

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Технологија рециклаже

Број индекса: 905/2015

Јована М. Јанковић

Проблеми рециклаже еластомера (гуме)

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

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

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру дипломског рада потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података о врстама гуме, њиховим карактеристикама и начинима добијања. Потребно је описати технологије које се користе за рециклажу појединих производа од гуме. У посебном делу рада описати законску регулативу из ове области која се примењује у Србији и примере рециклаже. На бази расположивих података на крају рада дати предлог примера за рециклажу гуме.

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,
- [3] The Recycling Technology Assistance Partnership (ReTAP) (1996), Best Practices in Scrap Tire and Rubber Recycling
- [4] Александар Петровић: Технологије обраде гуме и рециклажа, завршни рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац

Крагујевац, 2019.

Ментор:
проф. др Богдан Недић –

Резиме

Овај рад је базиран на најновијим подацима из области рециклаже еластомера, односно гуме. Анализиране су врсте еластомера и њихове карактеристике. Споменути су и начини добијања производа од гуме. Затим су анализирани сви начини рециклаже гуме, као што су криогено дробљење, механичко дробљење, пиролиза и спаљивање. Такође су поменути остали начини рециклаже, односно прераде. У раду су дати и подаци о могућности примене производа добијених процесом рециклаже. Затим је споменута и законска регулатива везана за рециклажу гуме у Србији. На крају рада је на основу базе података дат предлог примера за рециклажу гуме.

Кључне речи: еластомер, гума, рециклажа, дробљење, пиролиза, гранулат,...

Abstract

This paper is based on the latest data in the field of recycling of elastomers, ie rubber. The subject of analysis are the types of elastomers and their characteristics. Also, the ways of getting the rubber products are mentioned. Afterwards, all the processing methods of rubber were analyzed, such as cryogenic crushing, mechanical crushing, pyrolysis and incineration. Some other ways of recycling were also mentioned. The paper also provides information on the possibility of using products obtained from the recycling process. Then, the legislation related to rubber recycling in Serbia was also mentioned. At the end of the paper, an example on rubber recycling is proposed based on the known data.

Keywords: elastomer, rubber, recycling, crushing, pyrolysis, granulate..

Садржај:

Увод.....	2
1. Врсте еластомера и њихове карактеристике	4
2. Гума	6
2.1. Основни појмови	6
2.2. Сировине за добијање гуме	7
2.2.1. Природни каучук	7
2.2.2. Синтетичи каучук	8
3. Производња гуме.....	9
3.1. Мастикација	9
3.2. Каучукова смеша	10
3.3. Обликовање полупроизвода пре вулканизације	13
3.3.1. Екструдирање.....	13
3.3.2. Каландирање	14
3.3.3. Обликовање у калупима	16
3.4. Вулканизација.....	18
3.4.1. Вулканизација у аутоклавима	18
3.4.2. Континуирна вулканизација	19
3.4.3. Вулканизација пресовањем	20
3.5. Светски произвођачи гуме	20
4. Рециклажа гуме	21
4.1. Методе рециклаже и прераде гуме	22
4.1.1. Рециклажа гуме криогеним дробљењем	22
4.1.2. Рециклажа гуме механичким дробљењем.....	24
4.1.3. Прерада гуме поступком пиролизе	25
4.1.4. Сагоревање гуме	28
4.1.5. Остали начини рециклаже.....	30
4.2. Могућност примене рециклиране гуме	31
5. Законске регулативе	34
6. Рециклажа гуме у свету и у Србији	36
7. Предлог примера рециклаже гуме	39
Закључак.....	42
Литература.....	43

Увод

Једна од области која посебно напредује и која се развија је и област полимерних материјала, која је довела до читавог низа нових производа и масовне производње материјала специфичних механичких, физичких и других карактеристика. Посебан развој у тој области припада еластомерима у чију групу спада гума.

За протеклих сто педесет година од како је пронађен поступак вулканизације, гума је заузела изузетно место међу материјалима који карактеришу савремену цивилизацију. Иако није основни конструкциони материјал, употреба гуме, због њених еластичних, изолационих и заптивних својстава, толико се проширила у производњи саобраћајних средстава, машина, наоружања, разних уређаја и инсталација, као и робе широке потрошње, другим речима од индустрије и грађевинарства све до медицине и космичке технике, да се од ње израђују: пнеуматици за аутомобиле, тракторе, бицикле, бесконачне гумене траке, гумена црева, делови отпорни на киселине, базе, корозију и абразију, прикључци, обућа, одећа, делови за електроизолацију, заптивни материјали (посебно у хидраулици и пнеуматици) итд.

Као полазна сировина за добијање гуме користи се каучук. Открићем Америке 1492. године, Европљани су упознали смоласто-еластичну смесу, названу каучук. Тамошња племена, правила су од каучука обућу, посуде за воду, лопте итд. Биљка која се највише користи за добијање гуме зове се хевеја (*Hevea Brasiliensis*). На хевеји се праве зарези, из којих цури млечни сок – латекс. Лепљиви, млечни сок се скупља, а његовим згрушавањем настаје каучук. Реч каучук потиче од речи „*cahuchu*“ што значи „дрво које плаче“.

Иако има преко 500 врста биљака са каучуковим млеком, које се међу собом разликују према квалитету и количини каучука – латекса ипак се могу издвојити најважније врсте дрвета, а то су:

- *Hevea brasiliensis*, пореклом из Бразила, која се гаји у плантажама многих земаља света;
- *Castilloa elastic*, која успева у сливу Амазона;
- *Kickxia elastic*, која успева у Јужној Америци;
- *Ficus*, који успева у Источној Азији.

Пре више од 200 година индустрија гуме није постојала. Проналаском најважније методе прераде каучука (вулканизације) 1844. године, потрошња каучука почиње да расте. Двадесети век је, због наглог пораста потрошње каучука у индустрији, доказао да је за данашњи живот, неопходан читав низ најразличитијих предмета израђених од каучука.

Почетком XX века, у неколико центара у Европи добијен је синтетички каучук на лабораторијском нивоу. У току рата 1914 – 1918. у Немачкој, индустријски је произведен тзв. метиленски каучук (био је то полимер 2,3 диметилбутадиена, откриће Кондакова), а у после ратном периоду каучук добијен полимеризацијом бутадиена под дејством натријума (отуда назив „Буна“).

Због недоступности плантажа биљака од којих се добија каучук, у току Првог и Другог светског рата појачано је интересовање за добијање материјала синтетичким путем, што је знатно допринело развоју индустрије полимера уопште и науке о полимерима.

Тежња за поправљањем својстава каучука довела је до комбиновања каучука са другим

материјалима, најпре текстилом (појава првих индустријских полимерних композита), и разним хемикалијама, уз дејство топлоте и притиска, што је и довело до открића гуме. Тако је каучук престао да буде материјал који се обликује у производе (као други полимери) и постао сировина за нов материјал – гуму [1].

Под рециклажом се подразумева поновни третман отпада ради коришћења као сировине у производњи истог или различитог производа. Она укључује сакупљање, издвајање, прераду, при чему је врло важно најпре издвојити отпад према врстама. Рециклажа није само средство очувања животне средине, већ и значајна грана и делатност која може битно генерисати трајне економске користи.

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.

Материјал добијен рециклажом пнеуматика се све чешће употребљава као вредна сировина и његовом употребом доприноси се постизању одрживог развоја. Рециклажа игра значајну улогу у испуњавању циљева ЕУ у области сировина – смањење потрошње енергије и нових материјала. Пошто су се показали као најприкладнији и најефективнији за широк спектар примена, истовремено испуњавајући спецификације перформанси, тржишта рециклираних пнеуматика су последњих година доживела експоненцијални раст.

