

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Александар Д. Петровић

Технологије обраде гуме и рециклажа

Завршни рад

Крагујевац, 2019.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Моторна возила и мотори

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 203/2012

Александар Д. Петровић

**Технологије обраде гуме и рециклаже
пнеуматика**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Богдан Недић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада потребно је извршити прикупљање и систематизацију података о технологијама обраде гуме резањем и технологијама рециклаже пнеуматика. На почетку рада потребно је описати основне технологије производње гуме и производа од гуме. Дати основне информације о пресовању, екструдирању, каландровању и облагању. Потребно је описати процес вулканизације.

У посебним поглављима у раду детаљно описати технологије обраде гуме резањем и технологије рециклаже пнеуматика (уситњавање дробљењем и хемијски поступци пиролизе, гасификације и девулканизације). Након анализе технологија рециклаже пнеуматика описати могућности примене материјала добијених рециклажом и приказати одређени број примера.

Препоручена литература:

- [1] Владислав Ђукић, Богдан Недић: Гума, скрипта, Машински факултет, Крагујевац, 1998.
- [2] Sadhan K. De Avraam I. Isayev Klementina Khait (2005), RUBBER RECYCLING, Taylor & Francis Group
- [3] The Recycling Technology Assistance Partnership (ReTAP) (1996), Best Practices in Scrap Tire and Rubber Recycling
- [4] J. Hodolič, M. Stević, Đ. Vukelić, A. Zajac (2008) Reciklaža i prerada otpadnih pneumatika, Festival Kvaliteta, 3 konferencija o kvalitetu života, Kragujevac
- [5] Gradimir Danon, Predrag Gavrić, Vladimir Momčilović, Steva Bunčić (2009), Eksploatacija i održavanje pneumatika komercijalnih vozova, Naučno-stručni časopis Istraživanja i projektovanja za privredu, br. 25, str 1-10.

Крагујевац, 2019.

Ментор:
проф.др Богдан Недић

Резиме

Овај рад је базиран на најновијим подацима из области прераде и рециклаже отпадних пнеуматика. У раду су првенствено приказане технологије производње и обликовања гуме као основног састојка пнеуматика. Након тога су дате основе технологије обраде гуме резањем. Даљим током су анализиране најзаступљеније методе рециклаже у свету, односно прераде отпадних пнеуматика као вида рециклаже. То су дробљење отпадних пнеуматика и процеси пиролизе, гасификације и девулканизације. Такође су поменути остали начини рециклаже, односно прераде. У раду су дати и подаци о могућности примене производа добијених процесом рециклаже као и конкретни примери примене при производњи великог асортимана производа фирме Тигар из Пирота.

Кључне речи: отпадни пнеуматик, рециклажа, технологија производње, технологија обраде гуме резањем, дробљење, пиролиза, гранулат, гумени прах...

Abstract

This paper was based on the most recent data in the field of processing and recycling of waste penetrics. In the paper, production technologies and tire obligations are primarily presented as the basic pane tips. At the same time, the basis of the technology of facial rubber cutting is given. We are analyzing the most advanced methods of recycling in the world, one of the recycling of waste penetrics as a type of recycling. These are the crushing of waste penetrics and processes of pyrolysis, gasification and devilization. They also replaced other recycling techniques, to process them indefinitely. The paper also provides data on the possibilities of applying products that have received process costs and concrete examples of the application of a large range of Tigar products from Pirot.

Key words: waste pneumatics, recycling, production technology, rubber cutting technology, crushing, pyrolysis, granulates, rubber dust ...

Садржај

1. Увод.....	6
2. Основи технологија производње гуме и производа од гуме	8
2.1 Основе технологије производње гуме.....	8
2.2 Основне технологије обликовања гуме.....	13
2.2.1 Екструдирање	13
2.2.2 Каландирање.....	14
2.2.3 Обликовање у калупима	15
3. Технологије обраде гуме резањем.....	18
3.3.1 Сечење тестером и на маказама.....	19
3.3.2 Стругање	20
3.3.3 Глодање.....	22
3.3.4 Бушење.....	22
4. Технологије рециклаже пнеуматика	24
4.1 Рециклажа пнеуматика физичком прерадом.....	24
4.1.1 Рециклажа пнеуматика криогеним дробљењем.....	24
4.1.2 Рециклажа пнеуматика механичким дробљењем	26
4.2 Рециклажа пнеуматика хемијском прерадом	29
4.2.1 Основна својства отпадних пнеуматика намењених за хемијску прераду	29
4.2.2 Рециклажа пнеуматика поступком пиролизе	30
4.2.3 Рециклажа пнеуматика поступком гасификације.....	36
4.2.4 Рециклажа пнеуматика поступком девулканизације	37
4.2.5 Остали начини прераде	38
5. Могућност примене рециклираних пнеуматика	41
6. Пример примене рециклираних пнеуматика.....	45
7. Закључак	53
Литература.....	56

1. Увод

Од половине прошлог века, полимери и полимерни материјали заузели су незамењиво место у индустрији и друштву захваљујући великој разноврсности карактеристика попут чврстоће, трајности, прилагодљивости, као и повољном односу цена и карактеристика, пронашли су примену у готово свим сегментима људског живота. У полимере спадају еластомери, односно високо еластични материјали који су још познати под називом гуме. Природна гума (природни каучук) позната је још од народа Астека и Маја који су скупљали млечни латекс каучука за израду водоотпорне обуће и лоптица за игру. Млечни латекс дрва „*Hevea brasiliensis*“ добио је назив каучук, а тако су га назвали Индијанци будући да тај израз значи „дрво које плаче“. Природна гума први пут је вулканизирана 1839. године када се случајно нашла у додиру са сумпором при чему је дошло до умрежавања молекула природне гуме. Будући да је након тога материјал имао мирис по вулкану, процес умрежавања назван је вулканизација [1,2]. Даљом употребом гуме у разне сврхе, дошло се до примене исте у аутомобилској индустрији при производњи пнеуматика.

Убрзан индустријски развој, како ауто индустрије тако и осталих, и немаран однос према животној средини, утицали су да настајање великих количина отпада постане један од највећих проблема нашег времена. Суочени са недостатком простора за складиштење отпада с једне, и ограниченошћу природних ресурса с друге стране, решење је неопходно тражити у рециклажи. Последње деценије развијени су многи поступци за рециклажу свих врста материјала, а управљање отпадом свуда у свету поприма све већи значај. Полимерни материјали, у које спада и гума, чине свега 10% укупног отпада, али се њиховој рециклажи придаје велики значај из више разлога. Један од њих је то што се ради о материјалима мале густине а велике волуминозности па производи од њих заузимају много места на депонијама (нпр. 1 тона аутомобилских пнеуматика заузима око 6 m³ простора), с обзиром да се производе из нафте, полимери поседују високу ексергијску вредност. Производња и продаја пнеуматика у свету у задњих неколико година веома благо расту. У периоду од 2015. до 2019. године приметан је просечни годишњи пораст од 16,2 % у производњи гума [3,4].

Под појмом рециклажа подразумева се поступак прераде отпадног материјала ради добијања нових сировина и наравно заштите животне средине. У последње две деценије рециклажа је постала једна од најпрогресивнијих привредних грана у свету са годишњим прометом преко 160 милијарди евра. У развијеним земљама Европе рециклира се и до 60% отпада при чему је европски просек 40 до 45%. У Јапану се рециклира невероватних 85% целокупног отпада. Поступци рециклирања отпадних гума сврставају се у делатност одрживог развоја јер се од истрошених производа стварају нови производи нове вредности. Истрошене гуме могу се у потпуности рециклирати, а њихова хемијска и физичка својства чине их врло вредним сировинама. Гуме су отпорне на бактерије, топлоту, влагу, сунчану светлост, UV зрачење, као и на разне врсте минералних уља, већину разређивача, киселина или других хемикалија.

Такође, нису токсичне и биоразградиве, а њихов облик, тежина и еластичност чине их у потпуности употребљивим за велики број разних производа у облику целих гума, комада, гранулата, прашине итд.

У периоду од 2013. до 2018. године у Европи је рециклирано скоро милион и по тона аутомоблских и камионских пнеуматика. Развој рециклаже пнеуматика у периоду од 1992. до 2018. године, бележи стабилан раст рециклирања од 1992. године, када је 62% пнеуматика одлагано на депоније и само 5% материјално рециклирано, до 2018. године, када је 62% или материјално рециклирано или искоришћено за добијање енергије [5,6]. У том периоду, количина настанка отпадних пнеуматика је такође расла, са 2 милиона тона у 12 држава, на 3.1 милион тона у 25 држава.

Данас се само 12% целих гума подвргава минималној преради, као што је балирање, одстрањивање жица или бокова, или једноставно сечење итд., док се око 76% пнеуматика сакупљених за рециклажу прерађује у три различите категорије материјала: шред, гранулат и прах [7,8]. У Србији с обзиром на то да је просечан радни век аутомобилског пнеуматика око 8 година и да је годишња производња око 1.100.000 комада односно око 15-18.000 тона и дода ли се томе отпадна гума из гумено техничких производа долази се до количине од око 30.000 тона отпадне гуме. Очигледно је из ових података да упркос разним начинима поновне употребе отпадне гуме то постаје глобални проблем. Постоје две главне алтернативе: одлагање или уништавање и прерада. Одлагање је дуго времена било главни једноставан и јефтин начин решавања проблема све док проблем није достигао велике размере. Имајући у виду релевантне количине старе гуме за отклањање доминантан положај у новије време има спаљивање а посебно рециклажа, са опадајућом тенденциом депоновања. С обзиром на актуелност очувања животне средине и све строжих еколошких прописа рециклажа ће се кретати у смеру освајања нових технологија које ће бити економски и еколошки прихватљивије [9].

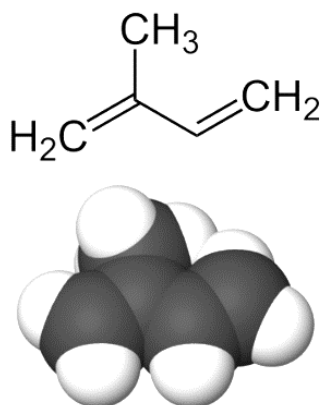
У нашој земљи не постоје прецизни подаци о количини отпада од гуме који првенствено чине отпадни пнеуматици. Према подацима Министарства заштите животне средине и просторног планирања [10] тренутно у Србији има више од 30.000 тона одбачених гума, док сваке године настаје још 10.000 тона отпадних пнеуматика.

Како би се боље разумела технологија рециклаже и прераде, неопходно је познавати производне технологије гумених материја, чије су основе дате на самом почетку. Након њих, посебан део рада се односи на технологије обраде гуме резањем. Гуме које су на собној температури довољно тврде могу да се обрађују помоћу свих техника рада које су уобичајене при обради метала. За обраду пластичних маса обично се употребљавају машине за обраду дрвета или лаких метала, тј. машине са великом брзином резања, а хлађење се изводи водом, емулзијом или ваздухом под притиском. У даљем току рада су анализиране најзаступљеније методе рециклаже у свету, односно прераде као вида рециклаже. То су дробљење отпадних пнеуматика и процеси пиролизе, гасификације и девулканизације. Такође су поменути остали начини прераде и дати су подаци о могућности примене производа добијених процесом рециклаже као и конкретни примери примене при производњи великог асортимана производа фирме Тигар из Пирота.

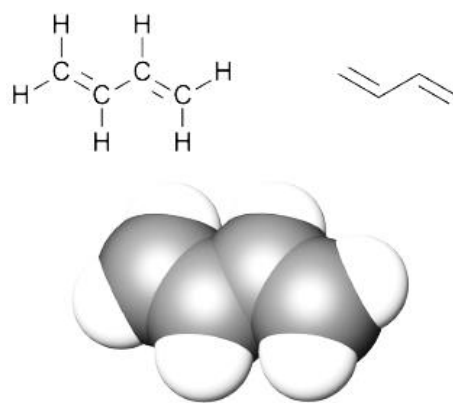
2. Основи технологија производње гуме и производа од гуме

2.1 Основе технологије производње гуме

Еластомери су материјали који се производе од природног или синтетичког каучука. Макромолекуларна структура еластомера је ретко распоређена. Поступак умрежавања макромолекула еластомера назива се вулканизација. Изводи се додавањем сумпора при температури од око 150 степени целзијуса који се веже попречно и умрежава макромолекуле каучука. Врло су еластични па се користе за ублажавање удара. Од њих се производе пнеуматици на возилима, транспортне траке, обућа, балони, поједине лопте итд. Познати еластомери (гуме) су природни, силиконски и полиуретански каучук. Еластомери се могу поделити на: гуму и термопластичне еластомере. Основни молекуларни састав природне гуме чини изопрен (слика 2.1), а синтетичке гуме бутадиен (слика 2.2).



Слика 2.1 Изопрен



Слика 2.2 Бутадиен

Постоје разни начини за дефинисање гуме, као на пример: према својству, саставу, структури, примени итд. Према саставу гума је сложени материјал добијен од каучука и разних додатака који се користе ради процеса побољшања својстава каучука. Највећи успех је представљао додатак сумпора, уз дејство топлоте и притиска, што указује да гума није само смеша каучука и додатака већ да су за њено добијање потребне неке хемијске промене (вулканизација). Ипак, данас се зна за материјале са својствима добре гуме добијене без додавања сумпора или неког другог хемијски активног агенса. Додаци се могу поделити у следеће групе:

1) Средства за вулканизацију (умрежавање)

- ✓ Као средство за вулканизацију највише се употребљава сумпор. Помоћу сумпора могу се вулканизовати сви каучуци чији макромолекули садрже двоструке везе. Сумпор за вулканизацију мора бити релативно чист (више од 95%), без киселина, самлевен на одређену величину зрна да би се могао боље измешати у каучуку. Ако се каучуку додаје само мала количина сумпора или се ради са каучуком у којем се сумпор тешко раствара, употребљавају се

диспергатори. За израду меке гуме на 100 делова каучука додаје се 0,2 - 5 делова сумпора.

- ✓ Гуме које садрже 5-25 делова сумпора нису ни довољно чврсте ни довољно еластичне (слично кожи), па се ретко употребљавају. Вулканизација са сумпором има много предности. Процес је погодан са економског гледишта, његова се брзина релативно лако може регулисати додатком убрзивача или успоривача, а пажљивим вођењем процеса и дозирањем сумпора може се утицати на степен умрежавања каучука, а тиме и на својства готових производа.
- ✓ Поред сумпора, за вулканизацију се могу употребити и неки сумпорни спојеви, углавном дисулфати. Њихова је предност што отпуштају сумпор тек на вишим температурама, па се смеша може мешати и обрађивати пре вулканизације без опасности од преране вулканизације.
- ✓ Вулканизација се може обавити и без сумпора. За то се у првом реду употребљава каучук без двоструких веза. Најпознатија средства за вулканизацију те врсте јесу пероксиди. Каучуци који садрже халогене елементе могу се умрежавати и помоћу металних оксида (нпр. цинк-оксида). Каучук се може вулканизовати и без средства за вулканизацију. Умрежавање се тада постиже деловањем јаког зрачења, нпр. помоћу гама-зрака.
- ✓ У смеси за вулканизацију, свакако, морају бити присутни и убрзивачи. Вулканизација је без њих спора, потребно је много сумпора и високе температуре, а продукт је слабе чврстоће и отпорности према трењу. Постоји много типова убрзивача који се под патентираним именима налазе на тржишту. То су углавном органски спојеви: тиазоли, сулфенамиди итд. Убрзивачи вулканизације морају се подстакнути на реакцију помоћу активатора. За ту се сврху највише употребљава цинк-оксид.

