

ENERGETSKI POTENCIJAL I POSTUPCI TERMIČKE OBRADJE OTPADNIH AUTO GUMA

ENERGY POTENTIAL AND THERMAL TREATMENT OF WASTE TYRES

*Jovan Sredojević¹,
Maja Krajišnik²,*

¹ University of Zenica,
Faculty of Mechanical
Engineering

² GS-TMT d.d. Travnik

Ključne riječi:

otpadne auto gume,
suspaljivanje, industrija
cementa, piroliza

Keywords:

waste tyres, coincineration,
cement kilns, pyrolysis

Paper received:

08.09.2015.

Paper accepted:

xx.xx.2016.

Pregledni rad

REZIME

Uspostava racionalnog sistema upravljenja otpadnim auto gumama u Bosni i Hercegovini predstavljao bi značajan doprinos kako sa ekološkog aspekta zaštite osnovnih elemenata okoliša, tako i sa ekonomskog vezano za korištenje sekundarnih sirovina i energije. Otpadne gume predstavljaju vrijednu sirovinu, koje se mogu u potpunosti recikirati mehaničkim i termičkim postupcima. U Evropskoj uniji oko 80% ukupnih masa otpadnih guma se koriste u kao sekundarne energetske sirovine u industriji cementa, te za dobivanje ulja i plina u procesu pirolize. U ovom referatu dati su podaci energetskog potencijala otpadnih auto guma i osnovni parametri za njihovo korištenje kao energetskih sekundarnih sirovina.

Subject Reviews

SUMMARY

Establishing rational system for waste tyre management in Bosnia and Herzegovina would represent significant contribution to environmental protection and usage of alternate energy sources. Waste tyres represent valuable raw material which can be recycled by mechanical and thermal processes. In European Union 80% of all produced waste tyres are used as secondary raw material in cement industry and pyrolysis processes. In this paper are given basic parameters of waste tyres energy potential and possibility of their usage as secondary raw materials.

1. UVOD

Neadekvatno upravljanje otpadnim auto gumama predstavlja opasnost po zdravlje i sigurnost ljudi, kao i na sve elemente okoliša. Kako bi se upravljalo rizicima koje sa sobom nose otpadne auto gume, potrebno je stalno usavršavati sistem upravljanja ovim gumama. Međutim, mnoge zemlje nisu u mogućnosti da obrade i zbrinu na okolinski prihvatljiv način velike količine otpadnih auto guma.

Otpadne auto gume u Evropskoj uniji su identificirane kao jedan od prioritarnih otpadnih tokova koji zahtijeva posebnu pažnju kako bi se povećala stopa njihovog iskorištavanja, a istovremeno zaštitili svi elementi okoliša. Prioriteti poboljšanja otpadnih tokova otpadnih auto guma vezani su za visoku stopu produkcije, opasnosti koje ti otpadni tokovi predstavljaju po okoliš i zdravlje ljudi, kao mogućnosti obrade i energetskog iskorištavanja otpadnih auto guma.

1. INTRODUCTION

Inappropriate management of waste tyres represents hazard for human health, safety and environment. System of waste tyres management needs to be continually maintained and improved. Many countries can't process and manage in environmental sound way enormous amounts of waste tyres generated every year.

In European Union waste tyres are identified as one of priority waste line which demands special attention so that rate of their exploitation can be increased and environmental preserved. Priorities involved with waste tyres management are related to high production rates, hazards which they represent to environment and human health as well as treatment options.

U 2010. godini Evropska unija se suočila sa izazovom adekvatnog zbrinjavanja 3,3 miliona tona otpadnih guma. Godišnji trošak zbrinjavanja otpadnih guma u Eevropskoj uniji procijenjen je na 600 miliona eura [1]. Izazov koji predstavlja organizovanje efikasnog sistema upravljanja otpadnim auto gumama veže se za tehničke i okolinske probleme koji se odnose na gume kao proizvod i kao otpad.

Trenutno u Bosni i Hercegovini ne postoje tačni podaci o produkciji otpadnih auto guma. Poseban problem predstavlja nedefinirana zakonska legislativa koja uređuje oblast zbrinjavanja ovih otpadnih guma.

U ovom radu dat je kratak pregled energetskeg potencijala i dva postupka termičke obrade otpadnih auto guma – postupak suspaljivanja u industriji cementa koji se koristi od sedamdesetih godina u Evropskoj uniji, a postupak pirolize se od 2014. godine koristi u Bosni Hercegovini.

2. ENERGETSKI POTENCIJAL I POSTUPCI OBRADNE OTPADNIH AUTO GUMA

Problem koji je važan kod razmatranja guma kao otpadnog materijala jeste činjenica da je brzina produkcije otpadnih guma mnogo veća nego potreba tržišta za materijalima koji nastaju mehaničkom obradom guma.

Različita tehnološka rješenja su raspoloživa za zbrinjavanje otpadnih auto guma. Postupci obrade se razlikuju ali postoji trend koji promovira materijalnu i energetskeg reciklažu.

Ovaj trend se ubrzao donošenjem EU legislative o deponovanju otpada 1999/31/EC kojom je zabranjeno deponovanje cijelih otpadnih guma od 2003. godine, a od 2006. godine i deponovanje usitnjenih otpadnih auto guma. U tabeli 1 dati su postupci obrade otpadnih auto guma [2].

Parametri auto guma u dizajnu i veličini zavise o primjeni ovih guma. U tabeli 2 dat je sastav auto guma [3].

Prosječna toplotna moć otpadnih auto guma iznosi oko 32,34 MJ/kg. Za zamjenu 1 t veoma kvalitetnog uglja potrebno je oko (0,76 - 0,95) t tona auto guma. Istraživanja su pokazala da u prosjeku 18,3% ugljika u auto gumama putničkih automobila i 29,1% u kamionskim gumama dolazi iz prirodnog kaučuka.

In 2010 European Union faced with challenge to manage in environmental sound way 3,3 million tons of waste tyres. Annual cost of waste tyres management in European Union is estimated to 600 million euro [1]. Challenge which represents organisation of efficient management system of waste tyres is related to technical and environmental issues that are related to tyres as product and as waste.

We dont have accurate information about waste tyres production in Bosnia and Herzegovina. Special problem is undefined law legislative in this area.