У првом делу су размотрене карактеристике самих еластомера, њихово настајање и како то утиче на њихове особине, као и њихова основна подела.

У другом делу говори се о самом појму гуме, о сировинама које се користе за њено добијање.

У трећем делу су размотрени поступци за добијање производа од гуме, путем различитих поскупака.

У четвртном делу се говори о рециклажи гуме, поступцима рециклаже, као и машинама које се користе за тај поступак и шта настаје као производ рециклаже.

У петом делу су дате законске регулативе везане за рециклажу гуме у Србији.

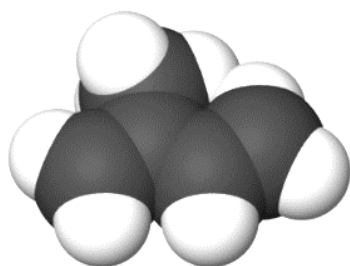
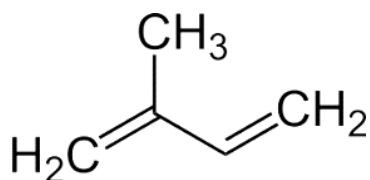
У шестом делу су приказани неки од примера рециклаже гуме на основу истраживања како се ово врши у свету, а како у Србији и Крагујевцу.

У седмом делу је размотрен предлог примера за рециклажу гуме у Србији, набављањем постројења TIRE-RECYCLING PLANT, које производи фирма Panizzolo.

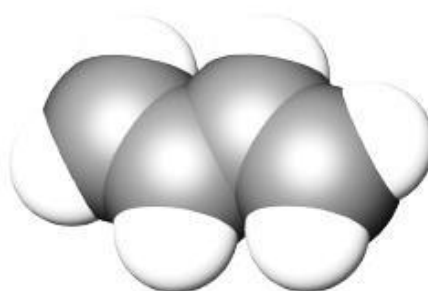
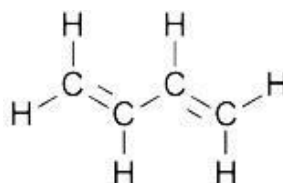
На самом крају семинарског рада дат је закључак, као и списак литературе који је коришћен при изради овог рада.

1. Врсте еластомера и њихове карактеристике

Еластомери су материјали који се производе од природног или синтетичког каучука и синтетичких полимерних материјала са својстима сличним каучуку (нпр. полибутадиен, кополимери стирен-бутадиена и етилен пропилена, силиконски и флуорирани каучук). 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 1.) [14], а синтетичке гуме бутадиен (слика 2.) [14].



Слика 1. Изопрен



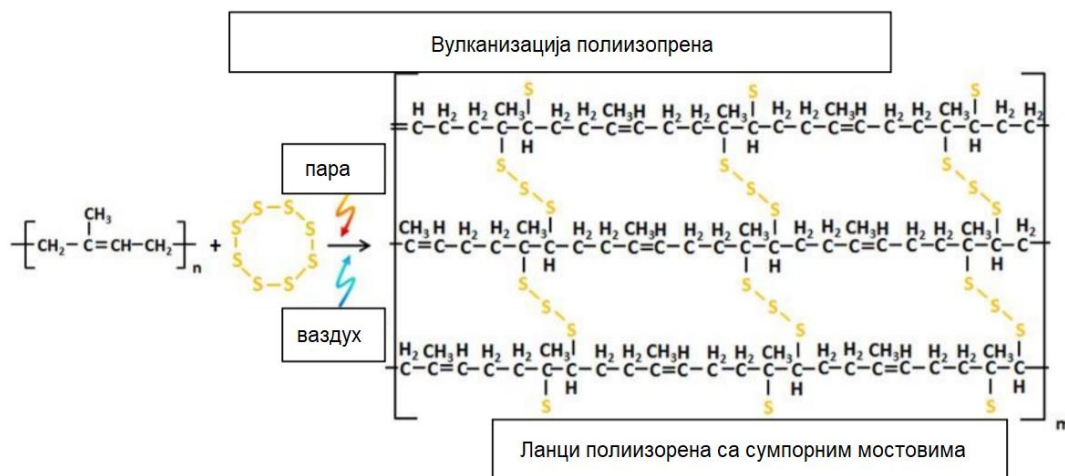
Слика 2. Бутадиен

Карактеристике

Еластомери су материјали који подносе велике деформације услед деловања силе, приликом чега не долази до пуцања материјала, већ материјал у потпуности поприма свој првобитни облик, након престанка деловања силе. Основно својство им је еластичност, што подразумева потпун опоравак материјала након деформације.

Грађени су од дугих, линеарних, макромолекуларних ланаца који су међусобно повезани и слабо умрежени вулканизацијом (слика 3.) [13] (загревањем уз присутност умреживача (сумпор, пероксид или неко друго средство с функционалним групама, или метални оксиди), уз додатак различитих додатака и пунила (чађ, оксида силицијума, алуминијума, титана и цинка)). Тиме се спречава њихово пластично обликовање, али

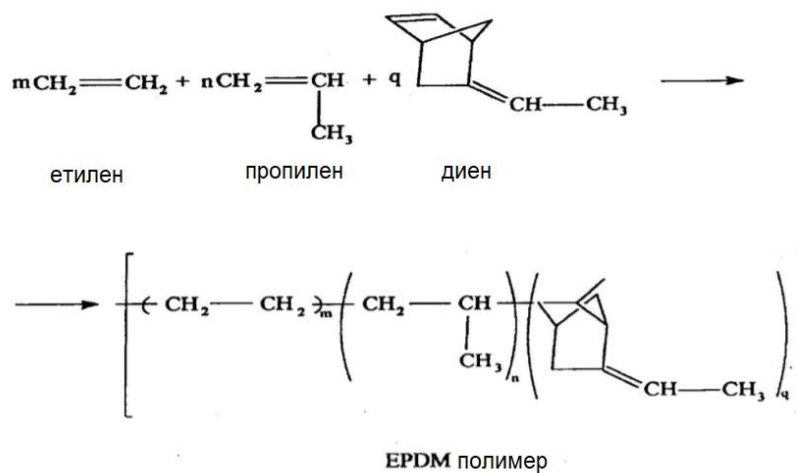
остаје сачувана покретљивост делова ланаца, што им даје изразита еластична својства. У неоптерећеном стању имају дефинисан облик у који се готово потпуно враћају и након снажног деловања спољашње силе и јаког изобличења.



Слика 3. Вулканизација полиизопрена

Врсте

Најпознатији еластомери су: полиизопрен (PI), стирен/бутадиен/стирен (SBS), полиуретани (PU), силиконски каучук и етилен/пропилен/диенски каучук. Етилен/пропилен/диен (EPDM) (чија је структура приказана на слици 4. [13]) добија се кополимеризацијом мономера етилена и пропилена, а део етилена је од 20-80 %. Вулканизација се врши пероксидима, а може и радијацијски [13].



Слика 4. Структурна формула EPDM-а

2. Гума

2.1. Основни појмови

Појам гума је могуће дефинисати са различитих аспеката: састава, својстава, структуре, примене, итд.