2) Убрзивачи, активатори, успоривачи вулканизације

- ✓ Заједно са средствима за вулканизацију чине систем за вулканизацију који омогућава добијање бољих физичко-механичких и других особина гуме;

3) Пунила

- ✓ Задатак пунила је не само да сниже учешће каучукове масе, а тиме и њихову цену, већ и да утичу и на својства производа. Њихов утицај на чврстоћу и на отпорност према хабању и огреботинама је необично велики, чађ је најважније пунило каучукових смеша. Више од 90% чађи троши се у индустрији гуме, а од тога 60% у производњи аутомобилских гума. Чађ чини око 30% тежине аутомобилске гуме и десетоструко повећава њено трајање због великог повећања отпорности према хабању. Чађ се с обзиром на величину честица и на својства производи у различитим врстама, зависно од жељеног квалитета и намене гумених производа. Поред чађи као пунило се употребљава каолин, креда, различити силикати, метални оксиди итд. Ти додаци могу бити активни, тј. могу директно утицати на својства производа, а могу служити и само као неактивна пунила.

4) Пластификатори и омекшивачи

- ✓ Омекшивачи се често додају каучуковој смеси у прилично великим количинама. Њихов је задатак да делимично смање учешће скупог каучука, да побољшају могућност смеше, а тиме омогуће лакшу прераду и мањи утрошак енергије, да омогуће боље мешање и расподелу других додатака унутар смеси, да побољшају нека физичка својства производа.
- ✓ Као омекшивачи могу се употребљавати природне супстанце, нпр. минерално уље, масне киселине, масти и уља. Мање се употребљавају скупи синтетички омекшивачи. Њихов је избор већи и њиховом се применом могу постићи посебна својства у производњи специјалних врста гума. Најважнији синтетички омекшивачи јесу различити етри.

5) Средства против старења

- ✓ Под појмом старења подразумевају се штетне промене које се током времена збивају на површини или у читавој маси гуме. Ради се о следећим утицајима: деловање кисеоника, самог или у спојевима тешких метала, деловање озона, топлоте, влаге, светла, замору материјала.
- ✓ Због тих утицаја већ након кратког времена много се смањује употребљивост гуме и гумених производа, штетни утицаји наведених фактора могу се избећи и смањити помоћу средстава против старења. То су антиоксиданти међу којима се највише употребљавају неки ароматски амини и феноли, често је потребно и више различитих средстава да би се неки продукт заштитио од многих штетних утицаја. Избор тих средстава зависи од услова у којима се будући гумени производ употребљава. Количина средства против старења која се додају у каучукову смешу пре обликовања и вулканизације износи 0,5 - 2,5%.

6) Специјални додаци

- ✓ Специјални додаци служе у различите сврхе: као заштита против горења, за стварање пенастог материјала, промену електромагнетних својстава итд.
- ✓ На пример пигменти се употребљавају за бојење каучукове смеше пре вулканизације и одређују боју готовог производа. Аноргански пигменти су постојанији и отпорнији од органских. Од доброг се пигмента тражи да не садржи супстанце штетне за каучукову смешу, да се током вулканизације не мењају и да не утичу на својства готовог производа. Од белих се пигмената највише употребљавају пигменти на бази титан-оксида, а од бојених оксиди челика, хрома, ултрамарин и кадмијумови пигменти [11].

Без обзира на разноврсност и различиту заступљеност појединих полимерних производа, производња гума може се приказати једноставном шемом (слика2.3).



Слика 2.3 Шематски приказ тока производње гуме [12]

Међу свим сегментима шематски приказаног тока са **слике 2.3** вулканизацији се посвећује посебна пажња.

Вулканизација је хемијски процес спајања каучука и сумпора, при чему долази до промене својстава каучука и добијања производа са знатно бољим својствима тврдоће, еластичности и отпорности према хабању који се назива гума. Процес вулканизације је каталитички хемијски процес који се одвија на свим температурама, али се знатно брже одвија у одређеним условима. Реакција сумпора на каучуку се одвија све до постизања садржаја од 32% сумпора. Процес вулканизације се одвија у неком временском интервалу и може се поделити у четири фазе.

У почетној фази вулканизације каучукова смешша је још увек пластична, али долази до почетка умножавања и пораста затезне чврстоће у току времена вулканизације. У овој фази могућа је и нежељена појава да је смеша већ пре почетка вулканизације изгубила један део своје пластичности и није најпогоднија за даљу прераду, а обрађене површине нису глатке. Да би се спречила ова појава додају се успоривачи вулканизације.

Друга фаза представља подвулканизацију, који претходи оптимуму вулканизације у коме у току времена долази до наглог пораста затезне чврстоће мада вулканизација није завршена.

Трећу фазу представља област оптималне вулканизације, односно, фаза постизања максималне затезне чврстоћа. Међутим, ту се не завршава процес јер се вулканизација никад не изводи до постизања максималне затезне чврстоће. Разлог за то је јер се њеним постизањем долази до опадања отпорности према старењу. За постизање најбољих својстава гуме нису исти услови вулканизације, јер на пример ако се жели највећа отпорност на хабање вулканизација се изводи на одређеној температури и времену, али при томе неће бити постигнута највећа друга својства.

У четвртој, а уједно и последњој фази вулканизације каучукове смеше долази до смањења свих својстава, првенствено затезне чврстоће, издужења и отпорности према хабању. Оптималним избором убрзивача вулканизације и одговарајућом количином сумпора који се додаје, осетљивост на превулканизацију се смањује [13].

Вулканизација, у зависности од примењене методе, може бити:

- хладна вулканизација,
- вулканизација са паром сумпор-хлорида и
- топла вулканизација,

Хладна вулканизација се примењује код добијања танких гумених предмета, који се потапају у 1,5 до 5% раствора сумпор-хлорида у угљен-дисулфиду, у интервалу од 2 до 20 секунди, зависно од дебљине. Дуже време вулканизације изазива добијање крте и ломљиве гуме, због тога се овај поступак мора изводити са пуно искуства и пажње. После вулканизације неопходно је гуму ослободити од тешког мириса раствора за вулканизацију путем прања, сушења, односно кувања у алкалним растворима [13].

Топла вулканизација се, на пример, користи за вулканизацију пнеуматика. Котлови (аутоклаве) се користе за њихову вулканизацију (слика 2.4). Ова вулканизација се изводи помоћу водене паре под притиском у цилиндричним аутоклавима који могу бити: хоризонтални и вертикални [14].

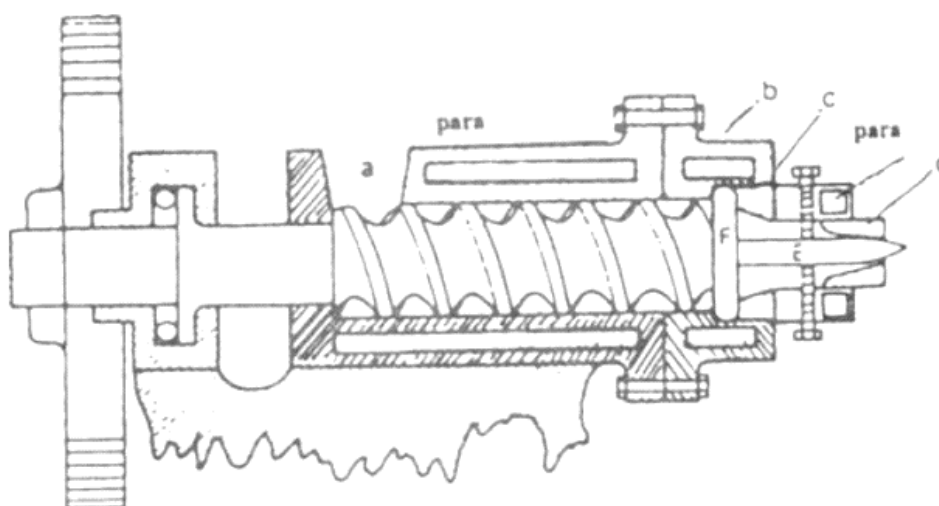


Слика 2.4 Вулканизација гуме [14]

2. 2 Основне технологије обликовања гуме

2.2.1 Екструдирање

У производњи различитих гумених профила и гумених цеви употребљавају се екструдери (слика 2.5). У тим се машинама смеша каучука и додатака потискује кроз тело екструдера, а затим истискује кроз плоче са отворима жељеног облика и димензија. Смеша за екструдирање може се доводити у екструдер ручно или аутоматски са машине са ваљцима. Из смеша које се не вулканизирају под притиском треба приликом екструдирања отклонити ваздух и велики део влаге, јер би у противном материјал после вулканизације могао бити порозан[15,16]. У неким екструдерима смеша због тога пролази кроз део који је у вакуму, где се уклања ваздух и влага из смеше. За постизање жељене вискозности смеше необично је важно да се у таквим екструдерима, а нарочито у вакуму, температура контролише и тачно подешава. После изласка из отвора екструдера профилисана смеша обично мало промени свој облик и набубри. То треба узети у обзир приликом формирања отвора за екструдирање.



Слика 2.5 Пресек екструдера [17]

(a) врат; (b) глава; (c) млазница; (d) матрица; (e) језгро; (f) носач језгра

Постоје два типа екструзије:

- ✓ неконтинуирана екструзија,
- ✓ континуирана екструзија.

Процес вулканизације при неконтинуираној екструзији се врши у аутоклавама. Током процеса вулканизације у аутоклавима производи различитих облика настали потискивањем кроз матрицу су изложени пари високог притиска и доведени на специфичну температуру вулканизације смеше, где се задржавају све док се хемијска реакција не заврши.

При континуираној екструзији (слика 2.6) гумени материјал путује кроз отвор матрице а одмах затим кроз тунел за сушење где се температура материјала подиже на одговарајућу температуру вулканизације и одржава током целог процеса вулканизације [18].



Слика 2.6 Пример континуалног екструдера

Методе вулканизације код континуалних екструдера су следеће [19]:

- ✓ вулканизација у соној купки;
- ✓ вулканизација помочу флуидизованих лежишта;
- ✓ вулканизација у микроталасним пећима;
- ✓ вулканизација са инфрацрвеним зрачењем.

У свим случајевима циљ медија је да брзо доведе континуирани ток гуме на унапред подешену температуру и да га држи на тој температури док се вулканизација не заврши.

2.2.2 Каландирање

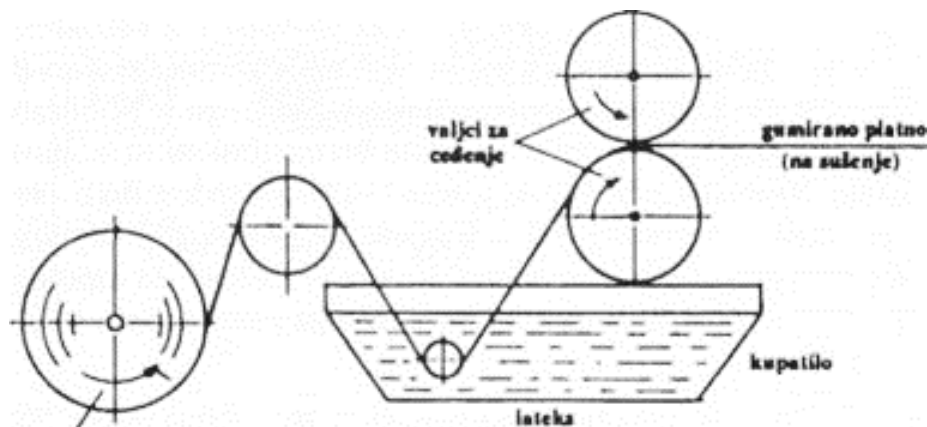
Каландер је машина која смешу каучука и додатака формира у плоче жељене дебљине. Употребљава се такоде за гумирање тканина. Машина се састоји од 2 - 4 ваљка, који се могу загревати или хладити и којима се међусобни размази могу мењати. Једноставан каландер са два ваљка употребљава се за израду плоча дебљине 0,3 - 2 mm. Такав се каландер повезује са посебним екструдером, па смеша из екструдера улази директно међу ваљке. Много се чешће употребљавају каландери са 3 ваљка.

У производњи плоча трећи ваљак може служити за хлађење већ каландиране плоче пре намотавања у ролне. У каландерима са три ваљка директно се помоћу мотора покреће средњи ваљак (а остала два су везана с њим преко преносника и могу се примичати или одмицати од средњег ваљка). Ваљци се могу окретати истом брзином или да би се повећало трење, различитим брзинама. Необично је важно да смеша и

ваљци каландера буду пре каландирања загрејани на потребну температуру. Ниска температура проузрокује неједноликоност и храпавост материјала, а на превисокој температури стварају се мехури. За успешно каландирање, тј. за избор најповољније температуре, брзине окретања и трења међу ваљцима, потребно је велико искуство.

За гумирање тканина употребљавају се каландери са три или четири ваљка. Њихов положај и начин рада може бити врло различит. На каландер са три ваљка може се гумирати само једна страна тканине.

За обострано гумирање делимично гумирана тканина мора поново проћи кроз такав каландер са 4 ваљка. Утискивање смеше у тканину постиже се захваљујући трењу које настаје између ваљка и тканине. У каландеру (слика 2.7) са три ваљка средњи ваљак се окреће брже од осталих. Смеса се убацује између првог и другог ваљка и хвата се на други топлији ваљак. Тканина улази у машину између другог и трећег ваљка, тј. спорије од окретања другог ваљка. Због тога смеша пролази преко тканине и под притиском који влада између ваљка утискује се у тканину. Тако се, нпр. израђују гумене транспортне траке. Тканина се обично мора пре тога гумирати да би се остварио бољи контакт између тканине и каучукове траке.



Слика 2.7 Премазивање кроз пуно купатило са обе стране платна

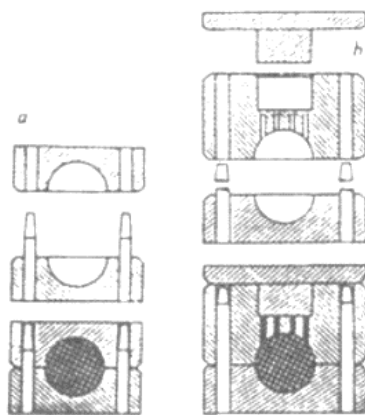
На савременим, великим каландерима, размак између ваљака, не намешта се ручно већ помоћу уређаја са електромоторима. Дебљина плоче која излази из каландера може се мерити помоћу уређаја са бета-зрацима. Тај уређај се, уколико је потребно, аутоматски подешава; размак међу ваљцима омогућује израду плоче сталне дебљине.

2.2.3 Обликовање у калупима

У калупима се израђују многи гумени предмети широке потрошње, нпр. чепови, али и сложенији и већи предмети. Такве су нпр. аутомобилске гуме, за које је обликовање у калупу само један од поступака у току њихове израде. Постоји неколико начина обликовања у калупу. Том се приликом предмети одмах и вулканизирају. Гумени предмет добијен обликовањем и вулканизирањем у калупима увек је нешто мањи од димензија калупа. Узрок је разлика у топлотном ширењу између каучука и метала од којег је грађен калуп.

Компресионо обликовање

Обликовање каучукове смеше уз истовремену вулканизацију се врши у калупима на хидрауличним пресама. Калупи могу бити помични, тј. могу се вадити из пресе, а могу бити и уграђени у горњу и доњу плочу пресе. Вулканизација се изводи помоћу паре која пролази кроз канале у плочама пресе. За вулканизацију на вишим температурама пресе се загревавају електричним путем [20].



Слика 2.8 Компресионо обликовање у калупима

Предности компресионог обликовања су следеће [18,19]:

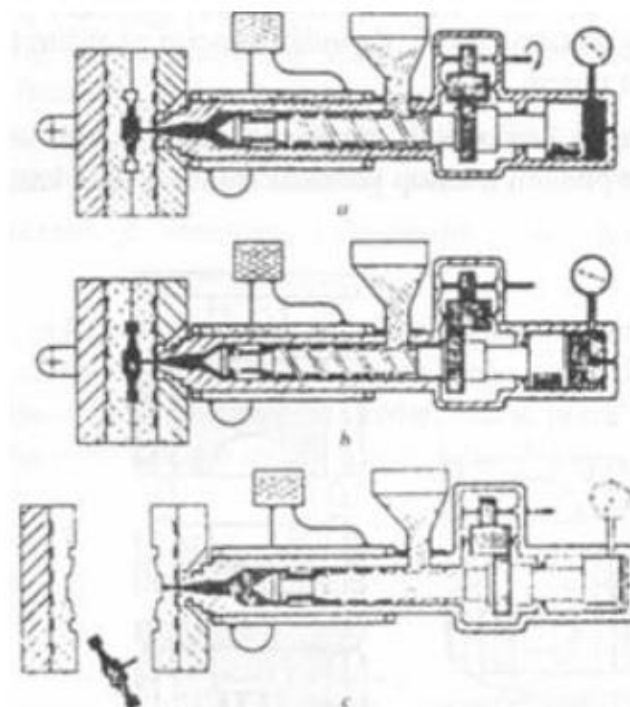
- ✓ метода је једноставна и захтева релативно једноставне пресе и калупе;
- ✓ могућа је производња композита који садрже ојачавајуће материјале и не садрже гуму;
- ✓ погодан за производе са великом површином или великим ширењем;
- ✓ може се користити за гумене смеше са високим вискозитетом и лошим карактеристикама протока;
- ✓ може бити економичан у случају када је пресек дела веома велики и захтева дуготрајну вулканизацију.