In this paper is shown short review of tyre energy potential and two thermal processes of waste tyres treatment – co-incineration in cement kilns which is used in European Union since 1970s and pyrolysis which is used in Bosnia and Herzegovina since 2014.

2. CALORIC POTENTIAL AND TECHNOLOGIES FOR WASTE TYRES PROCESSING

The main issue with waste tyres is that their generation rate is much higher than market need for material gained with processes of mechanical tyres treatment.

Different technological solutions are available for waste tyres treatment. Treatment solutions differ but there is a trend which promotes material and energy recycling.

Environmental problems and health hazards posed by waste tyres uncontrolled generation caused many countries to response with legal framework that addressed this issue. EU banned whole tyre disposal in 2003 with Directive 1999/31/EC and shredded tyres disposal since 2006. In Table 1 are shown waste tyres treatment processes [2].

Parameters of tyres depend of tyre application. In table 2 is shown typical composition of tyres [3].

Average heat power of car tyres is 32,34 MJ/kg. It takes (0,76-0,95) t of car tyres to replace 1 tonne of high quality coal. Research have shown that in average 18,3% of carbon in passenger car tyres and 29,1% in truck tires comes from natural rubber.

Tabela 1. Postupci obrade otpadnih auto guma [2]**Table 1.** Processes of waste tyres treatment [2]

Koncept procesa Concept of process	Tehnologija Technology	Glavni produkti - Main products					
		Energija Energy	Ulje Oil	Čađ Char	Željezo Iron	Granulat Granulate	Puder Powder
Procesi termičke konverzije Thermal conversion processes	Incineracija - Incineration	O			O		
	Piroliza -	O	O	O	O		
	Gasifikacija -	O			O		
	Plazma-	+			O		+
	Suspajivanje u cementnim pećima Co-incineration in cement kilns	O			O		+
Mehanička obrada Mechanical treatment	Usitnjavanje Shredding				O		+
	Usitnjavanje i granulacija Shredding and granulation				O	+	
	Usitnjavanje, granulacija i kriogena obrada Shredding, granulation and criogenic treatment				O	+	O
O – izlaz iz procesa - O – product + - može nastati u procesu - + - can be result of process							

Tabela 2. Sastav auto guma [3]**Table 2.** Typical composition of tyres [3]

Komponenta - Component	Udio – Percentage [%]
Guma - Tyre	38%
Punjenje (čađ, silicij) - Fill (char, silica)	30%
Ojačanje (čelik, najlon, rayon) Reinforcement (steel, naylon, rayon)	16%
Plastifikatori (ulja i smole) Plasticators (oils i resins)	10%
Vulkanizacija (sumpor, cink oksid) Vulcanisation (sulphur, zink oxide)	4%
Antioksidanti (sprečavanje štetnog djelovanja ozona) Antioxidant (prevents ozone influence)	1%
Elementarni sastav - Elementar composition	Udio – Percentage [%]
Ugljik - Carbon	86,4%
Hidrogen - Hydrogen	8%
Nitrogen - Nitrogen	0,5%
Sumpor - Sulphur	1,7%
Kisik - Oxygen	2,4%
Neposredna analiza - Analysis	Udio – Percentage [%]
Isparljive komponente - Volatile components	62,1%
Ugljik - Carbon	29,4%
Pepeo - Ashes	7,1%
Vlaga - Moisture	1,3%

Visok udio ugljika kao i visoka toplotna moć čine otpadne auto gume dobrim materijalom za energetska iskorištavanje.

Postoji više različitih načina upravljanja otpadnim auto gumama koji su sigurni i efikasni, ukoliko se vrše u skladu sa zakonskim odredbama. Ove metode uključuju suspaljivanje u cilju iskorištavanja energetske potencijala auto guma, pirolizu, mehaničku obradu itd.

Suspaljivanje otpadnih auto guma se primjenjuje kao postupak zbrinjavanja ovih guma od 70-tih godina prošlog stoljeća u mnogim zemljama Evropske unije koje imaju uređen sistem upravljanja ovom vrstom otpadnih materijala. Ovaj način zbrinjavanja guma je posebno pogodan za industriju cementa u kojima se iskorištava energetska potencijal auto guma, a metalni sastav ovih guma kao zamjena za sirovinski materijal.

Termin suspaljivanje se obično odnosi na upotrebu otpada kao zamjene za fosilna goriva u energijski intenzivnim procesima. Najvažnija uloga otpadnih auto guma u procesu suspaljivanja jeste zamjena za ugalj. Mnoge vodeće svjetske cementne kompanije (Lafarge, Holcim, Cimpor, Heidelberg, Italcement, Castle Cement) u svojim tvornicama širom svijeta primjenjuju suspaljivanje otpadnih auto guma u svojim pećima.

Otpadne auto gume se doziraju direktno u rotacionu peć u kojoj se vrši sagorijevanje na visokim temperaturama, pri čemu se vrši proizvodnja klinkera. Energetska potencijal auto guma se odmah iskoristi u vidu nastale toplote, nesagorivi ostatak se veže u cementni klinker. Prednosti ovog načina tretmana su visoke radne temperature, dugo zadržavanje otpadne guma u cementnim pećima, visok stepen miješanja, absorpcija kiselih gasova od strane alkalne sredine koja prevladava u peći.

Postupak pirolize je tehnologija koja ima značajan potencijal, iako se koristi rjeđe u odnosu na postupak suspaljivanja otpadnih auto guma. Proces pirolize odvija se u zatvorenom reaktoru bez prisustva zraka, odnosno kiseonika pri visokim temperaturi, što dovodi do razlaganja auto guma. Postupkom pirolize nastaju pirolizni plin, pirolizna čađa, čelik i pirolizno ulje koje ima slične karakteristike kao i teška ulja. Na slici 1 date su osnovne komponente postrojenja za pirolizu starih auto guma i gumenog granulata [6].

High share of carbon and high heat power make tyres good material for energy treatment.