- Са аспекта састава, гума је сложен материјал који се добија од каучука и додатака. Настала је у процесу побољшања својстава каучука помоћу разних додатака. То се успело додатком сумпора, уз дејство топлоте и притиска, што указује да гума није смеша само 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 хемијског активног гаса. Додаци се могу поделити у следеће групе:
 - Средства за вулканизацију;
 - Убрзивачи, активатори и успоривачи вулканизације;
 - Пунила;
 - Пластификатори и омекшивачи;
 - Средства против старења;
 - Боје;
 - Специјални додаци.
- Са аспекта својстава, гума је заједнички назив за групу материјала који се лако, под дејством мале силе, деформишу. Тако, на пример, гума трпи, без значајнијих заосталих деформација, вишеструко истезање од 500% па и 1000%, док челик губи своје еластичне карактеристике већ при деформацијама испод 1%. При деформисању притискањем, гума је практично нестишљив материјал, по чему је слична течностима. Важно својство гуме јесте мала тврдоћа која је комбинована са еластичним својствима, непропустљивошћу и инертношћу за многе флуиде. У погледу хабања може да варира од јако отпорне (код газећег слоја аутогуме) до врло потрошне (код гуме за брисање). У основи је електроизолациони материјал, што знатно варира зависно од састава.
- Савремена наука о полимерима дефинише гуму, у структурном смислу, као просторно, растресито умрежен систем каучукових молекула, тј. полимерних ланаца са дугим сегментима између чворова мреже, у термичком кретању. Приликом макродеформација материјала долази и до микродеформација сегмената и померања чворова мреже под дејством спољашњег поља. Просторна мрежа онемогућава кретање каучукових молекула, у њу уграђених, по запремини материјала, и прелазак у раствор без кидања мреже. Тиме се објашњава нерастворљивост вулканизата, нестишљивост гуме и др.
- Дефинисање гуме са аспекта намене није једноставно. Развојем савремене технологије полимера, упоредо са богатством разноврсних материјала, почеле су да се преплићу особине појединих група и губе чврсте границе између њих. Примера ради, полинорбен се сматра каучуком јер се примењује у производњи гуме, мада је то прашкаст материјал нимало сличан каучуку, који тек додатком пластификатора и адекватним умрежењем ипак даје гуму жељених својстава [1].

2.2. Сировине за добијање гуме

Као полазна сировина за добијање гуме користи се каучук, који по пореклу може бити:

- природни
- синтетички.

Под каучуком се подразумева неумрежени макромолекулски материјал природног или синтетичког порекла, од кога се производи гума. Каучуци имају способност да се на собној температури, због своје макромолекулске структуре, враћају у првобитан облик, из кога су изведени због дејства слабих напона. Већина каучука одликује непропустљивост за течности и гасове као и добре електроизолационе карактеристике.

2.2.1. Природни каучук

Природни каучук је по хемијском саставу угљоводоник – полиизопрен. Основна сировина за добијање природног каучука је латекс (каучуково млеко) који се добија од тропских биљака путем деловања на њих хемијским средствима или механичким путем. У почетку се латекс искључиво добијао из тропске биљке хевеје (*Hevea brasiliensis*), а касније и из других биљака. Добијање латекса изводи се путем зарезивања дрвета и подесног начина прикупљања сока који цури из дрвета.

Латекс садржи већу или мању количину каучука, у зависности од које биљке се узима. Тако нпр. хевеја садржи 37-41% каучука и доста велики садржај воде (52-57%), која се ради смањења трошкова транспорта истискује путем коагулације латекса. Та коагулација (згрушавање) изводи се на три начина, и то су:

- димљењем (по овој методи окреће се вретено на ватри са много дима који садржи доста фенола, и ово вретено се повремено залива латексом све док се не добије бала од 10-30 килограма тежине) [2] ;
- сушењем (изводи се у уређају тако што латекс капље кроз цев на хоризонталну обртну плочу коју покреће електромотор великом брзином око вертикалне осовине и услед деловања центрифугалне силе латекс се распршава и коагулише на зидовима коморе, под дејством топлог ваздуха који кроз отвор улази у комору и излази на отвор и при томе изазива пад сунђерасте масе на дно коморе. Издвојена сунђераста маса се затим пресује у плоче или блокове) ;
- у киселинама (тако што се латекс претходно разреди водом на 10-20% каучука у латексу, филтрира и ставља у преграде за коагулацију. Овако припремљен латекс много лакше излучује честице каучука, а и лакше се меша са хемикалијама које се додају латексу. Латекс се затим ставља у преграде за коагулацију, додају му се средства против оксидације каучука (NaHSO_3) и мравља или сирћетна киселина за изазивање коагулације. Након 24 часа у преградама каучук се издвојио од серума и испливао на површину. Овако сирови каучук се даље сече на комаде, гњечи, а затим испира водом на дво-ваљцима, да би се одстранио серум и вишак киселине) [1].

2.2.2. Синтетичи каучук

Синтетички каучук обухвата групу високо полимерних материјала, чији је полимер способан да реакцијом умрежавања (вулканизацијом) пређе из вишег пластичног у више еластично стање.

Производња синтетичког каучука се састоји из два узастопна процеса, и то производња мономера као први процес и његова полимеризација или кондензација као други процес.

Својства синтетичког каучука обично се упоређују са особинама природног каучука. Природни каучук се одликује великом еластичношћу, јачином на истезање и увијање, као и непропустивошћу за гасове и течности. те особине се захтевају и од синтетичког каучука али се често постављају и такви захтеви које поседује само синтетички каучуци, а то су: отпорност према нафти и нафтним дериватима, органским растворима, морској води, алкалијама, киселинама и другим материјалима.

Синтетички каучуци према својствима које поседују деле се на:

- универзалне синтетичке каучуке;
- специјалне синтетичке каучуке [1].

3. Производња гуме

Природни и синтетички каучук пластичан је материјал, коме се облик може мењати. Каучук се не може директно употребити, већ се мора подвргнути многим процесима, да се добије гума, коначни продукт, релативно велике еластичности. Каучук је, дакле, међупродукт у произвођи гуме и гумених производа.

Међу мноштвом најразличитијих производа, многи се производе према строго специфичним поступцима. Међутим, за већину производа поступак је углавном исти. Каучуку се додају различита пунила и смеша се подвргава термичкој обради (тзв. вулканизацији). У читавом процесу производње гуме из каучука разликују се следеће фазе:

- мастикација,
- припрема смесе каучука и додатака,
- обликовање полупроизвода,
- вулканизација.

3.1 Мастикација

Природни, а понекад и синтетички каучук допрема се у фабрике обично у великим балама и комадима, блоковима четвртастог облика. Пре даље обраде, такве комаде потребно је смањити. То се ради помоћу посебних машина са ножевима који режу каучук у мање комаде издуженог облика, често се каучук пре резања мора загрејати на температура око 50°C , да би се омекшао.

Природни се каучук не може директно мешати са посебним додацима, јер се они не могу једнако расподелити у сировом, релативно тврдом материјалу. Зато се каучук мора подвргнути тзв. мастикацији. То је операција у којој се каучуку повећава пластичност, а тиме и могућност постизања веће хомогености приликом мешања различитих додатака и пунила. Мастикација се састоји у интензивној механичкој обради, уз истовремено загревање. При томе се каучук, као полимер велике молекуларне масе, разграђује.

Процесу мастикације се највише подвргава природни каучук. Синтетички каучук се због своје другачије структуре много теже мастицира. Да би се тај процес могао извести, потребни су катализатори, хемијска средства за пластифицирање. Ова средства убрзавају мастикацију само у присуству кисеоника. Они не смеју утицати на каснији процес вулканизације, нити на својства смесе за вулканизацију. То су углавном сумпорни спојеви, најчешће тиофеноли, који се додају каучуку у малим количинама (око 1%).

Мастикација се изводи помоћу посебних уређаја. Први су у употреби били двоваљци, који могу служити за мастикацију, али и за мешање додатака каучуку и за стварање хомогене смеше пре вулканизације. Принцип рада на двоваљцима и конструкција уређаја, остали су практично непромењени кроз више од стотину година, од њихове прве употребе у производњи гуме. То је уређај са два ваљка, смештена у хоризонталној равни, који се окрећу један према другом.