Недостаци компресионог обликовања су следећи [18,19]:

- ✓ припрема смеше и убацивање у калупну шупљину траје много дуго;
- ✓ компликоване шупљине је тешко попуњавати;
- ✓ брзина производње је веома мала;
- ✓ потребно је водити рачуна да се избегне контаминација метала са прашином.

Инекционо бризгање

За овај поступак се употребљава машина која је у принципу једнака машини за убризгавање у индустрији пластичних маса. Међутим, у раду са каучуковом смешом појављују се тешкоће због веће вискозности и опасности од преране вулканизације. Каучукова смеша убацује се у машину у облику гранула, трака или мањих комада и одводи према калупу.

**Слика 2.9** Инекционо брызгање

За разлику од компресорског обликовања у којем се температура потребна за вулканизацију доводи споља, у поступку са убризгавањем температура се развија за време проласка каучукове смеше кроз машину. Тако се читава маса равномерно загрева и вулканизира, а то доприноси бољим физичким својствима производа. Компресорски поступак захтева мање инвестиције, али су трошкови производње релативно велики. У поступку са убризгавањем тај однос је обрнут, па одлука о избору једног или другог поступка зависи од броја предмета које треба произвести.

3. Технологије обраде гуме резањем

Гуме које су на собној температури довољно тврде, могу да се обрађују помоћу свих техника рада које су уобичајене при обради метала. За обраду пластичних маса обично се употребљавају машине за обраду дрвета или лаких метала, тј. машине са великом брзином резања, а хлађење се изводи водом, емулзијом или ваздухом под притиском. Без таквог хлађења врло лако може доћи до распадања и лепљења.

Код обраде гуме, као и при обради осталих врста материјала, врло су важни параметри попут резног угла алата, посмак и брзина резања. При стругању имају предност ножеви са заобљеним врхом, док при глодању само спирално озубљена глодала. Резање навоја се избегава, али ако се мора нарезати приступа се раду са већим успоном и заокруженом основом. Поред наведених механичких операција, термоактивне масе се могу брусити карбидним тоцилима, брусним папиром или механички. Полирање се може извести полирним пастама или фланелом на ротационим машинама. Примери делова обликованих технологијом резања дати су на слици 3.1.



Слика 3.1 Примери делова обликованих технологијама резања [20]

Врло мали број података о параметрима за обраде гуме је јавно доступан. Према томе, исти се претежно одређују експерименталним испитивањима. Такође, сам избор алата се може одредити на основу искуства. Што је гума тврђа, њена обрадљивост у погледу обраде резањем је већа. У случају да је гума мекша, постоји опција за њено залеђивање течним азотом пре обраде [21].

3.3.1 Сечење тестером и на маказама

Различите технике и алате је могуће применити за сечење гума разних тврдоћа. За сечење мекших гума претежно се користе маказе, односно ножеви. У неким случајевима, при залеђивању мекших гума течним азотом могуће је применити исте технологије као код тврђих гума [22].

Једна од најбољих машина за сечење гуме, како тврдых тако и меких је тестера. Дуга тестера, димензија и преко 2m је погодна јер се спорије загрева услед велике дужине, што даље спречава појаву топљења гуме. Један од примера машина које би могле вршити сечење гуме је дат на **слици 3.2**.



Слика 3.2 Машина за сечење метала, дрвета и гуме

Брзина кретања тестере иде и до 60000 mm/min. Посмак се може контролисати ручно од стране оператера. Што већа брзина кретања тестере, мања је могућност неправилног деформисања гуме при сечењу. Веће брзине такође спречавају дуго трење између гуме и тестере, што смањује могућност топљења гуме услед пораста температуре услед трења. Када се секу танки гумени делови, радни комад мора имати одговарајуће ослонце.

Број зуба по центиметру утиче на квалитет обраде. На пример, за грубу обраду користе се тестере са пар зуба по центиметру, док се за финију користе тестере са више од 4 зуба по центиметру дужине. При резању тврђих гума, потребно је користити расхладну течност. Расхладне течности су мешавине уља и воде (претежно 50 – 50 % микс). Коришћењем расхладне течности, поред тога што се смањује температурни утицај, такође се побољшава квалитет обрађене површине. При прављењу дебелих

резова где су посмаци мали и тестера се налази дуже у контакту са гумом, коришћење расхладне течности је такође погодно [22].

Одсецање на маказама (слика 3.3) представља добру алтернативу за сечење тањих гума. Погодни су за коришћење при сечењу гумених делова до 3 cm дебљине у случају када су ножеви оштри а тврдоћа гуме је мања од просека. Са порастом дебљине гуме, при сечењу на маказама могући су настанци неправилних ивица и деформација.



Слика 3.3 Маказе за сечење гуме

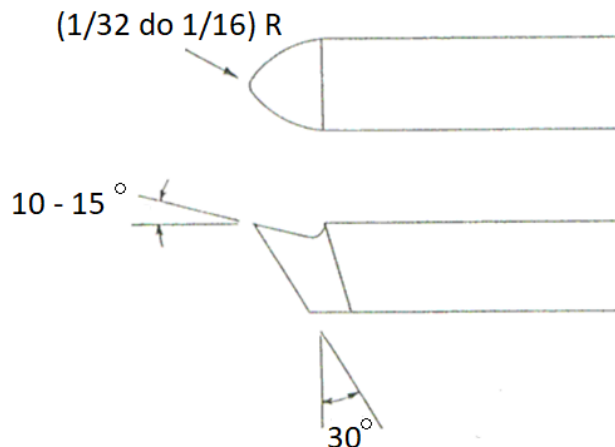
3.3.2 Стругање

Све операције на стугу (слика 2.12) које се могу спровести на металима, могу и на гуми са тим да је конфигурација алата, тј. геометрија истог у директној зависности од тврдоће и врсте операције. Поред геометрије, број обртаја и посмак такође су у функцији од тврдоће гуме. Често је посмак ручно контролисан на основу осећаја и искуства оператера при обради стругањем.



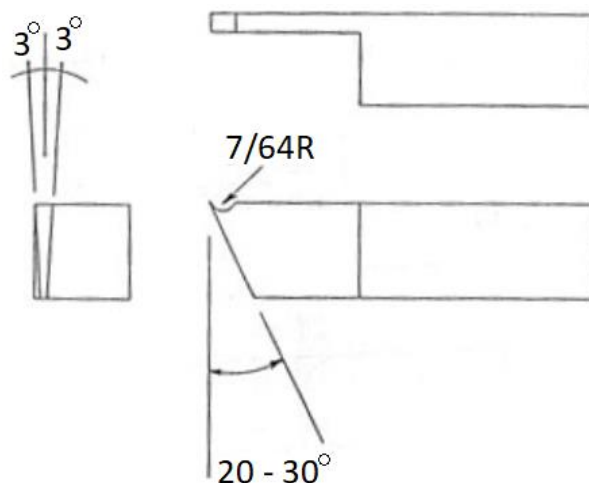
Слика 3.4 Стругање гуменог профила

Генерално, употреба оштрих алата, велики број обртаја и мали посмак доносе најбоље резултате у погледу квалитета обрађене површине. Једноделни ножеви и ножеви са плочицом дају једнако добре резултате. Скица алата са кретањем угла приказана је на **слици 3.5**. Клиренси алата су већи у односу на метал. Циљ је да се створи што мањи отпор кретању алата кроз гуму. Струготина треба бити дугачка - континуална (најчешће увијена у спиралу). Добро одвођење струготине битно утиче на смањење загревања гуме[23].



Слика 3.5 Скица ножа

Геометрија алата је врло битна за успешну обраду стругањем. Радијус „носа“ и углови варирају у зависности од финалне жељене површине. Мали углови узрокују лоше одвођење струготине. Превелики углови узрокују краћи животни век алата. Угао од 10 до 15° је добар за почетну позицију (први рез). Бочни угао од 30° је такође добар за поменути позицију. Радијус битно утиче на квалитет обрађене површине. Што је већа тврдоћа, радијус се смањује и обрнуто. При исецању елемената на стругу користе се ножеви за одсецање. Скица геометрије ножа подобног за одсецање гуме приказана је на **слици 3.6**[24].



Слика 3.6 Нож за одсецање

3.3.3 Глодање

За разлику од стругања, глодање се знатно теже спроводи при обради меких гума. Алати морају бити оштри и радни комад мора бити добро фиксиран. Број обртаја глодала се креће од 900 до 1300 o/min. Посмак од 75 до 100mm/min је оптималан за почетак глодања.

При обради гума, глодање се користи онда када је не могуће применити операције стругања. Такође се користи када је потребно остварити добар квалитет површина и уже толеранције. Употреба расхладних течности је такође пожељна како не би дошло до прегревања, као и залеђивање течним азотом (слика 3.7).

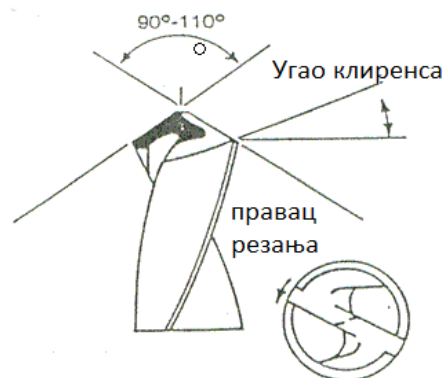


Слика 3.7 Глодање залеђене гуме[24]

3.3.4 Бушење

Споро бушење, спиралном бургијом пружа најбоље резултате. Том приликом се минимално загрева гумени део. Одвођење материјала се одводи у континуитету без проблема. Нема лепљења гуме за алат. Приликом бушења серија малих отвора/рупа, у исте је након бушења потребно поставити цилиндричне уметке како се приликом

бушења осталих рупа/отвора исти не би деформисали. Угао бургије се креће од 90 до 130 степени. За дебеле зидове, повољне су бургије са углом од 115 до 130 степени. На слици 3.8 приказана је скица глодала. Брзина кретања је 0,1 mm/s [25].



Слика 3.8 Скица глодала

4. Технологије рециклаже пнеуматика

Методе рециклаже, односно прераде пнеуматика могу се поделити на физичке и хемијске методе базиране на различитим процесима. Основна подела, најчешће коришћених метода је подела на:

- криогено и механичко дробљење (млевење, уситњавање) - физичка метода,
- регенерација и девулканизација - физичко-хемијска метода,
- пиролиза и гасификација - хемијска метода.

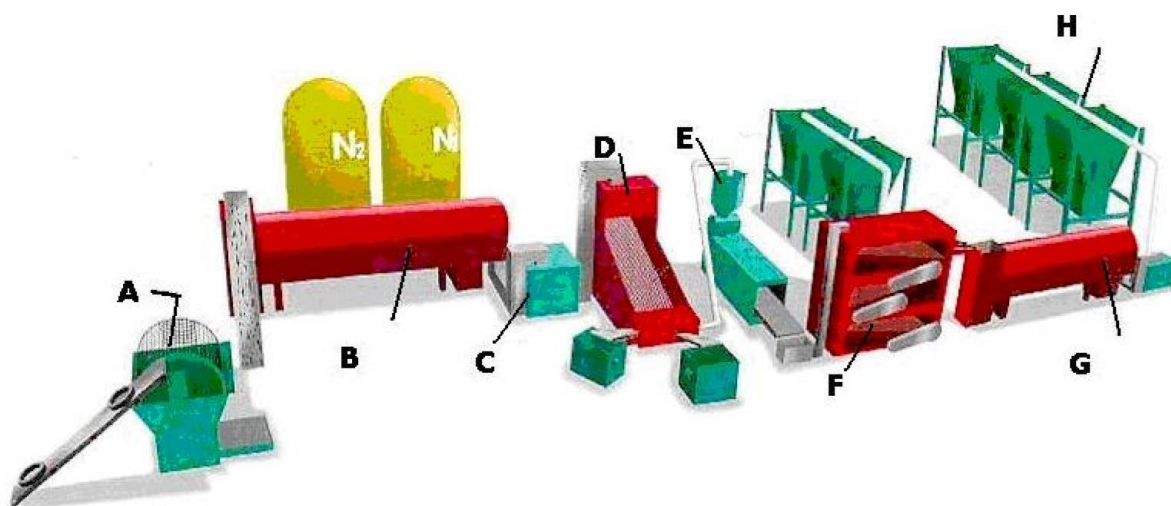
Поред наведених метода, користе се и микроталасна, ултразвучна рециклажа као и пулверизација. Најчешћу примену од свих метода има метода механичког дробљења [15,16,27]. Учестало коришћене методе не загађују околину, у својим процесима не садрже употребу опасних киселина и база и уједно представљају најјефтиније облике рециклаже.

4.1 Рециклажа пнеуматика физичком прерадом

4.1.1 Рециклажа пнеуматика криогеним дробљењем

У процесу криогеног начина дробљења, пнеуматик се најпре замрзне течним азотом на температури од -80°C до -100°C . На овој температури гума постаје толико крхка да се може релативно лако сећи постројењем за сечење. Још лакше се одвајају текстилни и метални делови од гумених. Недостатак овог процеса представљају високи енергетски захтеви, проблеми при манипулацији и углавном високи трошкови. Гумено зрно добијено криогеним дробљењем има већу површину у односу на зрно добијено класичним дробљењем. Излазни производ (гранулат) има високу производну цену, а поврх свега се мењају и основне особине гуме. За 1 kg пнеуматика утроши се око 0,6 kg течног азота.

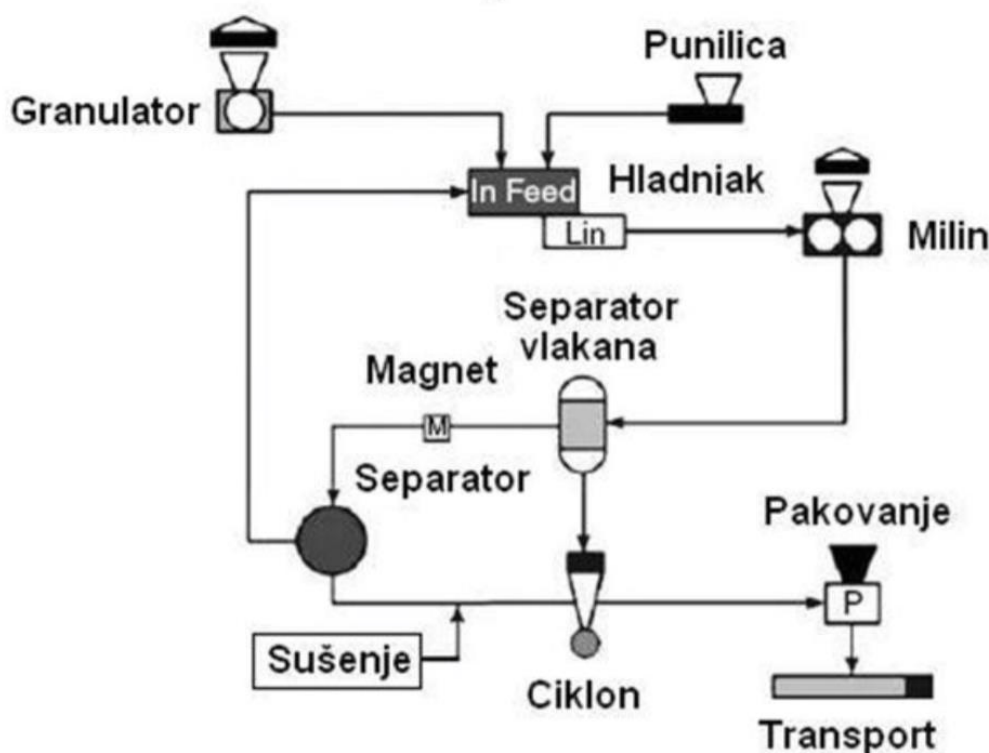
Шематски приказ криогене рециклаже пнеуматика је приказан на **слици 4.1**. При овом процесу пнеуматици се дробе у дробилици (**A**) до величине око 50 mm и транспортују до расхладног тунела (**B**), где бивају охлађени течним азотом. Хлађење се може извести на неколико начина: директно на покретној траци, у екструдеру, у тунелу (стилу комора), или у кади са течним азотом. Течни азот се може убризгавати у млин пре и за време процеса дробљења. У млину, нпр. млину чекићару (**C**), одређене материје, као нпр. челик и гума, се смањују на фракције величине од 0,4mm до 0,6mm. Овај релативно велик спектар величина фракција после процеса смањивања је типичан за криогено млевење.