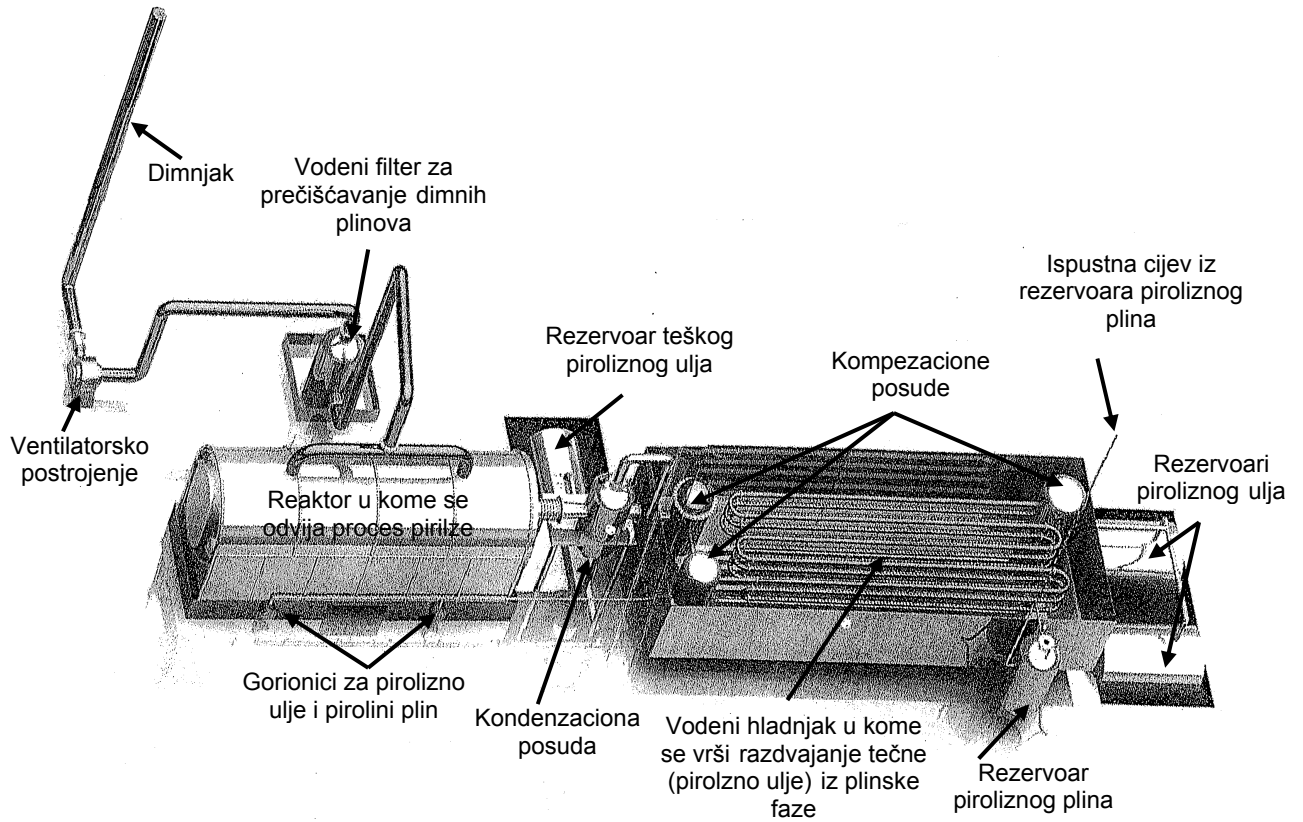
There are more different methods of waste tyre management which are safe and efficient if they are carried out under legal framework. These methods include co-incineration in cement kilns, pyrolysis, mechanical treatment etc.

Co-incineration of waste tyres is applied in many countries of European Union, which have regulated system of waste tyre management since 1970s. This process is especially interesting for cement industry where energy potential of tyres can be utilised and their iron share can be used as supplement for virgin materials.

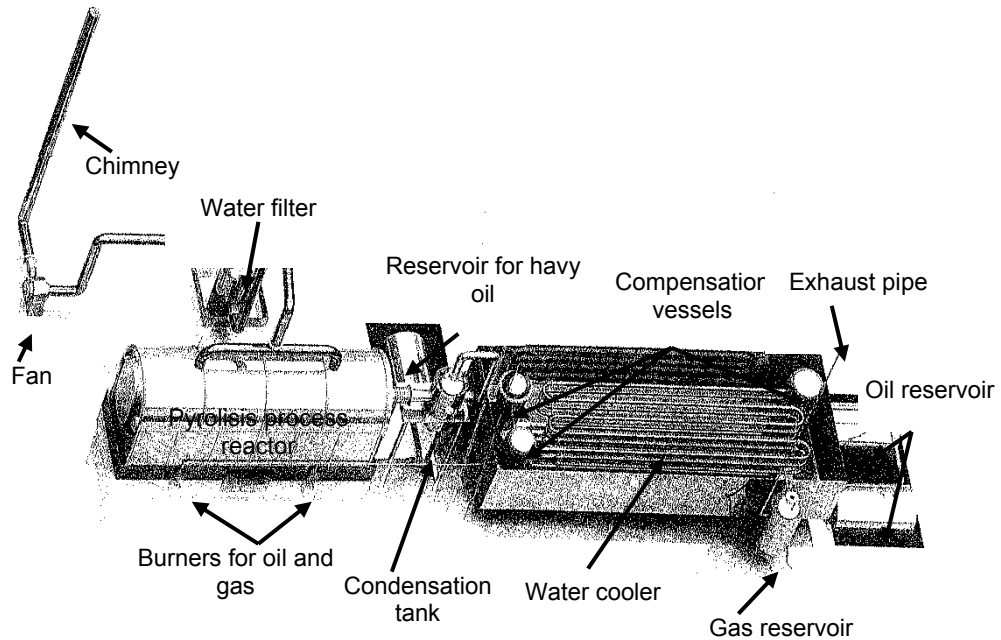
Term co-incineration is usually referred to utilisation of waste tyres as replacement for fossil fuels in energy intense processed. The most important role of waste tyres in co-incineration processes is replacement for coal. Many world leading cement companies (Lafarge, Holcim, Cimpor, Heidelberg, Italcement, Castle Cement) in their factories around the world apply co-incineration of tyres in their kilns.

Waste tyres are directly fed into rotary cement kiln. Energy potential of tyres is immediately utilised as heat, incombustible part is bound with cement clinker. Advantages of this treatment are high working temperatures, long retention of tyre in cement kiln, high level of mixing, acid gases absorption.

Process of pyrolysis is technology which has significant potential even if it is rarely used competing to co-incineration. Pyrolysis process takes place in closed reactor in an atmosphere devoid of oxygen in high temperatures which cause tyres to decompose. This process result with products: gas, oil, char and steel. In figure 1 are given basic components of pyrolysis plant [6].