Пречник ваљка је 0,4-0,6m, а дужина 1-2m. Отвор између ваљака подеси се на почетку рада тако да ротирајући ваљци могу ухватити и повући комаде каучука. Након што

комади прођу између ваљака, радник, који рукује уређајем, враћа их и тера поново кроз отвор између ваљака. При томе се размак између ваљака може по потреби проширивати. Након неколико прелазака, поједини се комади здружују и чине хомогену масу, која ствара превлаку око предњег ваљка. Да би маса постала што хомогенија, режу се повремено делови масе, скидају се са ваљка и поново убацују међу њих. На мањем лабораторијском уређају реже се ручно, а на великим производним ваљцима обавља се то аутоматски и континуирано.

Двоваљци морају имати врло тврду површину, нарочито због резања трака каучука, јер се тада нож за резање упире у површину ваљка. Ваљци се према потреби хладе водом или се загревају паром, уљем или, врло ретко, електрично. Да би се повећао учинак уређаја, предњи се ваљак обично окреће нешто спорије од задњег. Оба ваљка се покрећу истим мотором и међусобно су повезани зупчаницима са дугачким зупцима, како би ваљци остали у вези и када се размичу. Када се прерађује материјал који изазива врло велико трење, сваки се ваљак окреће засебно.

Поред рада на двоваљцима, мастикација, а такође и мешање смесе каучука и додатака, обавља се и у мешалицама (миксерима). Тај се уређај састоји од затворене коморе са два ротора неправилног, крушколиког облика. Ротори се окрећу један према другом и том приликом притискају и мешају каучук између ваљака, али и између појединог ваљка и зида коморе. Процес се одвија много ефикасније и у већем простору, па је за мастикацију у мешалици потребно много мање времена него за мастикацију између ваљака. Поред тога, рад мешалице се може аутоматизовати и тада особље није у директном контакту са машином, чиме се избегавају многе несреће, које су честе када се мастикација обавља двоваљцима. Ротори се према потреби могу хладити водом, често се ротори окрећу различитим брзинама да би се повећала ефикасност мешања. Након завршене мастикације или мешања, каучук се испушта отварањем дна мешалице. Каучук који је изашао из мешалице неправилног је облика и често издељен у неколико комада. Та се читава маса одводи или испушта директно у машину са двоваљцима, који је хомогенизирају и обликују у плоче прикладне за даљу прераду. Запремина мешалице у великим индустријским погонима износи и до 250 dm³.

3.2 Каучукова смеша

Квалитет готовог производа врло много зависи од два чиниоца: састава и хомогености каучукове смеше пре вулканизације. Основни састојак сваке смесе која се даље прерађује у гуму, јесте наравно, каучук. Смеша мора садржати средство за вулканизацију, најчешће сумпор, затим убрзивач вулканизације и активатор убрзивача. Поред тих главних састојака смеша садржи различите додатке. Њихов је задатак да олакшају даљу прераду, да као пунила снизе цену готовог производа и да омогуће постизање жељених својстава будућег производа. Због тога је избор врсте и количине додатака тј. састава смесе за вулканизацију, врло битан у читавај производњи. Постоји много рецепата за прављење различитих врста гума и великог мноштва различитих гумених производа.

Средства за вулканизацију

Као средство за вулканизацију највише се употребљава сумпор. Помоћу сумпора могу се вулканизирати 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 вулканизирати и без средства за вулканизацију. Умрежавање се тада постиже деловањем јаког зрачења, нпр. помоћу гама-зрака, с изотопом 60°C.

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 врло 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 [3].

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%.

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 користи с обзиром на величину честица и на својства производа 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.

Пигменти

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.

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 смесе, да побољшају нека физичка својства производа. Као омекшивачи могу се употребљавати природне супстанце, нпр. минерално уље, масне киселине, масти и уља. Мање се употребљавају скуп синтетички омекшивачи. Њихов је избор већи и њиховом се применом могу постићи посебна својства у производњи специјалних врста гуме. Најважнији синтетички омекшивачи јесу различити етри.

Фактис

Фактис је лака пахуљичаста маса, замена за каучук. Добија се вулканизацијом биљног уља сумпором или неким његовим једињењем. За прављење фактиса најчешће се употребљавају ланено, рицинусово и сојино уље. С обзиром на проценат сумпора и услове рада разликује се смеђи, жути и бели фактис.

Поред смањења учешћа каучука, фактис делује и на својства готових производа, нарочито на отпорност према температури, на понашање и отпорност површине предмета.

Припрема смеше

Смеша се може припремати на истим машинама које служе за вулканизацију. Понекад то и нису одвојене операције, већ се каучук мастицира уз истовремено додавање и мешање потребних компонената. Машине са ваљцима се данас ретко употребљавају за припрему смеше. Све велике фабрике гуме, нарочито фабрике за производњу аутомобилских гума употребљавају за припрему смеше искључиво мешалице. Поједине се компоненте додају аутоматски и одређеним редоследом. У свакој је рецептури наведен тај редослед и време потребно за мешање сваке од компонената. У мешалицу се прво ставља каучук, кратко време меша, а затим следе пунила, омекшивачи и додаци за побољшање својства гуме. Температура смесе затим нагло расте, па се ротори интензивно хладе водом. Ретко када се због опасности од преране вулканизације, истовремено додају средства за вулканизацију, убрзивач и активатор. То се изводи тек након што је основна смеша већ створена, обично двоваљцима или у другој мешалици.

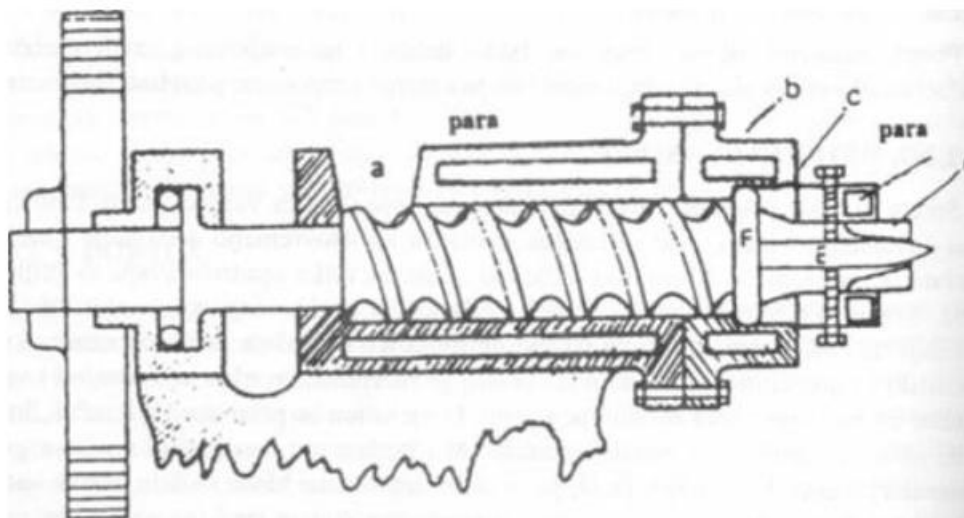
3.3. Обликовање полупроизвода пре вулканизације

Добро измешана смеша каучука и потребних додатака мора се обликовати, формирати у предмет или материјал, из којег ће затим након завршене операције вулканизације настати коначни гумени производи, нпр.: аутомобилске гуме, гумени простирачи, тканине импрегниране гумом, гумене цеви итд. Главни поступци којима се обликују полупроизводи пре вулканизације јесу екструдирање, каландирање и обликовање у калупима.

3.3.1 Екструдирање

У производњи различитих гумених профила и гумених цеви употребљавају се екструдери. 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 екстудирање може се доводити у екструдер ручно или аутоматски са машине са ваљцима. Из смеша које се не вулканизирају под притиском треба приликом екстудирања отклонити ваздух и велики део влаге, јер би у противном материјал после вулканизације могао бити порозан. 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 екстудирање.

На слици 5. [3] приказан је пресек екструдера.