Слика 4.1 Систем криогене рециклаже пнеуматика

На излазу из млина се одстрањују челик, текстил и честице прашине (**D**). Потом се гранулат суши (**E**) и врши се сепарација (**F**) према величини зрна. Следи секундарно дробљење (**G**) и складиштење гранулата (**H**).

Шематски приказ процеса криогеног дробљења се одвија из низа под процеса приказаних на **слици 4.2**. Ударни чекић млинови за дробљење гуме са **слике4.1** и **слике4.2**, приказанје на **слици 4.3**. Величина честица која се може постићи у њима је у распону од 0,4 до 0,6mm.



Слика 4.2 Шематски приказ процеса криогене рециклаже

На излазу из млина гранулат пролази кроз систем сила тј. сепарација где један део одлази на поновно дробљење, а други део се суши, затим уз помоћ вентилатора врши одвајање честица да би се на крају паковале и транспортовале до купаца [28-30].



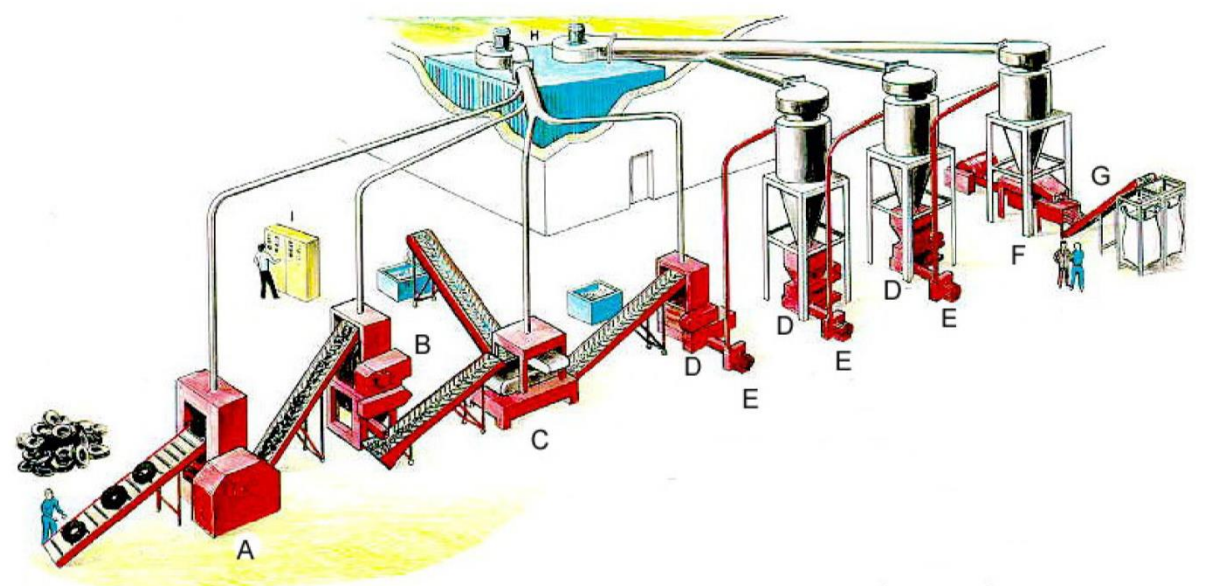
Слика 4.3 Изглед чекића у млиновима

4.1.2 Рециклажа пнеуматика механичким дробљењем

У процесу механичког дробљења при нормалној температури, пнеуматици се дробе на улазу у постројење тако да је обезбеђена хомогеност улазне сировине и квалитет производње. Постоји разлика између гранулата од пнеуматика са путничких и пнеуматика са теретних возила. Важно је да се издвоје старији пнеуматици, пошто после десет година они делимично губе своје особине и долази до немогућности искоришћења гранулата. Пошто код већих пнеуматика (за тракторе и теретна возила) челичне нити могу имати пречник до 8 mm и с обзиром на рок употребе ножева и целе линије за дробљење, ове нити се одстрањују. Челичне нити се одстрањују тако што се пнеуматици секу по дужини. Пнеуматици ослобођени челичних нити бацају се у дробилицу са озубљеним ваљцима на осовинама које се врте у супротним смеровима, где се дробе на комадиће димензија 4x5cm. За постизање ефективније производње, овај процес се понавља два до три пута. У следећем делу линије се, у дробилици са ваљцима на осовинама које се врте у супротним смеровима са уздужним озубљењем, крупни гранулат даље дробе на мање комадиће, при чему долази до раздвајања металних од гумених делова. На излазу се помоћу јаког магнета издвајају челични комадићи. Следећа операција је дробљење насталог материјала на жељену величину од 0,4 до 4 mm.

Главни продукт механичке прераде је гумени гранулат разних величина фракција, гумени прах, исечена челична жица и сечени текстил. Фракције добијене класичном методом могу се упоредити са пахуљама снега због изгледа своје површине. За фракције веће површине погодна је хемијска прерада, нпр. за производњу регенерата. Постоје разни видео снимци у којима су објашњени поступци рециклаже попут овог[31-34].

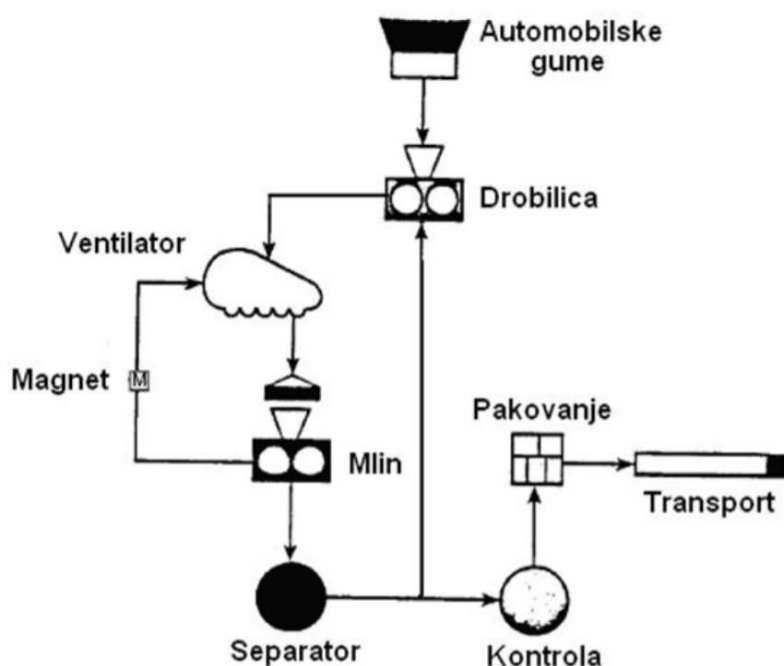
Шематски приказ механичке рециклаже пнеуматика је приказан на **слици 4.4**. Улазна дробилица (**A**) смањује материјал, који се помера по транспортној траци. Гранулятор (**B**) смањује гумене комадиће и брине се о целокупном раздвајању измешаног материјала, тако да се текстил и челик усисавају помоћу аспиратора (**H**), односно кроз магнетну линију (**C**). Следеће млевење (**D**) доводи гранулат до жељене величине зрна.



Слика 4.4 Систем механичке рециклаже пнеуматика

Ова метода назива се "амбијент", што у енглеском језику значи топлота околине или средине. Материјал се дроби при собној температури и није потребно додатно хлађење за његово стврдњавање. Висока температура трења, до које се рециклирани материјал загрева, се постиже трењем у млину.

Овај процес се шематски може приказати преко низа подпроцеса шематски приказаних на **слици 4.5**. Прво се због разлике у величини челичног језгра код теретних и тракторских пнеуматика, где одређене нити могу имати пречник и до 8 mm пнеуматици морају исецати по дужини како би се челичне нити могле уклонити. Затим се тако припремљени пнеуматици убацују у дробилицу са озубљеним ваљцима на осовинама које се врте у супротним смеровима **слика 4.6**. Овај поступак се понавља два до три пута како би се постигла одговарајућа величина комада.



Слика 4.6 Шематски приказ амбијенталног процеса рециклаже

Затим се у дробилици са уздужним озубљењем на ваљцима који се окрећу у супротном смеру врши дробљење на мање комаде. Након овог процеса се уз помоћ магнета одстрањују металне примесе, а уз помоћ вентилатора се одстрањује текстил и ситна прашина. Последњи процес је финално млевење на тражену величину честице у распоно од 0,1 до 5mm [35].



Слика 4.7 Озубљени ваљци

4.2 Рециклажа пнеуматика хемијском прерадом

4.2.1 Основна својства отпадних пнеуматика намењених за хемијску прераду

Основна својства отпадних аутомобилских пнеуматика (ОАП) као и појаве које се одвијају при термичким поступцима прераде ОАП су приказани у овом поглављу. ОАП су специфична врста отпада коју стварају точкаши. ОАП састављени су од гумених материјала у СхНу форми уз присуство неких влакнастих материјала (слика 4.7). ОАП садрже велику количину испарљивих материја (54,23 – 68,70%) и фиксног угљеника (18,72 – 33,60%) чија је доња топлотна моћ већа од топлотне моћи угља. Доња топлотна моћ ОАП креће се у опсегу 27181 – 39144 kJ/kg. Зато су ОАП добар материјал за термичку прераду. Процеси пиролизе, гасификације и сагоревања се сматрају најпрактичнијом методом за коришћење енергије и материјала из ОАП.



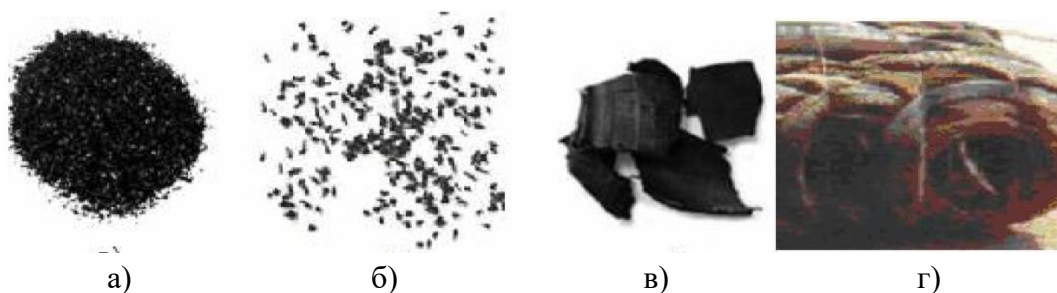
Слика 4.7 Структура ОАП [31]
(1 – газећи слој, 2 – тело, 3 –заштита фелне (стопа))

Физичка својства

Најважнија физичка својства ОАП која су битна при термичким поступцима прераде (пиролиза, гасификација и сагоревање) су:

- величина и дистрибуција величина честица
- облик честица
- порозност честица.

Физичке карактеристике ОАП чине их погодним за широк спектар примјене у свим облицима: прах, гранулат, сечене и целе (слика 4.8).



Слика 4.8 Величине и облици ОАП које се користе при термичким поступцима прераде
(а – прах, б – гранулат, в – сечени пнеуматици, г – цели пнеуматици)

Хемијска својства

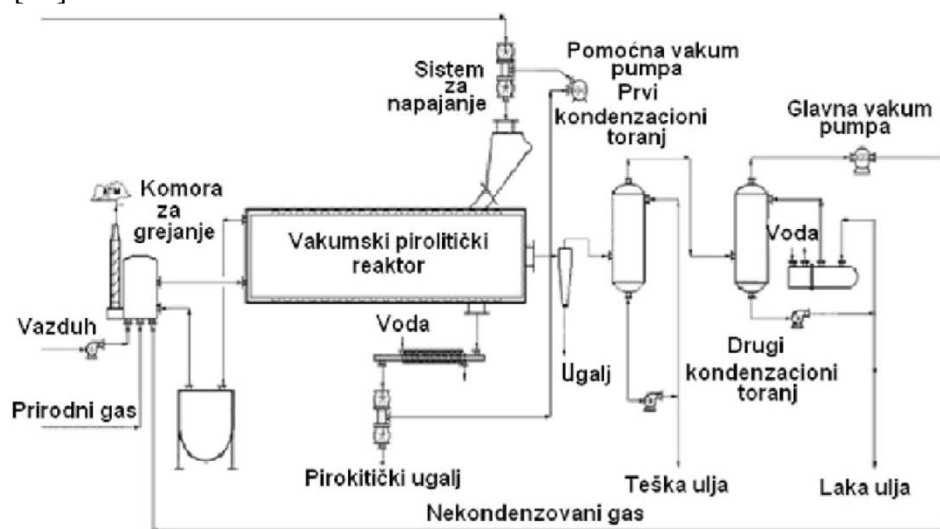
ОАП поред атома С, Н, О, N, S у саставу садрже још и Fe, Ca, Mg, K, Na и још низ других елемената. Техничка и елементарна анализа ОАП према [36] указује да се:

- масени удео угљеника креће у опсегу 64,2 – 88,5%
- масени удео водоника креће у опсегу 5 – 8,1%
- масени удео пепела креће у опсегу 2,4 – 25,2%
- доња топлотна моћ креће у опсегу 27000 – 39144 kJ/kg

Разлика између биомасе, отпадне гуме и угља је у односу масених удела угљеника и водоника (C/H). Тај се однос код биомасе креће око 10, отпадне гуме око 12, лигнита око 14 и код антрацита чак 30. Ово се може објаснити чињеницом да су продукти распадања биомасе гасови мање молекуларне масе и органске течности са већим уделом водоника. ОАП као гориво у погледу хемијских својстава има одређене предности али и недостатке. Предности ОАП као горива јесте то што ОАП спадају у високо енергетска горива. ОАП садрже 20 – 30% природне гуме која је обновљиви енергетски извор па својим сагоревањем не загађује животну средину емитовањем CO₂ [37]. Недостаци ОАП као горива су знатни удели: пепела, сумпора, цинка и гвожђа [38].