Slika 1. Osnovne komponente postrojenja za pirolizu starih auto guma i gumenog granulata [6]



Slika 2. Basic components of waste tyre pyrolysis plant [6]

2.1. Suspaljivanje otpadnih auto guma u industriji cementa

Postupak dobijanja klinkera u rotacionim pećima pruža mogućnost istovremenog povrata energije i materijala iz otpadnih auto guma. Velika toplotna moć otpadnih auto guma omogućava njihovu upotrebu za zamjenu primarnih fosilnih goriva, a inertni dijelovi auto guma (prvenstveno željezo i aluminij) se koriste kao zamjena za čvrsti materijal. Ukoliko sirovinski materijal ne sadrži dovoljne količine ovih materijala, upotreba otpadnih auto guma omogućava da se na adekvatan način zadovolje potrebe za kvalitetom gotovog proizvoda.

Oko 75% otpadne auto gume sastoji se od materijala na bazi ugljika što je i razlog njihove relativno visoke toplotne moći. Dodatna prednost otpadnih auto guma u poređenju sa ugljem jeste količina željeza kojeg sadrže. Željezo može djelomično zamijeniti udio željeza u sirovinskom brašnu i tako ostvariti uštedu prirodnih resursa. Otpadne auto gume imaju niži udio sumpora u odnosu na ugalj. Udio sumpora u otpadnim gumama se kreće između (1,24 – 1,3) % dok udio sumpora u uglju iznosi oko (1,1 - 2,3) %, zavisno o kvaliteti uglja. Kameni ugalj i antracit koji se najčešće upotrebljavaju u tvornicama cementa u prosjeku sadrže oko 1,5% sumpora.

Najbolje raspoložive tehnologije za proizvodnju cementa nalažu da se doziranje otpadnih materijala u rotacionu peć vrši na način da se [4]:

- upotrebljavaju odgovarajuća mjesta doziranja goriva u zavisnosti od temperature i vremena zadržavanja koja zavise o dizajnu rotacione peći,
- omogućiti konstantno i kontinuirano doziranje otpadnih materijala u peć,
- vrši doziranje otpadnih materijala koji sadrže organske komponente, koje mogu ispariti prije zone kalcinacije, u zonu peći sa dovoljno visokom temperaturom,
- prekine suspaljivanje otpadnih materijala prilikom pokretanja i zaustavljanja procesa proizvodnje kada nije moguće ostvariti dovoljno visoke temperature i dovoljno dugo vrijeme zadržavanja.

Osobine rotacionih peći koje ih čine pogodnim za upotrebu otpadnih auto guma kao alternativnog goriva su sljedeće [4]:

- visoke temperature (temperatura plamena do 2.000°C i temperatura materijala do 1.400 °C) (slika 2),

2.1. Co-incineration of waste tyres in cement industry

Process of clinker production in cement kiln offers possibility of return of material and energy from waste tyres. High caloric potential of tyres enables they use as fossil fuel replacement and inert parts (primary iron and aluminium) are used as replacement for solid material. If virgin material doesn't have sufficient amounts of these materials, usage of waste tyres assures that the needs for final product quality are met.

About 75% of waste tyre consists of carbon based materials. Additional advantage of waste tyres, when compared to coal is amount of iron. Iron can partly replace share of iron in virgin material during clinker production and assure natural resources saving. Waste tyres have lower share of sulphur compared to coal (1,1-2,3)% depending of coal quality. Stone iron and anthracite which are commonly used in cement kilns in average consists of 1,5% of sulphur.

Different types of waste materials can replace primary raw materials and/or fossil fuels in cement manufacturing and will contribute to saving natural resources. Basically, characteristics of the clinker burning process itself allow environmentally beneficial waste-to-energy and material recycling applications [4].

The essential process characteristics for the use of waste can be summarised as follows [4]:

- maximum temperatures of approx. 2000°C (main firing system, flame temperature) in rotary kilns (figure 2),
- gas retention times of about 8 seconds at temperatures above 1200°C in rotary kilns,
- material temperatures of about 1450°C in the sintering zone of the rotary kiln,
- oxidising gas atmosphere in the rotary kiln,
- gas retention time in the secondary firing system of more than 2 seconds at temperatures of above 850°C; in the precalciner, the retention times are correspondingly longer and temperatures are higher,

- vrijeme zadržavanja plinova više od 2 sekunde na temperaturi iznad 1.200°C u rotacionoj peći (slika 2),
- kiseli plinovi koji nastaju prilikom spaljivanja neutraliziraju se alkalnom sirovinom i ostaju vezani u klinkeru,
- vrijeme zadržavanja plinova u predkalcinatoru od 2 sekunde na temperaturi iznad 850°C,
- temperatura čvrstog materijala od 850°C u predkalcinatoru,
- interakcija između sirovine i sadržaja dimnih plinova osigurava da se nesagorivi dio otpada zadržava u procesu i trajno veže za klinker,
- sorpcija gasovitih komponenti poput HF, HCl i SO₂ u alkalne reaktante,
- kratko vrijeme zadržavanja izlaznih gasova na temperaturama koje vode ka stvaranju dioksina i furana,
- destrukcija organskih polutanata zbog visokih temperatura i dovoljno dugog vremena zadržavanja u peći,
- velika specifična površina materijala, intenzivna izmjena toplote i velika turbulencija dimnih plinova,
- pepeo koji nastaje prilikom sagorijevanja postaje sastavni dio klinkera, time ne nastaje novi otpad koji bi zahtijevao kasniju dodatnu obradu,
- hemijsko-mineraloška inkorporacija nehlapljivih teških metala u smjesu klinkera.

Postrojenje za suspaljivanje radi na način da se sprečavaju emisije u zrak koje prouzrokuju značajno zagađivanje zraka u prizemnim slojevima, posebno da se izduvni gasovi ispuštaju na kontrolisan način u skladu sa relevantnim standardima o kvaliteti zraka.

Toplota koja se stvara procesom suspaljivanja treba biti u najvećoj mogućoj mjeri vraćena u proces.