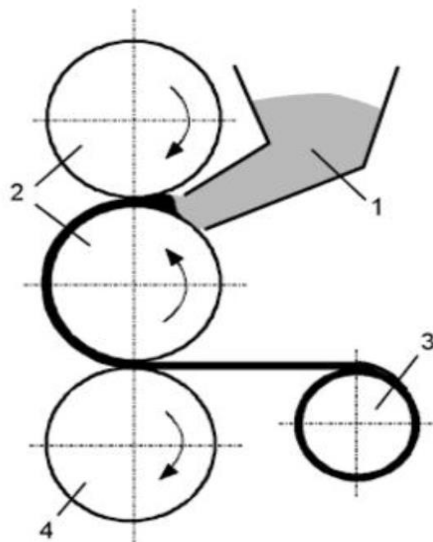


Слика 5. Пресек екструдера

3.3.2 Каландирање

Каландер је машина која смешу каучука и додатака формира у плоче жељене дебљине. Употребљава се такође 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 (слика 6. [21]).

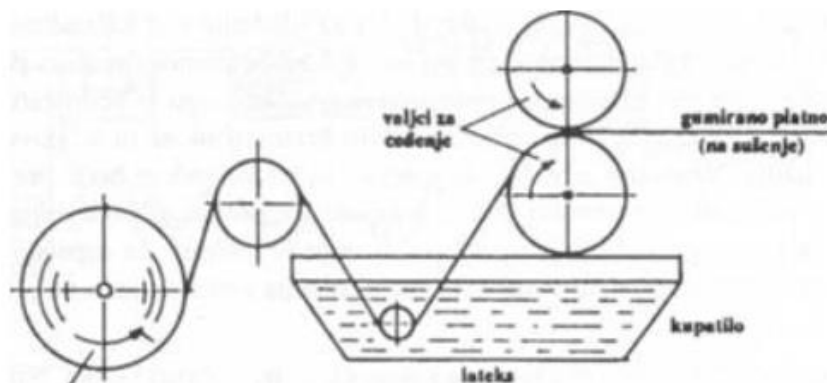
У производњи плоча трећи ваљак може служити за хлађење већ каландиране плоче пре намотавања у ролне. У каландерима са три ваљка директно се помоћу мотора покреће средњи ваљак (а остала два су везана с њим преко преносника и могу се примицати или одмицати од средњег ваљка). Ваљци се могу окретати истом 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 неједноликост и хрпавост 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.



Слика 6. Календер 1) резервоар 2) радни ваљци 3) калем 4) помоћни ваљак

За гумирање тканина употребљавају се календери са три или четири ваљка. Њихов положај и начин рада може бити врло различит. На календеру са три ваљка може се гумирати само једна страна тканине. За обострано гумирање делимично гумирана тканина мора поново проћи кроз такав календер са 4 ваљка. Утискивање смесе у тканину постиже се захваљујући трењу које настаје између ваљка и тканине. У календеру 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 смеса 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. На слици 7. [3] приказано је обострано ослојавање платна превлачењем тканине кроз купатило са латексом.

На савременим, великим календерима, размак између ваљака, не намешта се ручно већ помоћу уређаја са електромоторима. Дебљина плоче која излази из календера може се мерити помоћу уређаја са бета-зрацима. Тај уређај, ако је потребно, аутоматски подешава размак међу ваљцима и омогућује израду плоче сталне дебљине [3].



Слика 7. Премазивање кроз пуно купатило са обе стране платна

3.3.3 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.

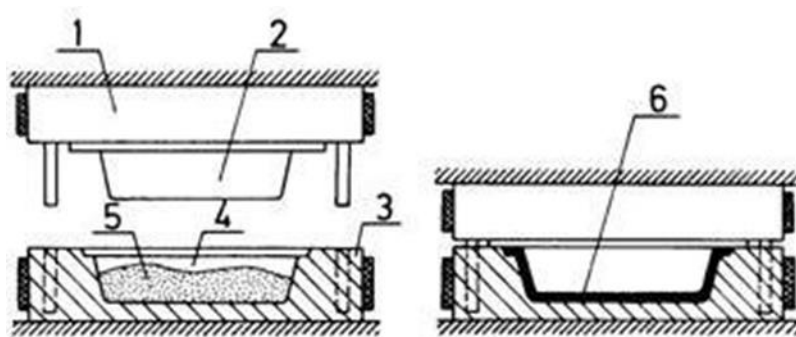
- Компресорско обликовање

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 загревају електричним путем.

Обично пресовање

Процес обичног пресовања се изводи на хидрауличној преси и дводелном алату. На слици 8. [21] приказана је шема са фазама рада при обичном пресовању:

- пуњење удубљења алата,
- затварање алата и извођење пресовања
- отварање алата и избацивање готовог дела (отпреска) из њега

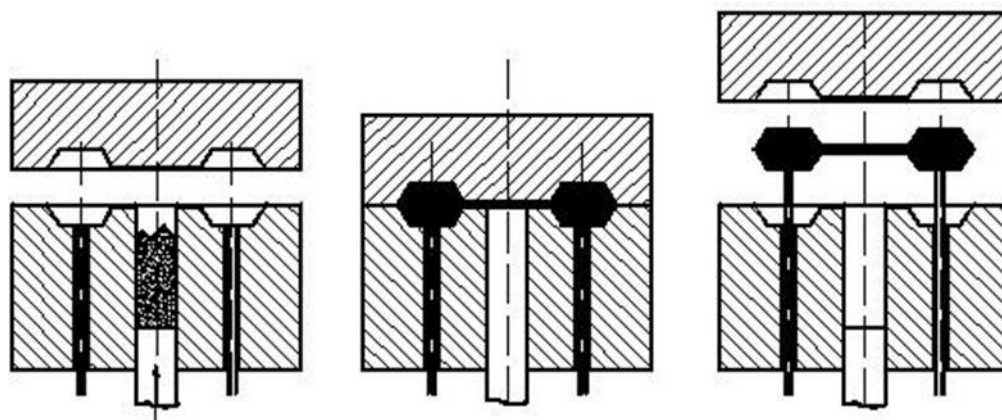


Слика 8. Шема поступка обичног пресовања: 1) држач обликача 2) обликач 3) матрица калупа 4) гнездо калупа 5) материјал за пресовање 6) предмет обраде

Посредно пресовање

Овај начин пресовања приказан је на слици 9. [21] и изводи се помоћу алата који имају одвојену комору за пуњење од удубљења алата у коме се врши обликовање. Фазе тока процеса посредног пресовања су:

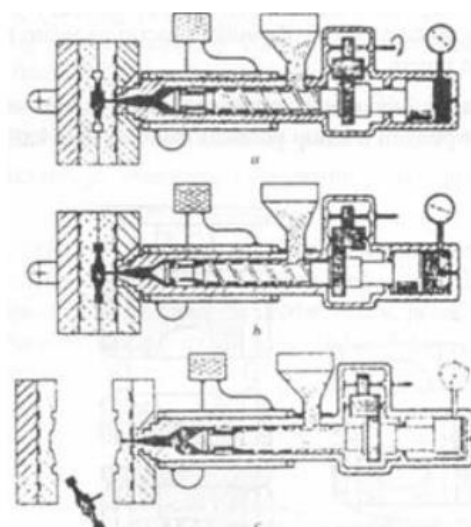
- пуњење коморе материјалом, који се у њој загрева и омекшава
- затварање алата
- потискивање растопљеног материјала из коморе за пуњење, преко уливних канала ка удубљењу алата и
- враћање потискивача, отварање алата и избацивање готовог производа.



Слика 9. Посредно пресовање

- Обликовање убризгавањем

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 10.) [3].



Слика 10. Обликовање предмета убризгавањем

3.4. Вулканизација

У великим фабрикама гуме и гумених производа вулканизација се изводи на више начина.