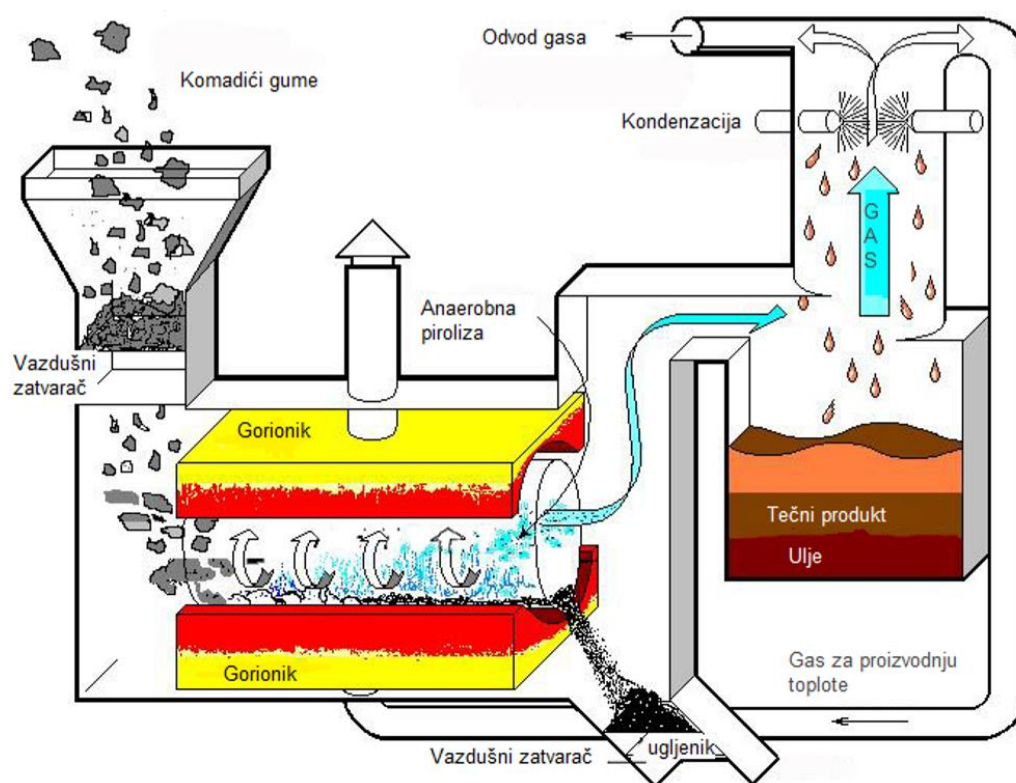
4.2.2 Рециклажа пнеуматика поступком пиролизе

Пиролиза угљеничних материјала се може тумачити као термална деградација горива у одсуству кисеоника. Ту се гориво (ОАП) уводи у реакторски простор без радних флуида а топлота се доводи изван реакторског простора. Пиролиза се углавном примењује при преради горива (угаљ, отпад, ОАП) са већим садржајем угљеника и водоника. Према распону температура могу се разликовати три варијанте пиролизе: нискотемпературна до 500°C, средњетемпературна од 500-800°C и високотемпературна изнад 800°C. Повећањем температуре пиролизе повећава се удео пиролитичког гаса а смањује се удео чврсте и течне фазе. Шематски приказ поступка пиролизе је дат на слици 4.9[39].



Слика 4.9 Шематски приказ процеса пиролизе

Другим речима, пиролиза се заснива на топлотном раздвајању макромолекула са очувањем веза између угљеника и водоника. Процеси се остварују на вишој температури у реактору без присуства кисеоника. Поједини састојци одвајају се кондензацијом и другим физичко-хемијским процесима. Квалитет и количина појединих производа зависи од примењене технологије и условима пиролизе. У неким случајевима се пиролитички прерађује смеша пнеуматика и отпадне пластике. Пиролизни гас који при том настаје се користи као извор топлотне, а у случају реализације когенерационе јединице, и електричне енергије. Постројење постаје независно од испоруке електричне енергије и може бити реализовано на, такође, произвољном месту. Још неки продукти пиролизе су и драгоцене сировине као што је пепео, пиролизно уље, тешка уља, уља са садржајем алкана, бензена, толуена, метал и челични опилци. Отпад од гуме представља сировину са високим садржајем угљеника. При пиролизи, под утицајем топлоте, долази до растварања гуме на ниже угљоводонике са једноставнијим везама и неорганске материје.



Слика 4.10 Поступак пиролизе

Уситњени пнеуматици у кружним ротационим пећима прелази у гасовито стање под дејством високе температуре и без присуства ваздуха. Овако добијен гас прелази у следећи део оперативног система, где се издвајају чврсте материје. Гас се постепено хлади, долази до промене притиска и прелази у течно стање, тако да се на излазу добијају следећи продукти [40]:

- гас,
- уље,
- угљенични прах.

При погону постројења не настаје практично никакав отпад, само вишак челичних опилака из пнеуматика и ситан пепео из нечисоћа. Остали губици су само топлотни. Сви поменути производи се добро продају, углавном као јефтино гориво или гориво за пољопривредна и грађевинска постројења. Гас који настаје се поново користи за загревање пећи и за спаљивање у когенерационој јединици која производи електричну енергију за погон прерађивачког постројења. Отпадна топлота се користи за загревање радних погона. Са енергетског гледишта линија за прераду за време погона је довољна, потребан јој је само константан прилив одговарајућег отпадног материјала. Ефикасност класичног постројења за пиролизу је 9500 тона пластике и пнеуматика годишње, при коришћењу једноставне линије (једна заостаје у средњем делу). Учинак је 92%. При пуњењу 90% пластике и 10% пнеуматика, добија се 50% лож уља, 37% гаса и 5% угљеника. Губитке представља 23% пепела и 5-6% топлоте.

Овакво коришћење отпадних пнеуматика је занимљиво не само са економског, него и са еколошког аспекта јер цео технолошки процес представља затворен циклус и остварује се без могућности настанка штетних емисија у атмосферу и без загађивања воде и земљишта.

Из реактора (слика 4.11) одлази угљенични гас, а остаје вишак без садржаја угљеника. Хлађењем насталог гаса кондензује се течност, такође названа "биоуље", која има особине:

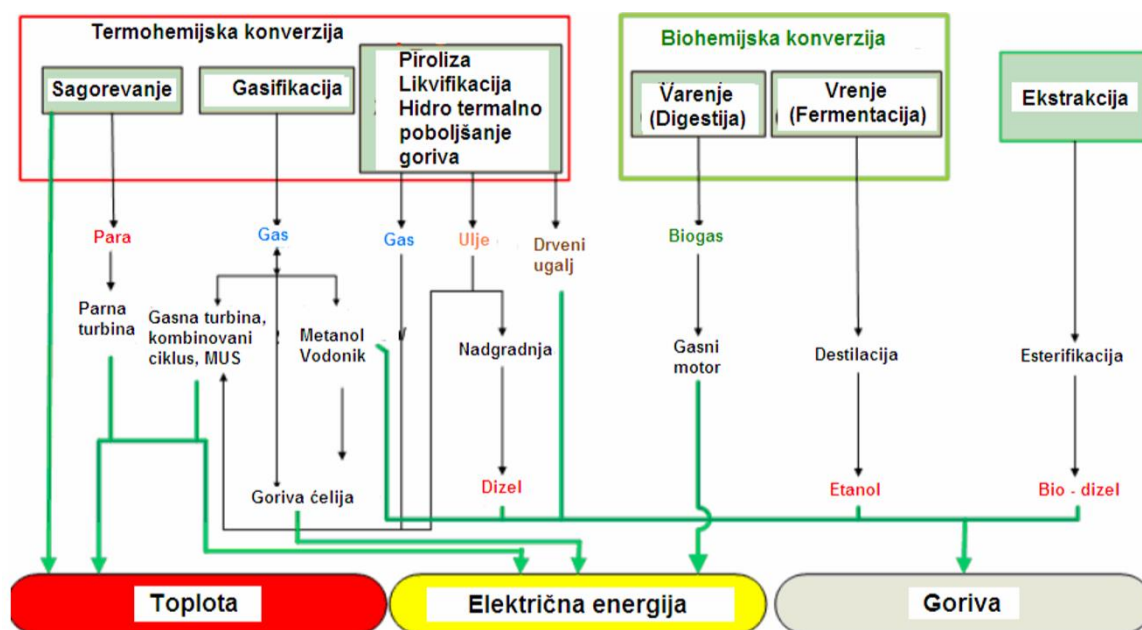
- лаког уља које се може користити као лож уље или дизел гориво,
- средњег уља са особинама погодним за производњу мазива, и
- тешког уља погодног за производњу угљеничних влакана (кабонских ламината).



Слика 4.11 Изглед реактора у процесу пиролизе [41]

Биоуље не садржи сумпор ни друга штетна једињења. Погодно је за погон дизел мотора или за спаљивање у нафтним горионцима свих врста. Представља и погодну сировину за производњу пластике, мазива и угљеничних композита. Некондензовани гас се углавном потроши у сопственој технологији. Угљенисан вишак након сепарације метала представља, такође, чист порозан угљеник, приближно истих особина као активни угаљ. Употребљава се као испуна филтера за воду или гас, или за даљу прераду у хемијској индустрији.

Продукти процеса пиролизе су кондензоване течности, чврсти остатак (кокс) и пиролизички гас. Процеси пиролизе, гасификације и сагоријевања се сматрају најатрактивнијим методама за коришћење енергије из отпадних гума и биомасе (слика 4.12).



Слика 4.12 Термохемијска и биохемијска конверзија горива [39]

Индустријска постројења су углавном на ступњу развоја лабораторијских или полуиндустријских експерименталних постројења. Према подацима из литературе [39] из једне тоне смећа пиролизом се може добити 70 – 90 kg кокса (топлотне моћи 19000 – 30000 kJ/kg), 5 – 8 kg уља (топлотне моћи 3800 – 4200 kJ/kg), 300 – 500 m³ гаса (топлотне моћи 12000 – 20000 kJ/m³). Масени удио појединих производа процеса пиролизе смећа зависи од састава смећа, притиска и температуре у реакторском простору. Пиролизу као процес могуће је поделити у три узастопна процеса:

Примарни процеси: Формирају се продукти у гориву при нижим температурама (CO₂, алифати, угљиководици са садржајем кисеоника и различити уљни спојеви).

Секундарни процеси: При порасту температуре формирају се секундарни продукти у гасовитој фази пуцањем ланаца примарних продуката или реакцијом гасовитих спојева на зидовима честица.

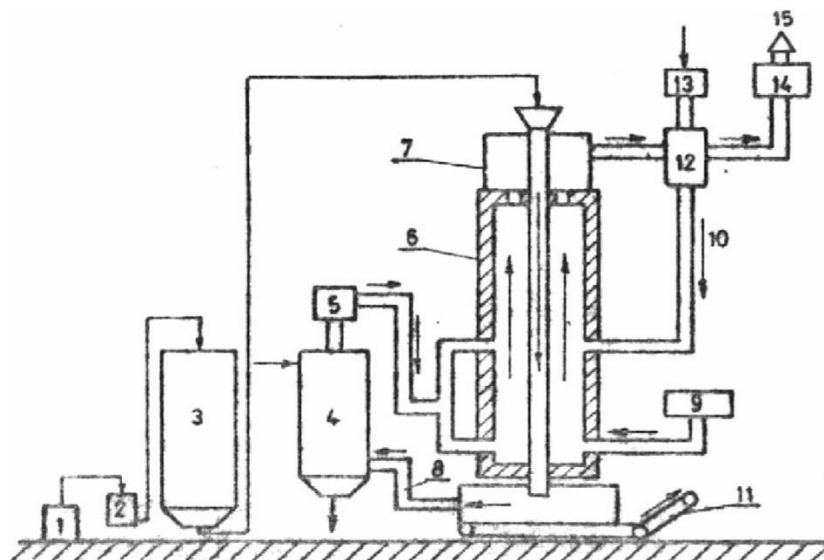
Терцијарни процеси: Пуцањем ланаца секундарних продуката или реполимеризацијом на тешке ароматске спојеве при високим температурама настају нови спојеви.

Хлађењем пиролитички гас кондензује се у течност који се често назива „биоуље“ који има особине:

- лаког уља који се може користити као лож уље или дизел гориво
- средњег уља за производњу мазива
- тешког уља погодног за производњу угљеничних влакана.

Процесима пиролизе горива не настају практично никакав отпад. Јављају се само топлотни губици. Производи настали пиролизом (пиролитички гас, биоуље и кокс) се на тржишту добро продају углавном као јефтино гориво. Отпадна топлота се користи за загревање радних погона.

У постројењу „Дестругас“ (слика 4.13) пиролиза ОАП се врши у реторти (6). Пиролитички гас се пречишћава у уређају (4), сагоревање у плашту реторте (6). Произведени пиролитички гас се транспортује потрошачима.



Слика 4.13 Шема система „Destrugas“ за пиролизу отпада [39]

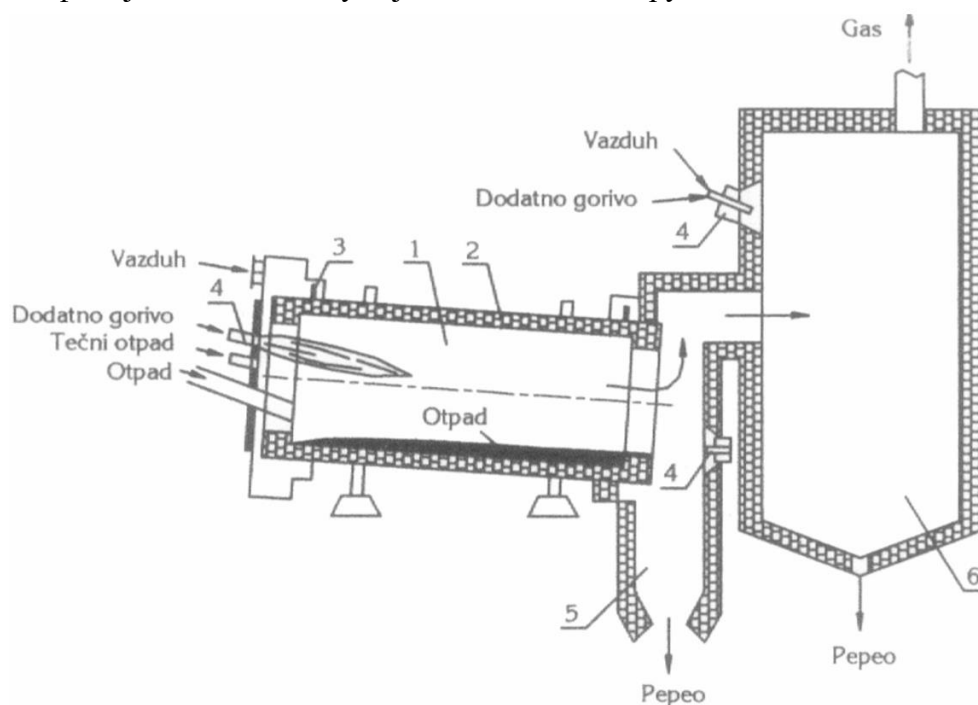
1 - складиште смећа, 2 – дробило, 3 – бункер, 4 – уређај за пречишћавање, 5 – вентилатор, 6 – реторта, 7 – измењивач топлоте за претходно сушење смећа, 8 – продукти пиролизе, 9 – резервоар за гас, 10 – ваздух за сагоревање гаса, 11 – транспортер чврстог остатка из процеса, 12 – измењивачи топлоте, 13 – компресор, 14 – вентилатор, 15 – излаз продуката сагоревања у атмосферу

У најширој употреби јесу ротационе пећи за сагоревање отпада. Оне омогућавају и друге термичке прераде отпада као што су пиролиза и гасификација (слика 4.14). Дужине ротационих пећи су 8 - 12 m (ређе 20 m), пречника 1 – 5 m, температуре у пећи од 800 - 1400 °C, времена задржавања отпада у пећи од 60 – 90 минута. Нагиб пећи је 1 - 3 °, време потребно за један обртај пећи је 20 – 40 s.

Предност ових пећи су:

- еластичност у раду при променама капацитета,
- могу да сагоревају и горива са нижом топлотном моћи,

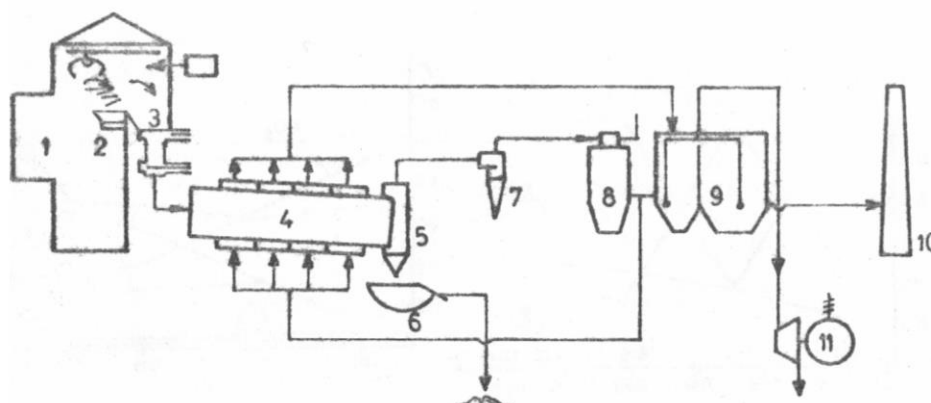
- дуже време рада у односу на сагоревање са решетком,
- ситне фракције остају у ложишту (не пропадају из ложишта као код решетке),
- механичка припрема отпада није потребна,
- коефицијент вишка ваздуха је мањи него код других пећи.