Pored toga potrebno je kontrolisati kvalitet otpadnih auto guma, koje se koriste kao alternativno gorivo, a koje se dovoze u tvornicu. Kontrola kvaliteta se vrši uz pomoć certifikata dobavljača guma i uz pomoć internog sistema kontrole kvaliteta koji podrazumijeva [5]:

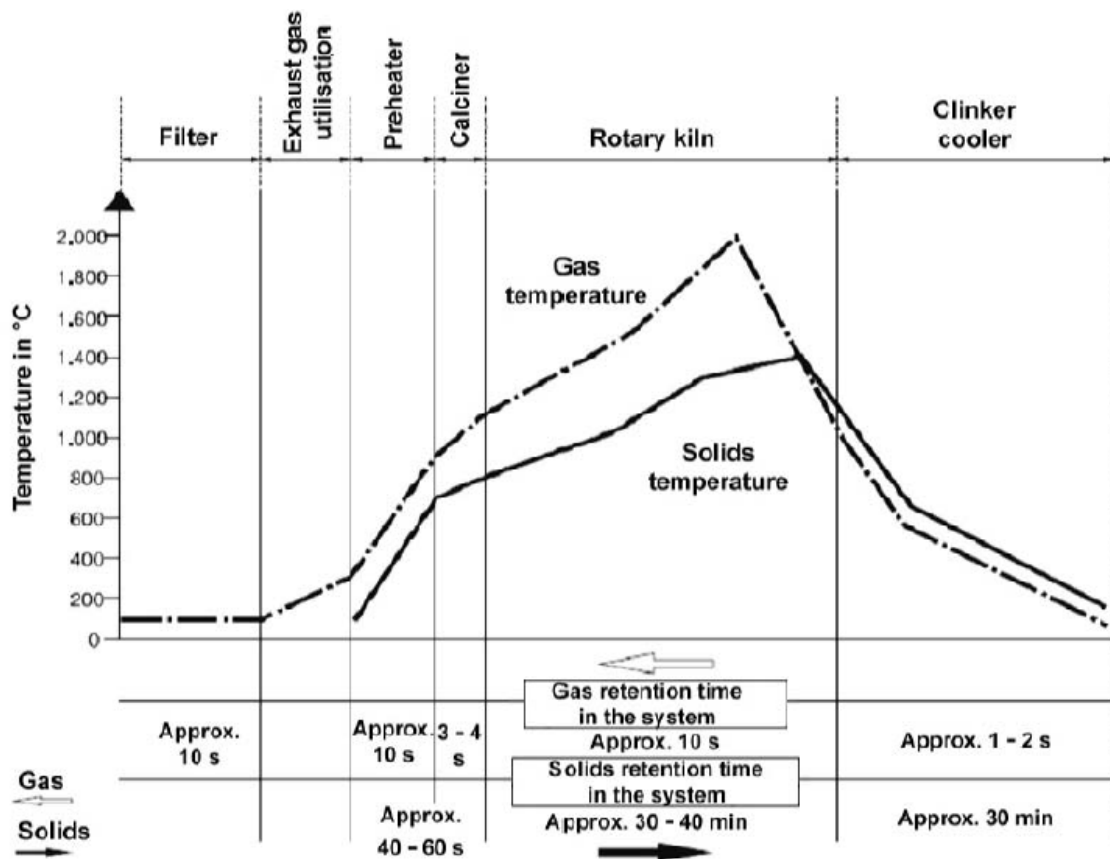
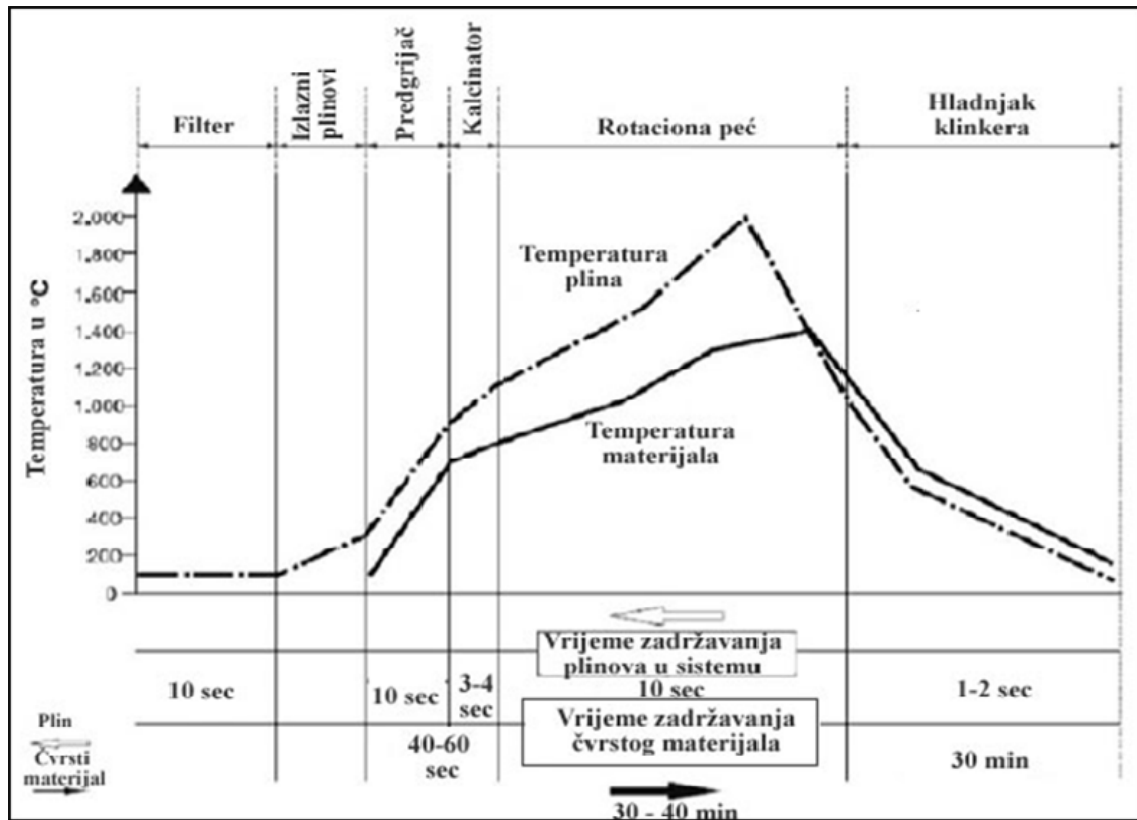
- redovna testiranja guma koje ulaze u tvornicu, kao i dodatna testiranja uzoraka,
- kontrola istovara (vizuelni + miris).