3.4.1 Вулканизација у аутоклавима

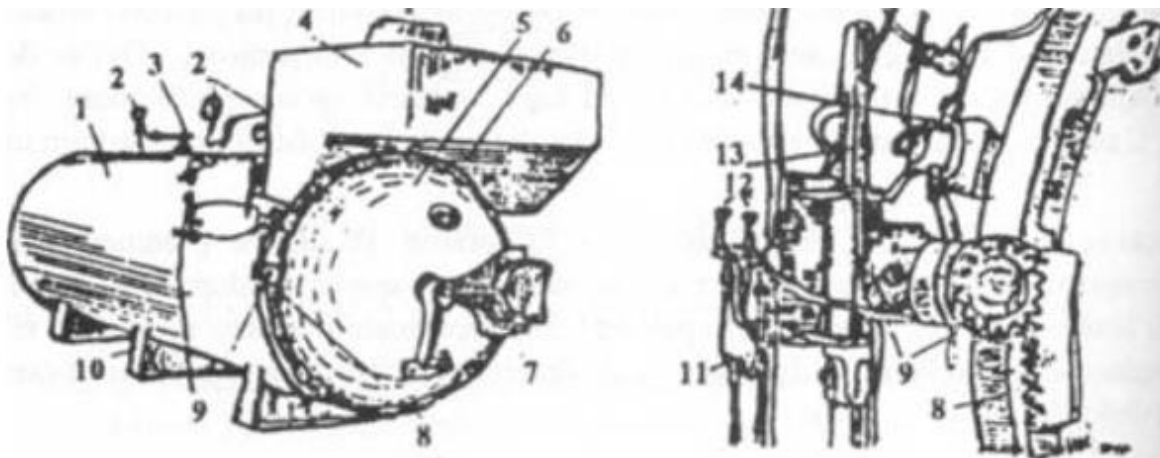
Ова вулканизација се изводи помоћу водене паре у цилиндричним аутоклавима који могу бити: вертикални и хоризонтални. Велики аутоклави су обично хоризонтални због лакшег стављања и вађења предмета за вулканизацију. Да се не би губило много времена пре и после вулканизације, материјали или предмети за вулканизацију стављају се у аутоклав на одређени начин. Тако се појединачни предмети уносе на великим плочама, ципеле и рукавице на калупима, лопте и други шупљи предмети такође у прикладним калупима, а цеви намотане на вретена.

Често се то пре вулканизације слаже на колица која се затим угурају у аутоклав. Након што се затворе врата аутоклава, паром се из њега избацује ваздух, затворе врата аутоклава, затвори излаз, а затим се одржава одређени притисак паре. На почетку вулканизације пара може се у незагрејаном аутоклаву кондензовати и настала вода може проузроковати штету на предметима за вулканизацију. Да би се то спречило аутоклав се пре вулканизације загрева електричним путем или помоћу паре између двоструких зидова.

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 за неки материјал или предмет зависи између осталог и од облика и величине аутоклава, па се за сваки аутоклав морају посебно одредити.

У аутоклавима се на сличан начин може вулканизирати помоћу топлог ваздуха. Лоша страна тог поступка је што се каучук на ваздуху лако оксидира, па се тај начин употребљава само када се не може вулканизирати помоћу водене паре или када се вулканизација може извести за кратко време.

На слици 11. [3] приказан је котао за вулканизацију (аутоклав) [3].



Слика 11. Котао за вулканизацију

3.4.2 Континуирна вулканизација

Континуирана вулканизација се најчешће надовезује на екструдирање или на каландирање. Екструдирани производи, нпр. цеви, профили, каучуком изолирана жица, након изласка из екструдера или каландера се континуирано проводе кроз уређај за вулканизацију. Уређаји у коме се производи загревају на температуру потребну за вулканизацију могу бити врло различити. Вулканизација у тунелима са врућим ваздухом ретко се примењује због малог пролаза топлоте и због могуће деформације екструдираних производа и профила. Међутим, у тунелима кроз који струји пара континуирано се вулканизирају каблови и изолиране жице. У хоризонталним тунелима може се вулканизирати кабл са пречником до 2,5 cm. Каблови већег пречника вулканизирају се у вертикалном тунелу. Вулканизација у раствору етингликола релативно је једноставна. Незгодна страна тога поступка је што се производи после вулканизације морају темељно прати. Бољи поступак континуираног вулканизирања је у растворима соли. За ту сврху се употребљава еутектичка смеша калијум-нитрата (53%), натријум-нитрата (40%) и натријум-нитрита (7%) на температурама око 200° C. Смеша није запаљива, али подржава горење, па се приликом рада са њима морају предузети мере противпожарне заштите.

- Флуид бед вулканизација

Међу различитим начинима континуиране вулканизације ширу је примену нашла тзв. флуид - бед вулканизација. У том се поступку производи или профили провлаче кроз загрејани раствор пуњен малим стакленим куглицама пречника 0,2 mm (слика 12.) [3].



Слика 12. Вулканизација флуид

Кроз такав раствор са доње стране циркулише ваздух, па су у одређеним околностима куглице као течни медијум. Прелаз топлоте у таквом медијуму много је већи него у плину, вулканизација је брза, а деформација производа минимална.

Гумиране тканине, траке и подови, који се производе на каландерима, вулканизирају се континуирано на уређају са ваљком и бесконачном челичном траком. Материјал за вулканизацију пролази кроз уређај на челичној траци и заграва се са једне или са обе стране.

3.4.3 Вулканизација пресовањем

Састоји се од обликовања производа у калупима пресовањем уз истовремено загревање. То се углавном изводи на јаким хидрауличним пресама. Избор притиска у пресама приликом вулканизације необично је важан за квалитет вулканизата. Калупи се у пресама најчешће загревају воденом паром.

Аутомобилске гуме се након конфекционисања (састављања) од различитих врста каучука, гумиране тканине и челичног језгра, обликују и вулканизирају у специјалним аутоматским пресама са алуминијумским калупима, који се директно или индиректно загревају паром [3].

3.5. Светски произвођачи гуме

Посматрајући глобално тржиште производа од гуме, видно је да светском сценом доминирају европске, америчке и јапанске компаније, а из ових земаља долази чак 46 компанија које су у првих 50 најбоље ранжираних произвођача гумених производа на планети, и то: из Европе 17 компанија, из САД-а 15 и из Јапана 14. У 2014. години, прве три ранжиране компаније биле су из Европе.

Гумарску индустрију ЕУ 28 (укључујући Норвешку и Швајцарску) у 2015. години представља 4.394 компанија, а ланац вредности гумарске индустрије (сектор укупно, укључујући пнеуматике и техничке производе од гуме) доприноси 0,5% ГДП-у ЕУ. На подручју целог европског континента, овај сектор броји више од 6.000 компанија. Према величини, 98% ових компанија су микро, мала и средња предузећа. Највећи део укупног промета овог сектора се ипак остварује у свега двадесетак компанија [6].

4. Рециклажа гуме

Данас се производи више од 60.000 врста гумираних производа, који се могу груписати у неколико група:

- пнеуматика,
- гумено-техничких роба,
- обућа и
- производи специјалне намене[3]

Од свих ових група гумираних производа, највише пнеуматици заврше као отпад и све остале групе су занемарљиве количински у односу на њих, тако да је у даљем раду највише пажње обрађено на њихово рециклирање.

Под рециклажом се подразумева поновни третман отпада ради коришћења као сировине у производњи истог или различитог производа. Она укључује сакупљање, издвајање, прераду, при чему је врло важно најпре издвојити отпад према врстама.