Слика 4.14 Упростиена шема ротационе пећи [42]

- 1 – ротациона пећ, 2 – ватростални изолациони материјал, 3 – заптивач,
4 – горионик за додатно гориво, 5 – канал за одвод пепела,
6 – комора за догревање

Код поступка „Кинер Пиролизе“ (слика 4.15) уситњени отпад и ОАП се уводи у ротациону пећ. При температури од 450 - 500°C, настаје термичка разградња отпада. Пиролитички гасови сагоревају у ложишту (8), при температури од 1100 - 1200°C. Физичка топлота димних гасова се користи за производњу водене паре у котлу (9) а делом за загревање ротационе пећи.



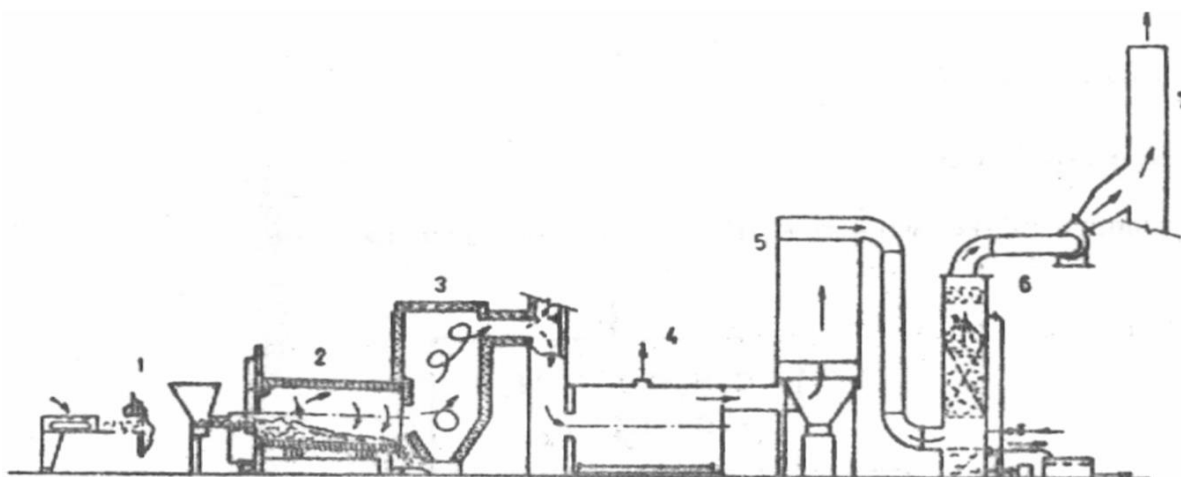
Слика 4.15 Шема система „Кинер Пиролизе“ [40]

- 1 – бункер, 2 – дробилица, 3 – систем за дозирање отпадака, 4 – реактор за пиролизу, 5 – комора,
6 – посуда за кокс, 7 – циклон, 8 – ложиште, 9 – котло, 10 – димњак, 11 – турбина

4.2.3 Рециклажа пнеуматика поступком гасификације

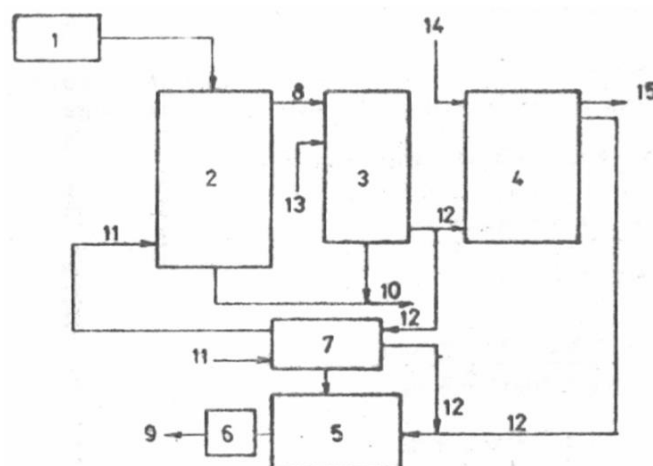
Поступком гасификације ОАП се трансформишу у гасовито гориво. Помоћне радне материје могу бити ваздух, водена пара и течни кисеоник. Главни продукти гасификације су: CO_2 , CO , H_2 и SH_4 . Састав гасовитог производа зависи од састава горива (масених удела горивог дела горива), типа гасификатора, масеног удела влаге у гориву, температуре гасификације и масе додаване водене паре или ваздуха. У односу на сагоревање ОАП предности гасификације су производња гаса који се може користити у различите сврхе и мањи утицај производа гасификације на животну средину. Процес гасификације ОАП се састоји од три фазе: сушења горива, пиролиза и гасификација. Трећа фаза односи се на гасификацију чврстог остатка (кокса) тј. конверзију чврстог остатка у гасовито гориво. Пиролиза је знатно бржи процес конверзије ОАП у гасовито гориво од гасификације. Гасификација као процес конверзије чврстих горива познат је више од 100 година, али тек последњих година расте интересовање за практичну примену гасификације биомасе, отпада, угља и ОАП. Ту се може приметити све већа изградња гасификационих постројења.

У реактору типа „Konserterm“ (слика 3.16) врши се гасификација отпада. Гасификација се врши у ротационој пећи (2), гасовити продукти гасификације догоревају у комори (3) при температури од 850 – 1000 °C. Постојење се примењује за све врсте отпада. Код поступка „Andko Toraks“ (слика 3.17) у реакторски простор (2) поред отпада улази ваздух загрејан до 1000 °C. Гасовити продукти гасификације потпуно догоревају при температури од 1400 °C у комори (3). Запремински удео компонената у произведеном гасу су: CO 8 – 15%, H_2 8 – 15%, CH_4 1 – 4%. Доња топлотна моћ гаса је 3000 – 6000 kJ/m³ при 1,013*10⁵ Pa и 0 °C.



Слика 4.16 Шема постројења „Консертерм“ [39]

1 – уређај за дозирање, 2 – ротациона пећ, 3 – комора за догревање, 4 – измењивач топлоте,
5 – издвајач чврстих честица, 6 – издвајач гасовитих загађујућих компонената, 7 – димњак

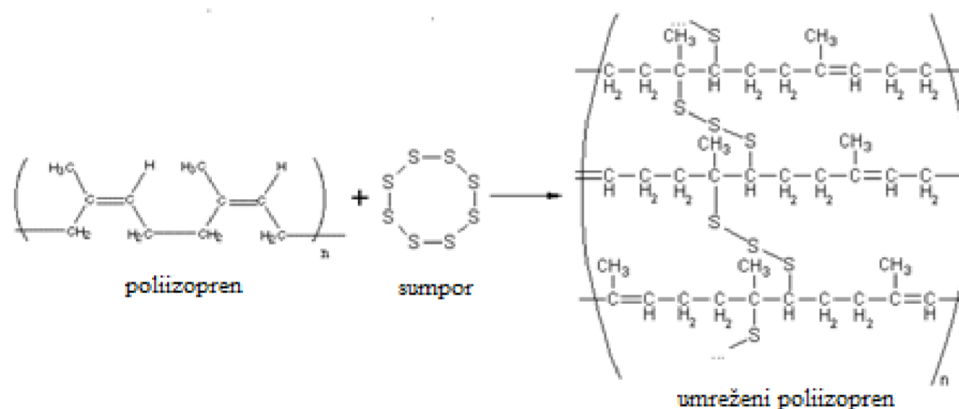


Слика 4.17 Шема система „Андко Торакс“ за гасификацију [42]

- 1 – бункер за смеће, 2 – реактор за гасификацију, 3 – комора за сагоревање, 4 – измењивач топлоте, 5 – електрофилтар, 6 – вентилатор, 7 – регенеративни измењивач топлоте, 8 – гориви гас, 9 – излаз гасовитих продуката из процеса, 10 – излаз чврстог остатка, 11 – примарни ваздух, 12 – димни гасови, 13 – секундарни ваздух, 14 – вода, 15 – водена пара

4.2.4 Рециклажа пнеуматика поступком девулканизације

Вулканизација је хемијско-технички процес којег је 1839. развио Чарлс Гудјир (Charles Goodyear). При вулканизацији се каучук под утицајем притиска, времена и температуре мења у гуму која постаје отпорна на хемијске и атмосферске утицаје и механичка напрезања. Код вулканизације (слика 4.18) поједине полимерне молекуле повезују се с другим полимерним молекулама, а крајњи резултат је гума [38].



Слика 4.18 Реакција вулканизације [44]

Вулканизација је термохемијски процес који уједињује сумпорне и попречне везе у мешавину молекула гуме како би се постигла еластичност у произведеним гуменим производима. У том процесу, атоми сумпора су хемијски везани за молекуле угљеника и служе као везе између молекула сулфидне гуме. Поступак вулканизације је неповратан у стандардним атмосферским условима температуре и притиска. Процес вулканизације такође користи примарне и секундарне акцелераторе, обично органске спојеве који садрже сумпор и активаторе као што су цинков оксид и стеаринска киселина [40].

У производњи гуме и производа од гуме вулканизација се изводи на неколико начина. Вулканизација у аутоклавима изводи се помоћу водене паре у цилиндричним аутоклавима који могу бити вертикални и хоризонтални. Како би се уштедело на времену, пре и после вулканизације материјали за вулканизацију стављају се у аутоклав на одређени начин. Појединачни предмети уносе се на великим плочама, шупљи предмети у прикладним калупима, а цеви намотане на вретена. По затварању врата аутоклава, паром се из њега избацује ваздух и затвара излаз, а затим се одржава одређени притисак паре. Предност вулканизације помоћу водене паре у аутоклаву је што не постоје хладни делови и површине па се предмети загревају равномерно. Потребна температура и трајање вулканизације зависе од облика и величине аутоклава. На сличан се начин у аутоклави може вулканизирати помоћу топлог ваздуха. Лоша страна овог поступка је у томе што каучук на ваздуху лако оксидира па се ова метода користи само када се не може вулканизирати помоћу водене паре или када се вулканизација може провести у кратком времену.

Девулканизација је процес у којем се умрежене везе вулканизоване гуме цепају делимично или потпуно. Добијени материјал може се ревулканизирати или претворити у корисне производе, а девулканизована гума високо је цењени облик отпадне гуме.

У процесу девулканизације долази до одцепљења моносулфидних, дисулфидних и полисулфидних попречних веза (сумпорова угљеник-сумпора или сумпор-сумпор) вулканизоване гуме. Идеално, девулканизована гума може се ревулканизирати са или без употребе других спојева. Различите врсте процеса девулканизације такође мењају друга својства гуме [46-48].

Девулканизација је процес у којем се умрежене везе вулканизоване гуме цепају делимично или потпуно (слика 4.19). Девулканизована гума може се у потпуности опет вулканизирати и употребити као сирова гума [41,42-46].



Слика 4.19 Девулканизација гуме

4.2.5 Остали начини прераде

Испитивања нових начина за рециклирање гуме се настављају, а нека решења обећавају више, нека мање. Већина поступака је заснована на одређеним облицима девулканизације - прекидња сумпорних мостова између полимерних ланаца у гуми. Сумпорни мостови настају тек у поступку вулканизације и гуми омогућавају да задржи облик и еластичност у екстремним временским условима.

Истовремено, ова карактеристика спречава топљење гума и изливање нових производа, односно рециклирање. Ране методе девулканизације подразумевале су излагање гуме повишеним температурама на одређене временске периоде. Овакве поступке увек су пратили проблеми, као што је раскидање полимерних низова и деградација квалитета гуме. Ту су и питања економичности процеса и нека питања везана за загађење животне средине. Обећавајући резултати постигнути су тек применом ултразвука и неких механичких поступака, где се сумпорни мостови раскидају буквално жвакањем уз помоћ екструдера и специјалних машина. Експерименталне методе са употребом бактерија које једу сумпорне везе показале су се као сложене и за сада прескупе за практичну примену [47].

Гума се по овом поступку прво уситни до прашка, затим суспендује у течности препуној бактерија које се хране сумпором, као што су тиобацилус, родококус и сулфолобус. Ипак, вероватно највећи интерес од свих нових поступака привукла је пиролиза - контролисана термичка разградња гуме све до угљоводоничних гасова, карбон црног и уља из којих је гума направљена. У процесу се такође ослобађа челик. Угљоводонични гасови се могу компримовати за продају, али обично се сагоревају да би обезбедили енергију за процес пиролизе. Највећи проблем је што данашње технике пиролизе производе уља и карбон црно промењивог квалитета, због чега лоше пролазе на тржишту. Чак се и гас, који највећим делом представља метан, тешко складишти. Питања квалитета производа пиролизе су управо разлог из којег још увек није постављено ниједно комерцијално постројење за пиролизу ауто-гума. Истраживања нових поступака који треба да пиролизу направе комерцијалнијом се настављају.



Слика 4.20 Пример модерног постројења за девулканизацију

Уколико је аутогума толико деградирана да не може да се регенерише, најбоља стратегија је рециклирање. Данас се на тржишту може пронаћи велики број производа направљених од рециклиране ауто-гуме. Парчићи уситњене гуме користе се као пунила у грађевинарству и конструкцијама. Финије уситњена и просејана гума користи се на дечијим игралиштима и за посипање клизишта. Парчићи гуме користе се и за добијање побољшаног асфалта, док се гума помешана са уретаном користи за формирање атлетских стаза и изливање разних производа. Уситњена гума може се чак интегрисати са земљиштем односно травнатим подлогама. Истраживање је показало да гума побољшава проток воде кроз тло и смањује потребу за водом, ђубривима и пестицидима у периоду између 25 и 50 година. Технолошки поступак који се користи за уситњавање гуме постоји већ прилично дуго и најчешће се састоји у сечењу материјала на парчиће дугачке око 5 центиметара. Ови се парчићи затим пропуштају кроз серију тзв. гранулатора, где им се величина даље смањује. Поступак се обично спроводи на “месту злочина”, односно на самом отпаду. На овај начин се запремина гуме смањује за 75 процената, што смањује и трошкове одлагања и транспорта материјала.

Процесом се такође одвајају од гуме челик и влакна. Челик се издваја помоћу магнета, а влакна често издувавањем из гранулисане гуме. Гранулисана гума интересантна је за поновну производњу аутогума - 15 процената рециклиране гуме у свежој гуми обезбеђује неколико предности у производном процесу. Неки произвођачи регенерисану гуму користе за производњу пуних гума или гума за пољопривредну механизацију. Комбинација иситњене гуме и везива за пластику је веома економичан начин за производњу материјала који се може обрађивати као пластика, али задржава нешто од еластичности гуме.

5. Могућност примене рециклираних пнеуматика

Физичке карактеристике пнеуматика, као што су нетоксичност, биодеградабилност, облик, маса и еластичност, их чине кандидатима за широк спектар апликација у свим облицима - целе, сечене, у облику гранулата или у облику праха. Током последњих десет година, разноврсност материјала произведених од отпадних пнеуматика се повећала. Грађевински инжењери користе веће количине материјала већих димензија, на пример целих пнеуматика, шреда и комадића за примену на звучним рампама, изолацијама, лаким испунама, потпорним стубовима мостова, између осталог подстицали су и развој новог начина примене у пројектовању депонија и еколошкој рехабилитацији. Индустријски произвођачи користе материјале мањих диманзија, произведене новим технологијама, и мешавине материјала за производе као што су аутомобилски делови, заптивне смеше, заштитни слој, пигменти, као и различити материјали за површине нових путева

Прерадом отпадних пнеуматика се добија дробљена гума или шред, гранулат, који може имати величину зрна од 0,5 до 10 mm, и прах. Најширу примену има, свакако, гранулат, затим шред, а примена прахова полако почиње да добија на значају.



