорувањето на милта е карактеризирано од согорувањето на испарливите честички од гасната фаза. Калориските вредности (HHV) на милта обично се движат од 8 – 17 J / kg. Причината за оваа варијација во HHVs се должи на третманот за производство на мил и хетерогената природа на милта. Главни производи на пиролизата на милта се: гас (испаливи честички), јаглен и масло, чии количини зависат од факторите како што е температурата на пиролизата. Милта ослободува испарливи честички над широк температурен опсег 250 – 850 °C. Процентот на гасната компонента се зголемува со оглед на тоа количините на мало и јаглен се намалуваат со зголемување на температурата). Составот на пиролизираниот гас од претходно исушената мил зависи од видот на милта. Сепак, генерално главните гасовити компоненти се: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. Количините на CO и H<sub>2</sub> се зголемуваат со оглед на тоа дека количините на CO<sub>2</sub> и C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> се намалуваат со зголемување на температурата.

## ЗАКЛУЧОК

Согорувањето на алтернативните горива во цементните печки доверува до финансиски заштеди бидејќи се намалува трошокот за горивата кои се користат при производството на клинкер. Потенцијалните заштеди при согорувањето на алтернативните горива зависат од големината на топлинските вредности и цените на фосилните горива и алтернативните горива, како и процентот на влага во алтернативното гориво.

Цементните печки се погодни за согорување на алтернативните горива од следните причини: термичката обработка е квалитетна со потполно разорување и на најстабилните органски соединенија, пепелта од термичката обработка на отпадот станува дел од клинкерот и нема додатни проблеми за нејзино третирање, односно се избегнува вообичаената постапка за одленување на големи волумени на депонии со што се штити земјата како природен ресурс, користејќи ги алтернативните горива има бенефитот и низ емисиите на CO<sub>2</sub> бидејќи со нивното спалување се намалува количината на CO<sub>2</sub>. Со согорувањето на алтернативните горива е осигурана енергетското опоравување на отпадот, што носи додатни еколошки предности, освен што се штедат ограничените природни ресурси – нафта, гас и јаглен.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mokrzycki, E., Uliasz – Bochenczyk, A., Alternative fuels for the cement industry, Applied Energy 74, 2003.
- [2] 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.
- [3] Rahman, A., Rasul, M., G., Khan, M., M., K., Sharma, S., Impact of alternative fuels on the cement manufacturing plant performance: an overview, 5th BSME International Conference on Thermal Engineering, Procedia Engineering 56, 2013.
- [4] Lechtenberg, D., Diller, H., Alternative Fuels and Raw Materials Handbook, volume 1, Mulheim/Ruhr, Germany, 2012., str
- [5] Manzanera, M., Alternatative fuel, Chinyama, M., P., M., Alternative fuels in Cement Manufacturing, In Tech, 2011, str. 263 – 280