- solids temperatures of 850°C in the secondary firing system and/or the calciner,
- uniform burnout conditions for load fluctuations due to the high temperatures at sufficiently long retention times,
- destruction of organic pollutants due to the high temperatures at sufficiently long retention times,
- sorption of gaseous components like HF, HCl, SO₂ on alkaline reactants
- high retention capacity for particle-bound heavy metals,
- complete utilisation of fuel ashes as clinker components and hence, simultaneous material recycling (e.g. also as a component of the raw material) and energy recovery,
- product-specific wastes are not generated due to a complete material utilisation into the clinker matrix; however, some cement plants in Europe dispose of bypass dust,
- chemical-mineralogical incorporation of non-volatile heavy metals into the clinker matrix.

The main emissions from the production of cement are emissions to air from the kiln system. These derive from the physico-chemical reactions involving the raw materials and the combustion of fuels. The main constituents of the exit gases from a cement kiln are nitrogen from the combustion air; CO₂ from calcination of CaCO₃ and combustion of fuel; water vapour from the combustion process and from the raw materials; and excess oxygen. The emissions ranges within which kilns operate depend largely on the nature of the raw materials; the fuels; the age and design of the plant; and also on the requirements laid down by the permitting authority. For example, the concentration of impurities and the behaviour of the limestone during firing/calcination can influence emissions, e.g. the variation of the sulphur content in the raw material plays an important role and has an effect on the range of the sulphur emissions in the exhaust gas.

Beside air quality control, quality of waste tyres which are being used as fuel has to be controlled. Quality control is conducted with supplier certificate and internal system of quality control [5]:

- Regular testing of tyres,
- Discharge control (visual and odor control).



Slika 2. Temperaturni profil u rotacionoj peći za proizvodnju klinkera [4]
 Figure 2. Gas and solids temperature profiles in a cyclone preheater kiln system [4]

2.2. Piroliza otpadnih auto guma

Piroliza je endotermni proces koji dovodi do termičke razgradnje materijala. Proces pirolize se odvija na temperaturama između (400 – 800) °C. Sa promjenom temperature mijenja se i distribucija produkata ili agregatno stanje u kojem se produkti nalaze.

Niže temperature procesa pirolize uglavnom daju tečnije produkte, dok više temperature pogoduju nastanku plinova. Brzina odvijanja procesa i brzina prenosa toplote imaju uticaj na distribuciju produkata.

Produkti pirolize starih auto guma su: pirolizna čađ (30 – 40) %, tečni ostatak – pirolizno ulje (40 – 60) % i pirolizni plinovi (5 – 20) %.

Čvrsti ostatak sadrži piroliznu čađ – čisti ostatak ugljika i mineralni ostatak koji su i inicijalno sadržani u ovim gumama. Ovaj čvrsti ostatak se može koristiti kao ojačanje u industriji gume ili kao aktivni ugalj. Osnovna masa su komadići veličine (2 – 20) mm, krajevi se lome, boja crna sa sivkastim nijansama, struktura porozna. Donja toplotna moć pirolizne čađi kreće se od (29 – 34) MJ/kg [6].

Oblasti primjene pirolizne čađi su [6]:

- proizvodnja filtera (npr. aktivni ugalj),
- proizvodnja gumarsko-tehničkih proizvoda,
- industrija obuće,
- proizvodnji pigmentnih boja,
- proizvodnju tonera za štampače i kopir aparate,
- čvrstog goriva (briketa) i
- sorbenta.

Tečni produkti pirolize sadrže kompleksnu mješavinu organskih komponenti (parafin, olefin i aromatske komponente). Pirolizno ulje ima visoku toplotnu moć od oko (41 – 44) MJ/kg. Dobijena ulja se mogu direktno koristiti kao gorivo, sirovina za petrohemijsku industriju a olefin ima visoku tržišnu vrijednost i koristi kao sirovina i kao izvor hemikalija [6].

Spoljni izgled piroliznog ulja:

- tamna uljna tečnost sa karakterističnim mirisom nafte,
- boja crna sa blagom smeđom nijansom.

Plinoviti produkti se sastoje od nekondenzirajućih organskih komponenti kao što su H₂, H₂S, CO, CO₂, CH₄ i td. Plinovi se po pravilu, koriste kao gorivo u procesu pirolize. Donja toplotna moć se kreće oko 8 MJ/kg.

2.2 Waste tyre pyrolysis

Pyrolysis is a thermochemical decomposition of organic material at elevated temperatures (400-800) °C in the absence of oxygen (or any halogen). Change of temperature involves the simultaneous change of chemical composition and physical phase.

Lower process temperatures result with liquid products while higher process temperatures result with gaseous products. The distribution between solid, liquid and noncondensable gases depends on conditions of pyrolysis (temperature and time).

Products of waste tyres pyrolysis are: carbon black (30-40)%, pyrolytic oil (40-60)% and gas (5-20)%.

Solid products contain carbon black (pure carbon) and mineral compounds which are initially contained in tyres. This compound can be used as reinforcement in tyre industry or as active coal. Basic mass are (2-20) mm parts, black colour with shade of grey and porous structure. Lower heating value of carbon black is (29-34) MJ/kg [6].

Fields of application for these products are [6]:

- Filter production,
- Shoe industry,
- Solid fuel industry (briquette),
- Pigment colours production,
- Sorbents etc.

Liquid pyrolysis products contain complex mixture of organic components. Pyrolytic oil has high heating power (41-44) MJ/kg. Oils can be directly used as fuel, raw material for petro chemistry and olefin have high market value and can be used as raw material [6].

Tyre pyrolysis oil is chemically very complex containing aliphatic, aromatic, hetero-atom and polar fractions. The fuel characteristics of the tyre oil show that it is similar to a gas oil or light fuel oil.

Pirolizni plin je bezbojan sa blagom nijansom bijele boje, mirisom gareži, ima sposobnost da gori u zagrijanom prostoru pri temperaturi višoj od 90 °C [6].

Na procentualni udio pojedinih faza utiču uslovi pod kojima se odvija proces: temperatura, pritisak, stepen zagrijavanja, veličine čestica, izmjene toplote u sistemu i sl. Produkti pirolize i mogućnosti njihove primjene prikazana je na slici 3 [6].