Рециклажа није само средство очувања животне средине, већ и значајна грана и делатност која може битно генерисати трајне економске користи, јер чак 70% отпада има употребну вредност, што значи да се може рециклирати. Развијене земље рециклажом остварују промет од чак 160 милиона долара годишње, и при томе запошљавају 1,5 милиона људу широм планете. Поред ових, важно је поменути и следеће позитивне особине рециклаже:

- Доводи до мањег коришћења сировина, чиме се штите необновљиви или тешко обновљиви природни ресурси од неконтролисане потрошње;
- Смањује утицај отпада на загађење;
- Чини животну средину лепшом и чистијом;
- Штеди простор у природи који би био уништен за депоније отпада;
- Штеди новац;
- Смањује количину енергије која би се потрошила при производњи новог производа.

Како су данас рециклирани производи све више присутни, а исто тако и материјали који су погодни за рециклажу, јавила се потреба за идентификацијом, односно обележавањем таквих производа.

Потрошачи и добављачи, посебно у индустријским земљама, сада доносе одлуке о куповини производа засноване не само на кључним факторима квалитета, цене и расположивости, већ и на еколошким аспектима. То укључује еколошке утицаје који се могу догодити пре, за време и након производње неког производа тј. током целокупног животног века производа.

Методе рециклирања гуме се примењују у великом броју земаља. Процењује се да у земаља чланицама ЕУ сваке године настаје око 250.000.000 отпадних пнеуматика, а у источној Европи, Северној Америци, Јужној Америци, Азији и на Средњем истоку годишња количина износи око 1.000.000.000. Током година се додају нове количине пнеуматика милијардама ускладиштених или закопаних на депонијама, као и небројеним милионима нађеним на илеганим местима, магацинима и пољанама широм света [4].

Отпадни пнеуматици су специфична врста отпада коју стварају сва возила. Истрошени

пнеуматици се често одлажу на великим гомилама у животној средини. Животна средина је због тога изложена дугорочном утицају на њен изглед и потенцијалном ризику од неконтролисаног пожара. Отпадни пнеуматици се могу лако прикупити, обрадити и рециклирати. Пнеуматици могу да буду важан алтернативни материјал у производњи одређених производа од гуме, као и у добијању енергије.

Материјал добијен рециклажом делова од гуме се све чешће употребљава као вредна сировина и његовом употребом доприноси се постизању одрживог развоја. Рециклажа игра значајну улогу у испуњавању циљева ЕУ у области сировина – смањење потрошње енергије и нових материјала. Пошто су се показали као најприкладнији и најефективнији за широк спектар примена, истовремено испуњавајући спецификације перформанси, тржишта рециклираних пнеуматика су последњих година доживела експоненцијални раст.

Недавна истраживања су допринела проналажењу мноштва нових производа и апликација који се обијају од рециклираних делова од гуме. Студија екотоксичности није показала токсичност делова од гуме. Сprovedена истраживања потврђују повећан садржај тешких метала, пре свега, у киселој средини. Даљи ризик потиче од спаљивања гуме на слободним површинама, где долази до ослобађања оксида угљеника и полиароматичних угљоводоника. Неконтролисаним спаљивањем гуме може доћи до загађења ваздуха и издвајања уља која могу загадити земљиште, површинске и подземне воде. Овај уљни материјал је такође високо запаљив. При неконтролисаном спаљивању у околини настаје густ дим, који може да садржи полутанте штетне по људско здравље, укључујући полицикличне ароматичне угљоводонике, бензен, стирен, феноле и бутadiен [5].

4.1. Методе рециклаже и прераде гуме

Најчешће коришћени начини прераде гуме су:

- дробљење
- пиролиза.

Први корак код рециклаже делова од гуме је дробљење, после којег следи издвајање материјала по врстама (гума, челик и текстил). Према примењеној технологији и температури процеса дробљења, разликујемо две основне методе дробљења:

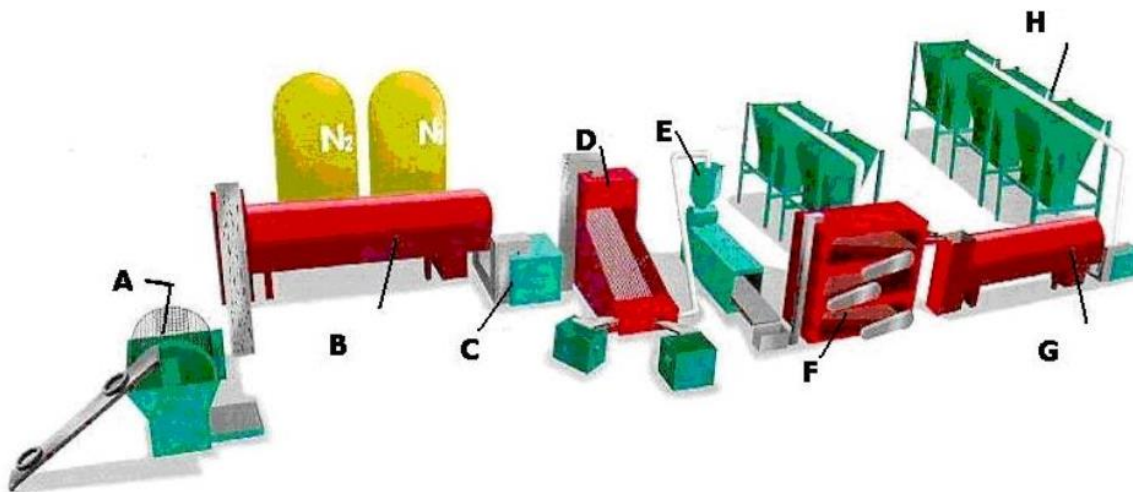
- криогено дробљење
- механичко дробљење.

Највећу примену у Европи и код нас има метода механичког дробљења.

4.1.1. Рециклажа гуме криогеним дробљењем

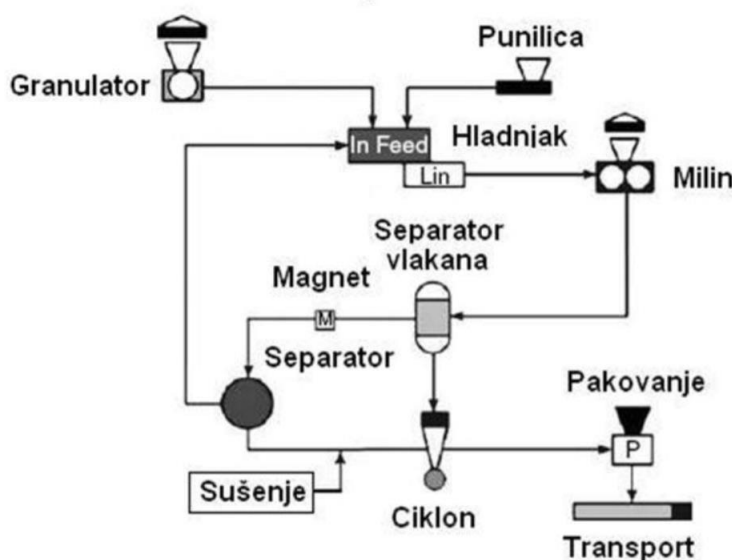
У процесу криогеног начина дробљења, делови од гуме се најпре замрзну течним азотом на температуру од -80°C до -100°C . На овој температури гума постаје толико крхка да се може релативно лако сећи постројењем за сечење. Још лакше се одвајају текстилни и метални делови од гумених. Недостатак овог процеса 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.

Приказ криогене рециклаже делова од гуме је приказан на слици 13. [5]. При овом процесу гума се дроби у дробилици (A) до величине око 50 mm и транспортује до расхладног тунела (B), где бива охлађена течним азотом. У млину, нпр. млину чекићару (C), одређене материје, као нпр. челик и гума, се смањују на фракције величине од 0,4 mm до 0,6 mm. Овај релативно велик спектар величина фракција после процеса смањивања је типичан за криогено млевење. 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).