Слика5.1 Рециклирани материјал – грађевинске бале



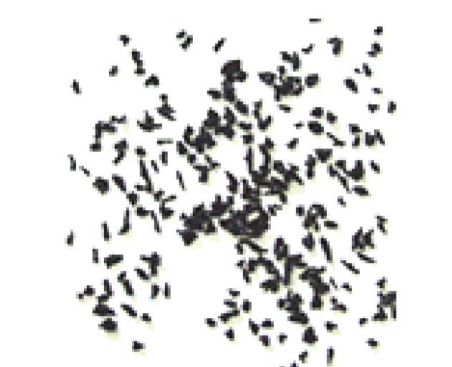
Слика 5.2 Рециклирани материјал – сечени пнеуматици



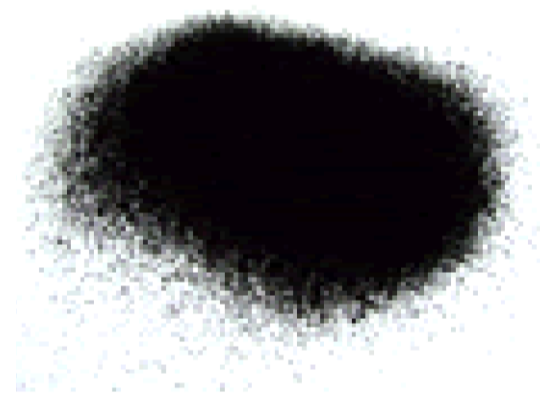
Слика 5.3 Рециклирани материјал – шред



Слика 5.4 Рециклирани материјал – комадићи



Слика 5.5 Рециклирани материјал – гранула



Слика 5.6 Рециклирани материјал – прах

У **табели 1** су приказани неки примери употребе рециклираних пнеуматика.

Табела 1. Употреба рециклираних пнеуматика[47]

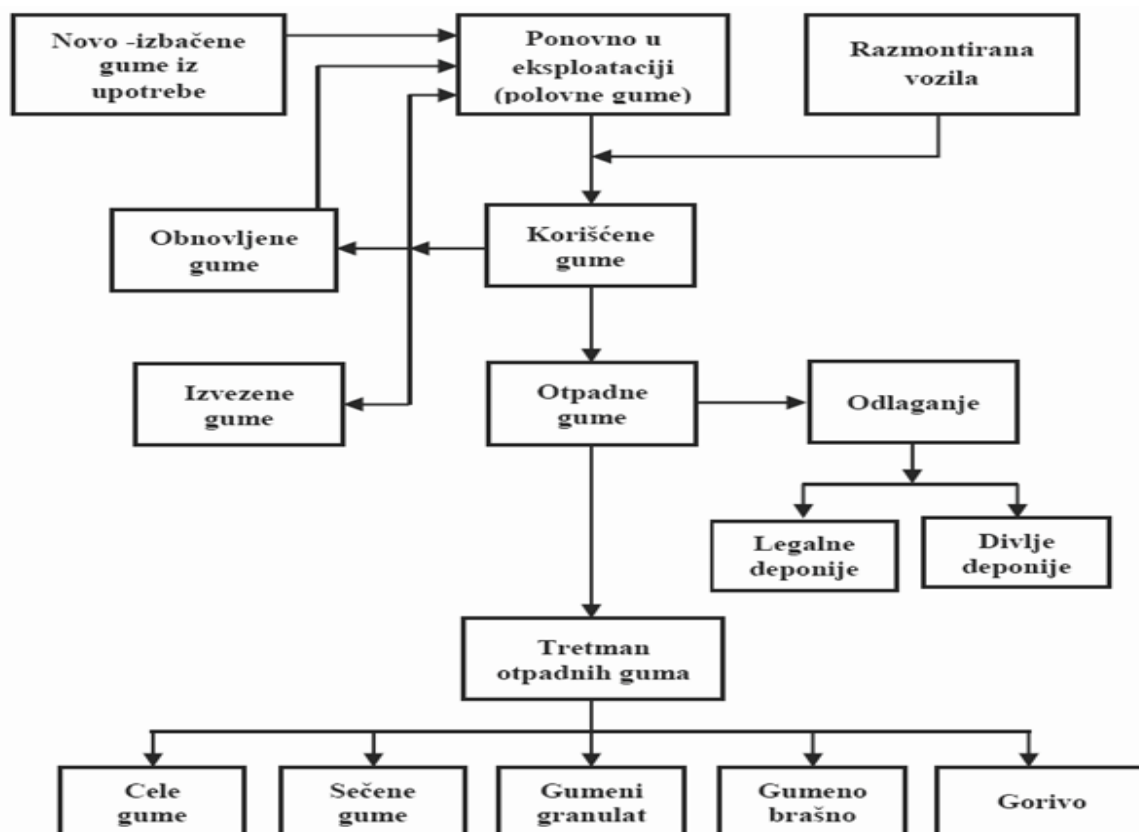
ВЕЛИЧИНА МАТЕРИЈАЛА	НАЗИВ И НАЧИН ПРОИЗВОДЊЕ МАТЕРИЈАЛА	ПРИМЕНА
ЦЕЛИ ИЛИ СЕЧЕНИ ПНЕУМАТИЦИ	ЦЕЛИ ПНЕУМАТИЦИ СЕ МОГУ РЕЦИКЛИРАТИ САМО СЕЧЕЊЕМ НА ПОЛОВИНЕ, ЧЕТВРТИНЕ ИТД.	ГРАЂЕВИНСКЕ БАЛЕ, ВЕШТАЧКИ ГРЕБЕНИО, ЗВУЧНЕ РАМПЕ
50 ДО 300 mm	ШРЕД СЕ ПРАВИ ОД МЕХАНИЧКИ РАСКОМАДАНИХ ПНЕУМАТИКА, КОЈИ СЕ ЦЕПАЈУ НА НЕЈЕДНАКЕ ДЕЛОВЕ ВЕЛИЧИНЕ ± 5 ДО ± 300 mm БИЛО КОЈЕ РАЗМЕРЕ	ЛАКЕ ИСПУНЕ ЗА ОСНОВЕ ПУТЕВА, НАСИПИ, ДРЕНАЖЕ, ТОПЛОТНА ИЗОЛАЦИЈА У ПУТЕВИМА И ЗГРАДАМА
10 ДО 50 mm	КОМАДИЋИ СУ МЕХАНИЧКИ РАСКОМАДАНИ ПНЕУМАТИЦИ, КОЈИ СЕ ЦЕПАЈУ НА НЕЈЕДНАКЕ ДЕЛОВЕ ВЕЛИЧИНЕ ± 10 ДО ± 50 mm	ЛАКЕ ИСПУНЕ ЗА ОПШТЕ ГРАЂЕВИНАРСТВО, ДРЕНАЖА, ИЗГРАДЊА ПЛОЧНИКА, ГРАЂЕЊЕ И ОДРЖАВАЊЕ ДЕПОНИЈА, ПОТПОРНИ СТУБОВИ МОСТОВА
1 ДО 10mm	ГРАНУЛАТ ЈЕ РЕЗУЛТАТ ПРЕРАДЕ ПНЕУМАТИКА У ФИНЕ ЧЕСТИЦЕ ВЕЛИЧИНЕ ОД ± 1 ДО 10mm	ПОДЛОГА ЗА СТОКУ, ПЛОЧИЦЕ ЗА ПОДОВЕ, КРОВНИ МАТЕРИЈАЛИ, ОБЛОГЕ НА СПОРТСКИМ ТЕРЕНИМА, ГУМЕНИ АСФАЛТ, ЗАШТИТНЕ ОГРАДЕ ПОРЕД ПУТА...
0 ДО 0,5mm	ПРАХ ЈЕ РЕЗУЛТАТ ПРЕРАДЕ ГУМЕ КОЈИМ СЕ ПОСТИЖЕ ВЕЛИЧИНА ЧЕСТИЦЕ ДО 1mm	ЂОНОВИ ЗА ЦИПЕЛЕ, СПОРТСКА ОПРЕМА, ИЗОЛАЦИОНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ОБЛАГАЊЕ КАБЛОВА, АУТОМОБИЛСКИ ДЕЛОВИ, МАСТИЛА...

Постоји могућност широке примене рециклиране гуме. Добијени производи се могу користити у грађевинској индустрији, као подлоге за путеве **слика 5.7**, већи комади (шред) се могу користити као звучни изолацијони материјали. Гумени гранулат се може додавати бетону као испуна чиме се побољшавању његова својства. Могуће је производити и дилатационе разделнице код мостова као и пружне прелазе. Гумени прах може се користити и као додатак асфалту јер повећава трење при кочењу. Најширу примену има гумени гранулат **слика 4.5**, који се користи у индустрији за производњу подних облога за спортске терене, дечија игралишта, хале, итд. Гумени прах се може користити као додатак при производњи гумених смеша ради појефтињења производа у **табели 1**, приказана је зависност примене рециклата од величине честице.



Слика 5.7 Подлога за путеве

Блок дијаграм дела животног циклуса гуме након избацивања гуме из употребе приказан је на слици 5.8.



Слика 5.8 Блок дијаграм дела животног циклуса гуме након избацивања гуме из употребе

6. Пример примене рециклираних пнеуматика

Домаћа фирма „Тигар“ из Пирота (слика 6.1), чија је делатност производња гумених производа и свих врста гумене обуће, у свом асортиману има велики број производа потпуно или делимично израђених од рециклираних гума[48].



Слика 6.1 Фирма за производњу гумених производа „Тигар“

Производи од рециклиране гуме које фабрика има у своме асортиману производа су:

- Системи за отворене и затворене спортске терене
- Тигар Bilgusafe (плоче)
- Тигар Bilgusand (ограде)
- Тигар Bilgulane (подне облоге)
- Тигар Bilgubollards (заштитни стубићи)
- Тигар Bilgusign
- Тигар Bilgubuffers (одбојници)
- Тигар P-Stop (блок за паркинг)
- Тигар Bilguwell (канализациони поклопци)
- Тигар плоче за травњак

При обнављању отворених спортских површина, примена рециклиране гуме се показала као најбољи начин за одржавање спортских објеката на отвореном. Еколошки подови од гуменог рециклата су један од начина за побољшање вишефункционалних спортских система, трим, атлетских и других стаза (слика 6.2). Погодност употребе рециклиране гуме је већ објашњена у претходним главама.



Слика 6.2 Атлетска стаза израђена од рециклиране гуме

Како при обнављању отворених, тако и при обнављању, тј. репарацији спортских затворених објеката, попут овог са **слике 6.3** рециклирана гума се користи у великој мери. Употребом гуме, остварују се нове атрактивне вишефункционалне површине у спортским објектима, фискултурним школским и вишенаменским салама.



Слика 6.3 Терен унутар сале израђен од рециклиране гуме

Тигар Bilgusafe (плоче) су такође један од производа израђених од рециклиране гуме, који се користи претежно у парковима око дечијих реквизита за игру (слика 6.4) (љуљашке, тобогани...) како би се остварила што већа безбедност услед амортизационих карактеристика гуме. Коришћена гума је јако погодна за употребу из свих аспеката услед своје водопропустљивости, отпорности на ултраљубичасто зрачење, добрих механичких, економских и технолошких карактеристика.



Слика 6.4 Употреба ТигарBilgusafe (плоча) за потребе дечијих игралишта

Такође, услед великог степена компресије, тј. изузетне еластичности ТигарBilgusafe (блокови) (слика 6.5) се користе за исте сврхе, плус додатна употреба за спортске објекте и друго.



Слика 6.5 Употреба ТигарBilgusafe (блокова) за потребе дечијих игралишта

ТигарBilgusand (ограде) су такође један од производа израђених од рециклиране гуме, који се користи у сврху заштите, односно ограђивања пешачких стаза и тротоара, дрвећа, жбуња, било каквих ограда између травнатих површина. На **слици 6.6** дат је пример таквих ограда унутар дечијег игралишта.



Слика 6.6 Употреба ТигарBilgusand (ограда) за потребе дечијих игралишта

Од рециклираног гуменог гранулата производе се подне облоге Тигар Bilgulane у производним халама, школама и другим пословним просторијама. По избору се могу користити тврде или меке. На **слици 6.7** је приказан пример њихове употребе.



Слика 6.7 Употреба ТигарBilgulane(подне облоге)

Такође, од гуменог гранулата се производе и заштитни стубићи (тигар Bilgubollards) чији се изглед може пронаћи на **слици 6.8**. Заштитни стубићи се користе на паркинзима, прилазним путевима и другим местима где пролазе аутомобили. Они у исто време служе као амортизациони одбојник и безбедносно средство.



Слика 6.8 Заштитни стубићи израђени од рециклиране гуме

Постоља за саобраћајне знаке (тигар Bilgusign) су само још један од примера употребе рециклажне гуме. Изглед постоља је приказан на **слици 6.9**.



Слика 6.9 Постоља за знакове израђена од рециклиране гуме

Одбојници (Тигар Bilgubuffers) се праве тако што се рециклирана гума поставља унутар гуме које нису исечене, у циљу да имају што већу могућност апсорбције удара. На **слици 6.10** је приказан један такав одбојник. Користе се у различите сврхе. Углавном попут сигурностних баријера поред путева тркачких стаза и на градилиштима. Спречавање паркирања аутомобила на зеленим површинама и тротоарима је такође једна од опција (**слика 6.11**).



Слика 6.10 Одбојници израђени од рециклиране гуме



Слика 6.11 Производ за спречавање паркирања аутомобила на жељеним површинама
Факултет инжењерских наука

Блок за пакринх простор (тигар P-Stop) се излива од рециклиране пластике у виду црног троугла са жутим или белим рефлексивним ознакама (слика 6.12).



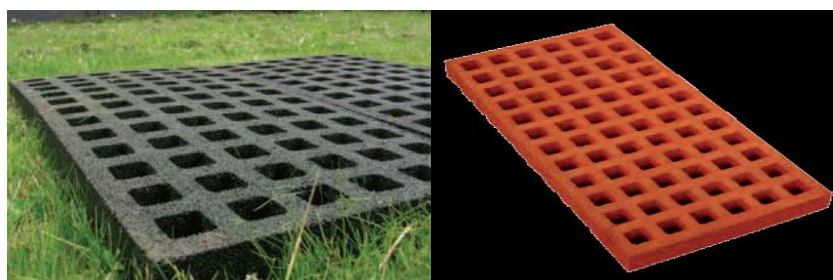
Слика 6.12 Блок за паркинг простор

Поклопци за све класе оптерећења и канализационе структуре (тигар Bilguwell) израђени од рециклиране гуме са челичном арматуром су приказани на слици 6.13. Користе се код пешачких стаза, водомера, улица са лаким и тешким саобраћајем. Такође, на слици 6.13 је приказан и еколошки диск који повољно утиче на прогресију посађених стабала.



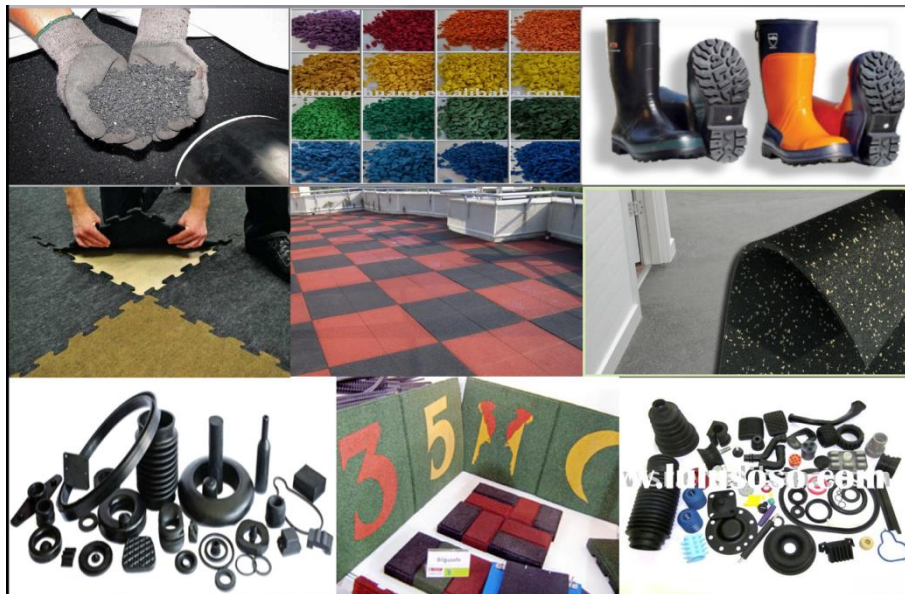
Слика 6.13 Поклопци за канализационе структуре и еколошки диск

Неке од карактеристика тигар плоча за травњаке су: недеформабилне су, спречавају клизање, дуготрајне, без мириса и водопропусне. Једноставно се уграђују, замењују и одржавају. Идеалне су за тргове, пешачке стазе, баште и друге просторе.