Pirolizni plin sadržava visoke koncentracije metana i etana i podsjeća na prirodni plin. U većini postrojenja pirolizni plin se koriste za zagrijavanje reaktora, a ostatak se može spaljivati na baklji ili kompresovati za kasniju upotrebu.

Mogućnosti primjene procesa pirolize u cilju reciklaže starih auto guma u većini slučajeva zavisi i od tržišta na koje se mogu plasirati produkti procesa.

U postupku pirolize, usitnjena otpada auto guma se zagrijava na temperaturu od (400 – 800) °C u atmosferi bez kisika. Postupak pirolize je sljedeći:

- organski materijal (guma) se unosi u reaktor i podvrgava se termičkoj razgradnji pri čemu nastaju isparljive komponente i čvrsti ostatak,
- isparljive komponente se hlade i nastaju dvije vrste faza: tečna faza i nekondenzirajuća plinovita faza,
- tečna faza iznosi oko 35% početne mase gume, ova faza se zove pirolizno ulje i sastoji se od organskih komponenti C₅-C₂₀,
- nekondenzirajuća plinovita faza iznosi oko 20% početne mase i sadrži hidrogen, hidrogensulfid i lake ugljikovodike (C₁-C₆), i može se koristiti kao gorivo u procesu pirolize,
- čvrsti ostatak je mješavina čelika i čađi i čini oko 45% početne mase gume

Pyrolytic gas is colorless, burns in temperatures higher than 90 °C [6].

The biggest impact on pyrolysis process have: temperature, pressure, heating rate, particle size, heat exchange etc. Pyrolysis products and their application is shown in figure 3 [6].

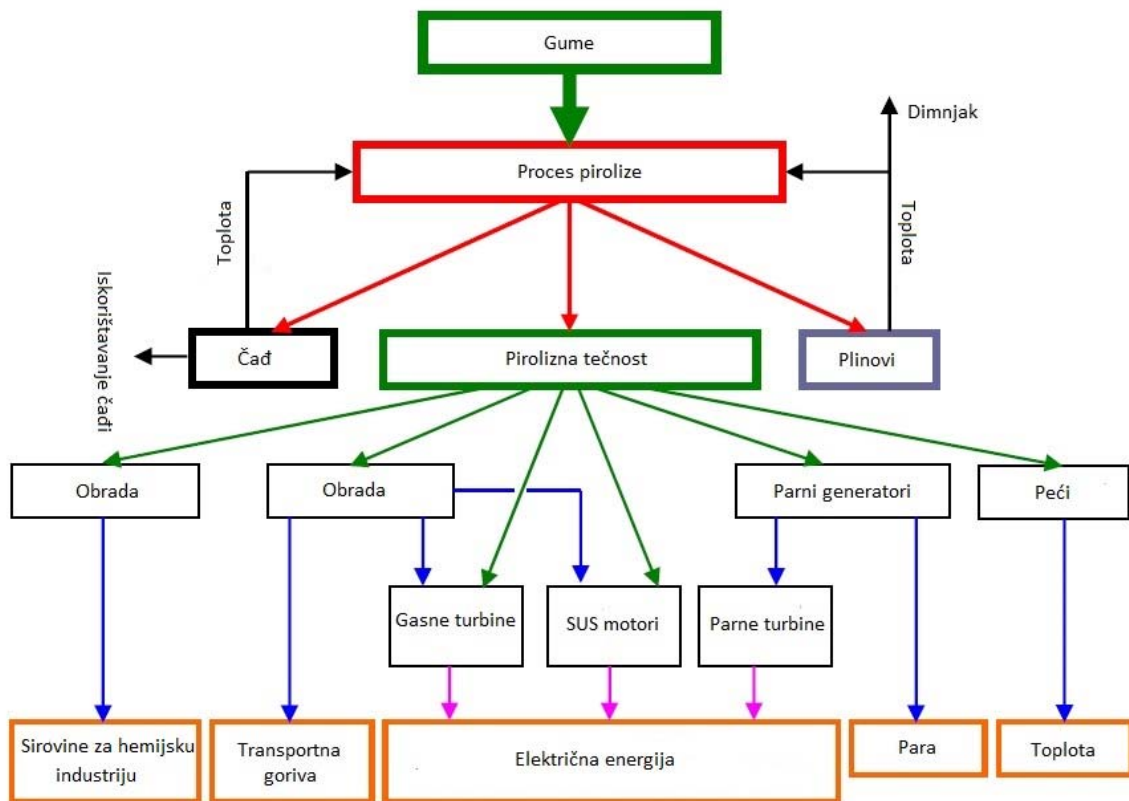
Pyrolytic gas contain high concentrations of methane and ethane and is similar to natural gas. In most of pyrolysis plants, gas is used for reactor heating and excess concentrations can be burned on flare or compress for later application.

Possibility of pyrolysis process application for waste tyres recycling depends on available product markets.

In pyrolysis process, shredded waste tyre is being heated on temperature of (400-800) °C in absence of oxygen.

Pyrolysis process can be described as follows:

- Organic material is fed into the reactor and being thermally decomposed. This process results in formation of volatile components and solid remain,
- Volatile components are being cooled and two phases are formed: liquid phase and noncondensable gaseous phase,
- Liquid phase is 35% of tyre mass, this phase is called pyrolysis oil and contain organic compounds C₅-C₂₀,
- Noncondensating gaseous phase is 20% of tyre mass and contain H₂, H₂S and C₁-C₆ and can be used as fuel in pyrolysis process,
- Solid remain is mixture of steel, char and represent about 45% of tyre mass.