Слика 6.14 Тигар плоче за травњаке

Поред већ наведених производа, у асортиману фирме Тигар из Пирота се налази мноштво других од којих се већи део израђује од рециклиране гуме. На **слици 6.15** приказан је део остатка асортимана производа који се израђују од рециклиране гуме.



Слика 6.15 Остали асортимани производа

7. Закључак

Због све већих количина и штетности по здравље, отпад се сматра једним од најзначајнијих еколошких проблема савременог света. Човек је, својим активностима, одлучујући чинилац у мењању околине. Загађењем животне средине и трошењем природних ресурса човек нарушава природну равнотежу и не схвата да тиме штети сам себи. Отпад је бумеранг - када је бачен враћа се кроз загађену воду, ваздух и земљиште, а тиме се нарушава и здравље људи. Због тога је битно схватити проблем отпада и начине његовог третирања, тј. смањења, почев од самих произвођача па до крајњих корисника.

Управо је смањење свих врста отпада задатак повратне логистике. Повратна логистика се бави проблемом отпада кроз концепт интегралног управљања отпадом. Појам интегралног управљања отпадом укључује, између осталог, интеграцију свих технологија управљања отпадом у сврху достизања оптималног решења. Интегрално управљање отпадом подразумева комплементарну употребу различитих поступака у циљу безбедног и ефективног руковања отпадом, од момента сакупљања, транспорта, издвајања корисних компоненти, рециклаже до коначног одлагања.

Проблем отпадних пнеуматика до средине прошлог века решавао се рециклирањем при чему су гумени производи добијани од сировине која је садржавала 50 процената рециклиране гуме. Већ шесдесетих година увоз јефтине нафте, основне сировине за производњу синтетичке гуме, оборио је цену рециклираног материјала, а све популарнија варијанта гуме ојачане челичним жицама закомпликовала је и поскупела процес рециклаже тако да је она скоро и напуштена. Тих година просечни садржај рециклиране гуме у производима опао је на 20 процената, а 1995. године за производњу нових гума употребљавана је сировина са свега два процента рециклиране гуме. Као економски прихватљиво решење виђено је само одлагање на отпад. Кратакорочно гледано, ова пракса је имала економског смисла, који се, међутим, потпуно изгубио услед последица дугорочне акумулације. Испоставило се да брда наслаганих старих гума не само што заузимају велики простор већ представљају и општу претњу по здравље и безбедност. Пожари који избијају на оваквим местима могу да трају месецима због чега је животна средина изложена дугорочном негативном утицају. Један од највећих пожара забележен је 21. августа 1999. године, у америчкој савезној држави Охајо, где су пиромани запалили велико одлагалиште са преко 26 милиона отпадних гума. У пожару који беснео 5 дана, изгорело је око 5 милиона аутомобилских гума. Сагоревањем је настало уље које је доспело у оближњу реку и изазвало помор рибе. Са пожаром се борило више од 250 ватрогасаца, док није савладан затрпавањем са земљом.

Трошак уклањања набацаног, производима сагоревања сада контаминираним земљишта и пречишћавања загађене воде износио је готово 900.000 долара. Развијене државе схватиле су да отпадни пнеуматици могу да буду важан материјал и вредна сировина у производњи одређених производа као и добијању енергије при чему се ова врста отпада може лако прикупити, обрадити и рециклирати уз помоћ одговарајуће опреме.

Рециклирање отпадних пнеуматика последњих година доживљава велику експанзију с обзиром да су нова истраживања допринела проналажењу многобројних нових производа који се могу добити коришћењем рециклата добијених након процеса рециклирања. Оно што је такође битно рециклирањем се спречава даљи ризик спаљивања отпадних пнеуматика на отвореним површинама чиме се избегавају неконтролисани пожари и загађење ваздуха.

Физичке карактеристике пнеуматика (нетоксичност, облик, маса, еластичност) чине их погодним за широк спектар примена у свим облицима - целе, сечене, у облику гранулата или праха. Прерадом пнеуматика одговарајућим поступцима (процес гранулације) може се добити гранулат где су грануле величине 1 до 10 mm. Процес гранулације пнеуматика је механички процес обраде резањем - дробљењем. Током процеса врши се неколико фаза сечења тј. дробљења којима се пнеуматик са почетка процеса постепено смањује (уситњава) при чему се као продукт прераде добија гумени гранулат жељене величине и гумени прах. Процес се обавља на собној температури и обично понавља два до три пута ради постизања ситнијег гранулата. Челична жица и текстил који улазе у састав пнеуматика, такође, током процеса бивају уситњени и одвојени како међусобно тако и од примарног продукта (гумених гранула). Раздвајање компонената се врши дејством магнета и дејством ваздушне струје. Гумене грануле служе за израду кровних материјала, облога на спортским теренима, гуменог асфалта док се добијени прах (честице до 0,5mm) користи у изради спортске опреме, аутомобилских делова, као изолациони материјал код каблова, као заштитни слојеви и заптивне масе. Величина гранула је условљена подешавањима на опреми те је могуће производити грануле димензија различитих од наведених. Чистоћа добијеног гранулата је 99.9%, тј. добијени гумени гранулат је 99,9 посто очишћен од ослобођеног челика и текстила. Маса добијених гранула представља 55 до 65% масе улазних пнеуматика. Секундарни производ овог процеса је челична жица која чини 25-30% масе пнеуматика. Сепарација се врши путем магнета који издваја кратке комаде жице који настају сечењем и даљим уситњавањем пнеуматика током процеса. Терцијални продукт процеса су текстилна влакна која чине око 10% масе пнеуматика. Сепарација текстилних влакана се врши помоћу снажних аспиратора. Филтрација ваздуха аспираторског система је изведена са врећастим филтерима и подсистемом за само-чишћење филтера па је квалитет ваздуха који се испушта у атмосферу (максимално 10mg/m³ прашине) у складу са важећим ЕУ директивама. Главни и практично једини енергент који овај процес користи је електрична енергија. За обављање процеса се не користе никакви хемијски реагенси или пак термичке реакције, тако да непостоје нежељени нуспродукти оваквог процеса обраде. Једноставно речено, пнеуматик се раздваја на саставне елементе (гуму, челик и текстил) без утицаја на физичко-хемијска својства самих саставних елемената. Осим механичког у употреби је и тзв. криогено дробљење које се обавља на температури од -80°C до -100°C уз коришћење течног азота при чему је основни недостатак овог поступка високи трошкови. Уколико постоји одговарајуће постројење даље се врши поступак пиролизе где се под утицајем топлоте гума раствара - разлаже на ниже угљоводонике и неорганске материје при чему не треба заборавити да је гума сировина са високим садржајем угљеника.

У неким случајевима се пиролитички прерађује смеша пнеуматика и отпадне пластике. Уситњени пнеуматици у пећима под утицајем високе температуре и без присуства ваздуха прелазе у гасовито стање. Пиролизни гас који притом настаје користи се као извор топлотне енергије. При процесу се добијају и друге драгоцене сировине, а нарочито је битно тзв. биоуље (настаје кондензацијом насталог гаса) које се може користити као лож уље, за производњу мазива или за производњу угљеничних влакана. Биоуље не садржи штетна једињења и представља изузетно погодну и корисну сировину. При пуњењу једног класичног постројења са 90% пластике и 10% пнеуматика добија се 50% лож уља, 37% гаса и 5% угљеника док преосталих 8% представља губитке. Оно што је можда и најбитније јесте да након завршетка процеса не остаје готово никакав отпад осим челичних опиљака из пнеуматика и ситног пепела из нечистоћа. Значи рециклирање пнеуматика није само економски већ и еколошки интересно јер цео технолошки процес представља затворен циклус безопасан по животну средину. Испитивања су показала да пнеуматици старији од десет година делимично губе своје особине тако да добијени гранулат није задовољавајућег квалитета.

Литература

- [1] Каучук. Доступно на: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=30938> , датум приступа: 15.01.2019.
- [2] Hrnjak - Murgić, Z. Elastomeri – interna skripta. Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije; 2001
- [3] Gradimir Danon, Predrag Gavrić, Vladimir Momčilović, Steva Bunčić (2009),Eksploatacija i održavanje pneumatika komercijalnih vozova, Naučno-stručni časopis Istraživanja i projektovanja za privredu, br. 25, str 1-10.
- [4] Доступно на: <https://www.anythingresearch.com/industry/Tire-Manufacturing.htm>, датум приступа: 16.01.2019.
- [5] Доступно на: <https://www.smithersrapra.com/SmithersRapra/media/Sample-Chapters/Recycling-and-Re-use-of-Waste-Rubber.pdf>, датум приступа: 16.01.2019.
- [6] Доступно на: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics, датум приступа: 17.01.2019.
- [7] J. Hodolić, M. Stević, Đ. Vukelić, A. Zajac (2008) Reciklaža i prerada otpadnih pneumatika, Festival Kvaliteta, 3 konferencija o kvalitetu života, Kragujevac
- [8] Доступно на: <http://www.etra-eu.org>, датум приступа: 18.01.2019.
- [9] Доступно на: <https://www.topvita.info/novi-zivot-starih-guma/>, датум приступа: 15.01.2019.
- [10] Доступно на: <http://www.ekologija.gov.rs/?s=%D0%B3%D1%83%D0%BC%D0%B0>, датум приступа: 15.01.2019.
- [11] М. Плавшић, Р. С. Поповић. Р. Поповић: Еластомерни материјали (каучук, гума и композити), Научна књига, Београд, 1995.
- [12] Samarskiy, B. Analysis of modernization of tire recycling machine for improvement of environmental sustainability and feasibility. Bachelor`s thesis. Tempere University of Applied Sciences; 2014.
- [13] Владислав Ђукић, Богдан Недић: Гума, скрипта, Машински факултет, Крагујевац, 1998.
- [14] Доступно на: <http://www.hardgreen.it/Site/Vantaggi>, датум приступа: 15.01.2019.
- [15] Доступно на: <http://www.seminarski-diplomski.co.rs/TEHNOLOSKI%20SISTEMI/Guma.html>, датум приступа: 15.01.2019.
- [16] Доступно на: <http://www.gestiondecompras.com/en/products/rubber-and-rubbermetal/rubber-extrusion>, датум приступа: 15.01.2019.
- [17] М. Јовановић, Вукић Лазић, Д. Адамовић, Н. Ратковић: Машински материјали, Машински факултет, Крагујевац, 2003.

- [18] Доступно на: <http://www.mantaline.com/capabilities/extrusion-capabilities/rubberextrusions/>, датум приступа: 15.01.2019.
- [19] VERT – Virtual Education in Rubber Technology: Processing of Elastomeric Materials, пројекат, Läroverket i Småland AB, 2007.
- [20] Доступно на: <http://www.quickcutgasket.com/custom-rubber-machining.html>, датум приступа: 14.02.2019.
- [21] GumiImpex-GRP: Reciklaža auto guma. Доступно на: <http://gumiimpex.hr/portfolio-item/reciklaza-autoguma>, датум приступа: 18.01.2019.
- [22] Доступно на: <https://www.youtube.com/watch?v=0Yvcizt83DA>, датум приступа: 14.02.2019.
- [23] Machinery's Handbook 29th Edition, Copyright 2004, Industrial Press, Inc., New York, NY
- [24] Доступно на: http://www.sdplastics.com/polyurethane_machining.html, датум приступа: 18.01.2019.
- [25] Семинарски рад, Доступно на: <http://documents.tips/documents/recikliranjeotpadnih-guma.html>, датум приступа: 22.01.2019.
- [26] Sadhan K. De Avraam I. Isayev Klementina Khait (2005), RUBBER RECYCLING, Taylor & Francis Group
- [27] The Recycling Technology Assistance Partnership (ReTAP) (1996), Best Practices in Scrap Tire and Rubber Recycling.
- [28] Доступно на: <http://www.ddrrecycling.blogspot.com/>, датум приступа: 22.01.2019.
- [29] Доступно на: https://youtu.be/vaL0v_8uyD4, датум приступа: 22.01.2019.
- [30] Доступно на: <https://youtu.be/PokQgXxj-vQ>, датум приступа: 22.01.2019.
- [31] Доступно на: <https://youtu.be/zMxgRGmmpsk>, датум приступа: 22.01.2019.
- [32] Доступно на: https://youtu.be/Aq9GvbN_cjM, датум приступа: 22.01.2019.
- [33] Доступно на: <http://www.volgrad.rs>, датум приступа: 22.01.2019.
- [34] S., Đurić, Uticaj karakteristika ugljeva (masenog udela sumpora i pepela i sastava pepela) i temperature dimnih gasova na odsumporavanje dimnih gasova suvim aditivnim postupkom, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1998.
- [35] D., Stanojević, M., Rajković, D., Tošković, Upravljanje korišćenim gumama, dometi u svetu i stanje u Srbiji, Hem. Ind. 65 (6), (2011) 727-738
- [36] James E. Mark, Burak Erman, Frederick R. Eirich (2005), Science And Technology of Rubber Third Edition, Elsevier Inc,
- [37] Slavko Đurić, ISTRAŽIVANJE UTICAJA PROCESNIH PARAMETARA NA PIROLIZU I GASIFIKACIJU OTPADNIH AUTOMOBILSKIH PNEUMATIKA, DOKTORSKA DISERTACIJA, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2015.
- [38] Sadhan K. De Avraam I. Isayev Klementina Khait (2005), RUBBER RECYCLING, Taylor & Francis Group,

- [39] Доступно на: <http://www.recyclingpyrolysisplant.com/uploads/allimg/140711/1-140G11H109538.JPG>, датум приступа: 22.01.2019.
- [40] М., Kuburović, А., Petrov, *Zaštita životne sredine, SMEITS i Mašinski fakultet*, Beograd, 1994.
- [41] Доступно на: <https://tyromer.com/technology/>, датум приступа: 25.01.2019.
- [42] Доступно на: <http://illyriapress.com/de-vulcanization-tire-rubber/>, датум приступа: 22.01.2019.
- [43] Доступно на: <https://tatacenter.mit.edu/portfolio/devulcanization-of-waste-rubber-for-reuse-in-new-tires/>, датум приступа: 25.01.2019.
- [44] Доступно на: https://www.researchgate.net/publication/286381087_Devulcanization_of_Whole_Passenger_Car_Tire_Material, датум приступа: 28.01.2019.
- [45] Pacheco, E. B. A. V., Visconte, L. L. Y., Furtado, C. R. G., Neto, J. R. A. Recycling of rubber: Mechano-chemical Regeneration. Доступно на: https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=36146&osCsId=3712df5600f98259a8bdc1d9baf202e9, датум приступа: 28.01.2019.
- [46] Meysami, M., Tzoganakis, C. Thermo-mechanical devulcanization of tire rubber crumb with supercritical CO₂: devulcanized rubber properties. Доступно на: https://uwaterloo.ca/institute-polymer-research/sites/ca.institute-polymerresearch/files/uploads/files/ipr_mohammedmeysami.pdf, датум приступа: 02.02.2019.
- [47] Janko Hodolič¹, Miodrag Stević², Đorđe Vukelić³, Alena Zajac⁴, *RECIKLAŽA I PRERADA OTPADNIH PNEUMATIKA*, Фестивал квалитета, 3. Конференција о квалитету живота, 2008.
- [48] Примена рециклиране гуме. Доступно на: <https://www.scribd.com/presentation/389730907/Primena-reciklirane-gume-prezentacija-pptx>, датум приступа: 05.01.2019.