Slika 3. Produkti pirolize i mogućnosti njihove primjene [6]

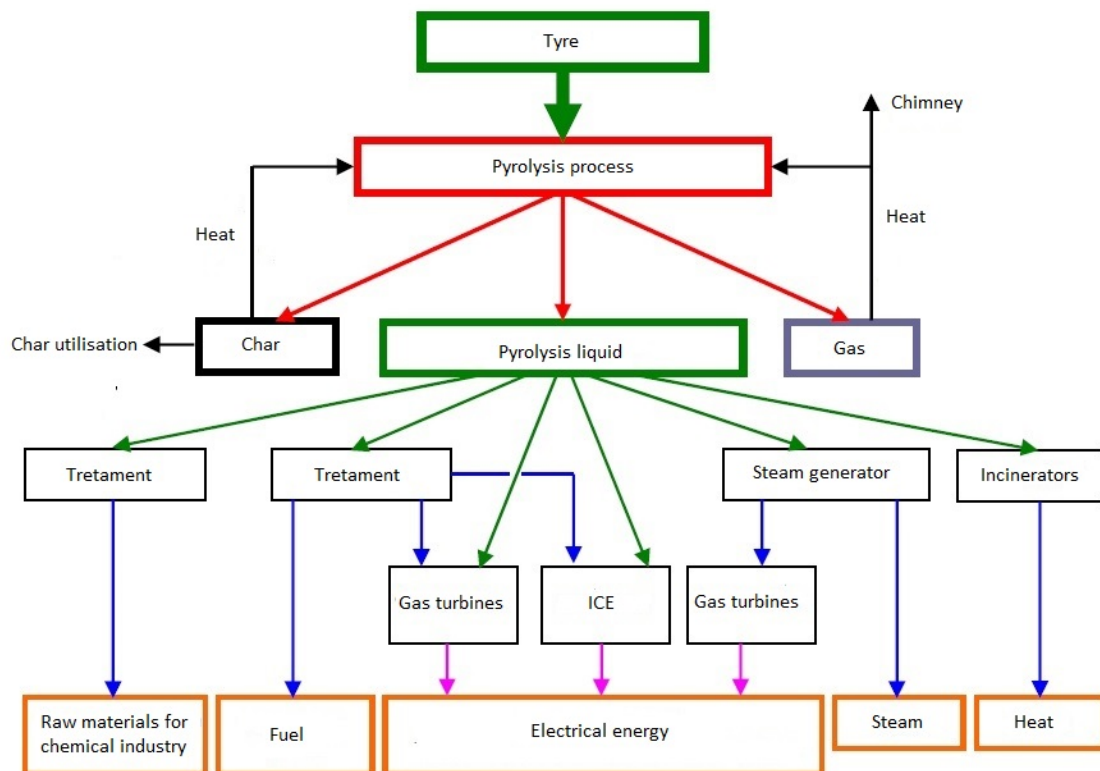


Figure 3. Pyrolysis process product and their applicatiion [6]

3. ZAKLJUČAK

Danas se u Evropskoj uniji zbrinjava preko 3,5 miliona tona otpadnih auto na okolinski prihvatljiv način sa tendencijom daljeg povećanja. Najveće količine ovih guma se zbrinjavaju u Evropskoj uniji suspaljivanjem u industriji cementa i predstavlja vodeći termički postupak njihove obrade. Korištenje energetskeg potencijala ovih guma vrši se u industriji cementa kao goriva u procesu suspaljivanja sa osnovnim fosilnim gorivom i u procesu pirolize pri čemu se dobiva veoma kvalitetno pirolizno ulje, pirolizni plin, pirolini čađ i metalni ostatak. U posljednje vrijeme i u Bosni i Hercegovini čine se početni koraci za korištenje energetskeg ponetcijala starih auto guma i to njihovim korištenjem u industriji cementa i procesom pirolize. Na ovaj način, posebno industrija cementa u Bosni i Hercegovini, daje značajan doprinos za zbrinjavanje ovih guma na okolinsko prihvatljiv način i ispunjavanju uslova koji su propisani Direktivama Evropske unije.

Glavna barijera za razvoj procesa pirolize starih auto guma je obezbjeđenje tržišta za plasman pirolizne čađi. Pirolizna čađ sadrži fine čestice ugljika, pepela i drugih anorganskih materijala poput cink oksida, karbonata i silikata. Njegova primjena kao sirovinskog materijala je prilično ograničena jer sadrži oko 10% nečistoća. Uprkos ograničenom komercijalnom uspjehu sistema pirolize otpadnih guma, nastavljaju se radovi na razvojnim projektima ove tehnologije u mnogim zemljama svijeta. Uspjeh procesa pirolize zavisi o mogućnosti pronalaska dodatne upotrebne vrijednosti produkata pirolize, posebno piroliznog ulja i pirolizne čađi.

7. REFERENCES

- [1] G.Ramos F.J. Alguacil, F.A. Lopez *The recycling of end/of/life tyres. Technological review*, Revista de Metalurgia, mayo/juno, 273-284, 2011.
- [2] Eddie N., Laboy/Nieves, *Energy Recovery from Scrap Tyres: A Sustainable Option for Small Islands like Puerto Rico*, Sustainability ISSN 2071 - 1051.
- [3] E. Muzenda, *A Comparative Review of Waste Tyre Pyrolysis, Gasification and Liquefaction Processes*, Int Conf on Chemical Engineering and Advanced Computational Technologies, Nov 24-25, 2014.
- [4] *Best Available Techniques for the Cement Industry*, Cembureau, 1999.

3. CONCLUSION

In European Union 3,5 million tonnes of waste tyres are being processed every year in environmental sound manner. The biggest amounts of these tyres are processed by co-incineration in cement industry.

Energy potential of waste tyres is being used in cement industry as fuel replacement and in pyrolysis process.

Lately in Bosnia and Herzegovina first steps were made towards utilisation of waste tyres in cement kilns and in pyrolysis processes. Cement industry made significant contribution to waste tyres utilisation in environmentally sound manner.

Main barrier for pyrolysis process development is providing markets for placement of carcoal. The process economy depends strongly on its commercial value. Carcoal contains fine carbon particles, ashes and other inorganic materials like zinkokside, carbonate and silicate. Its application as raw material is limited because it contains 10% of impurities.

Despite limited commercial success of waste tyres pyrolysis systems, research on process development continue in many countries around the world. Success of pyrolysis process depends on finding additional opportunities for product application, especially for pyrolytic oil and char.

- [5] M.Krajisnik, *Otpadne gume kao alternativno gorivo u proizvodnji cementa*, diplomski rad, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet u Zenici, juni 2010.
- [6] J.Sredojevic, M.Krajišnik, *Reciklaža starih auto guma procesom pirolize*, COMETA 2014 2nd International Scientific Conference, 2-5 december 2014., Jahorina BIH
- [7] J.Sredojević, *Reciklaža otpada*, Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, 2006.

Corresponding author:

Sredojević Jovan

Faculty of Mechanical Engineering,

University of Zenica

Email: jsredojevic@mf.unze.ba

Phone: +387 (0)32 449 123