Слика 13. Систем криогене рециклаже пнеуматика

Шематски приказ процеса криогеног дробљења се одвија из низа подпроцеса приказаних на слици 14. [14].



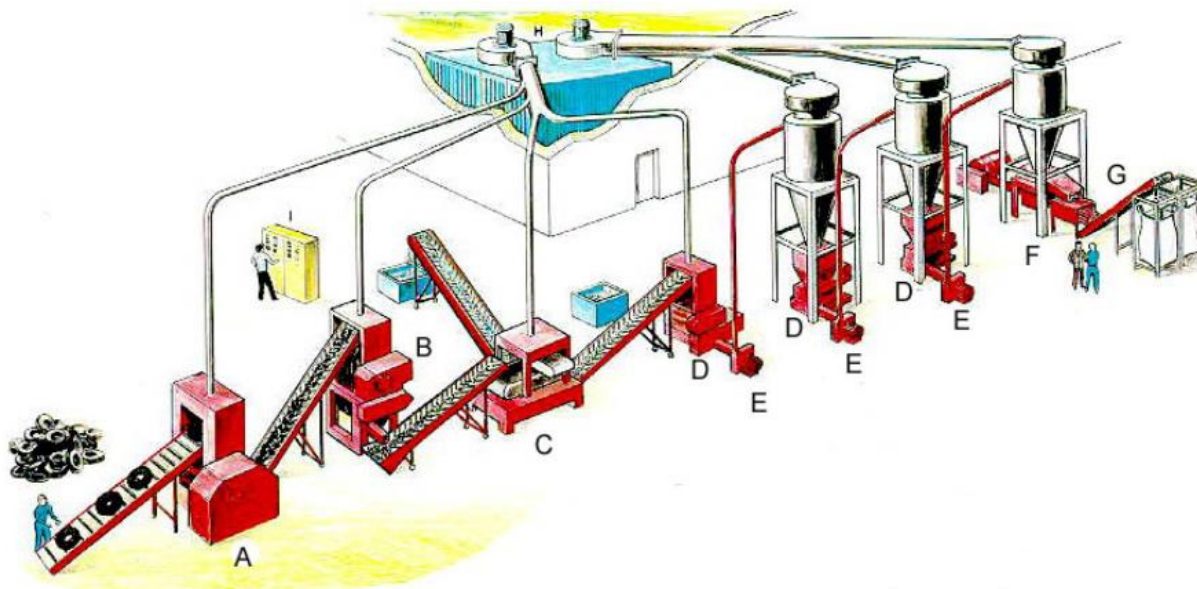
Слика 14. Шематски приказ процеса криогене рециклаже

4.1.2. Рециклажа гуме механичким дробљењем

У процесу механичког дробљења при нормалној температури, делови од гуме се дробе на улазу у постројење тако да је обезбеђена хомогеност улазне сировине и квалитет производње. Постоји разлика између гранулата од гуме и 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 8mm и са 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 дроби 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.

Механичка рециклажа делова од гуме је приказана на слици 15. [5]. Улазна дробилица (А) смањује материјал, који се помера по транспортној траци. Гранулатор (В) смањује гумене комадиће и брине се о целокупном раздвајању измешаног материјала, тако да се текстил и челик усисавају помоћу аспиратора (Н), односно кроз магнетну линију (С). Следеће млевење (D) доводи гранулат до жељене величине зрна.

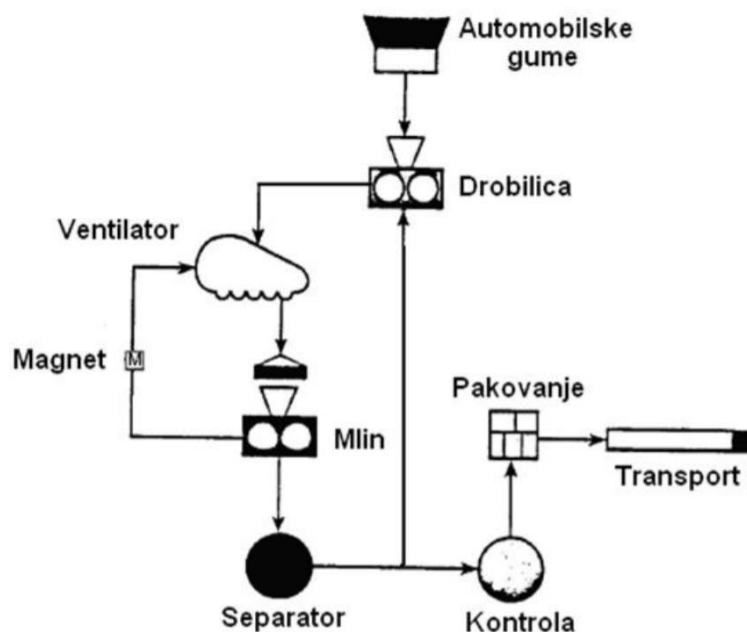


Слика 15. Систем механичке рециклаже пнеуматика

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 приказаних на слици 16. [14].



Слика 16. Шематски приказ амбијенталног процеса рециклаже

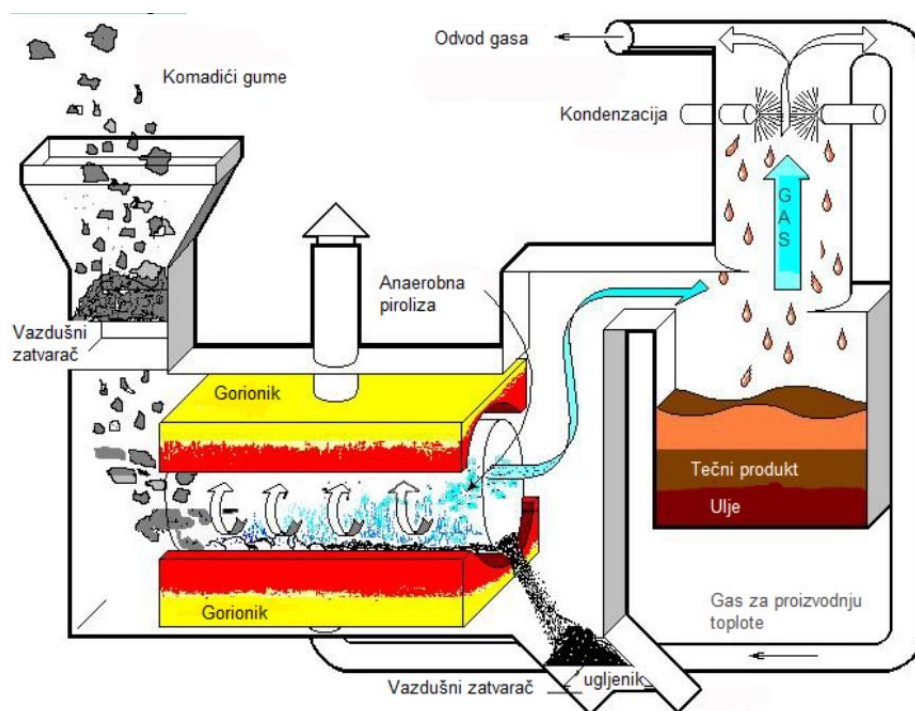
4.1.3. Прерада гуме поступком пиролизе

Пиролиза (слика 17.) [5] 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. Квалиет и количина појединих производа зависи од примењене технологије и услова пиролизе. У неким случајевима се пиролитички прерађује смеша делова од гуме 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, такорећи, 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. Из реактора одлази угљенични гас, а остаје вишак који је без садржаја угљеника. Хлађењем насталог

гаса кондензује се течност, такође названа "биоуље", која има особине:

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

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.



Слика 17. Поступак пиролизе

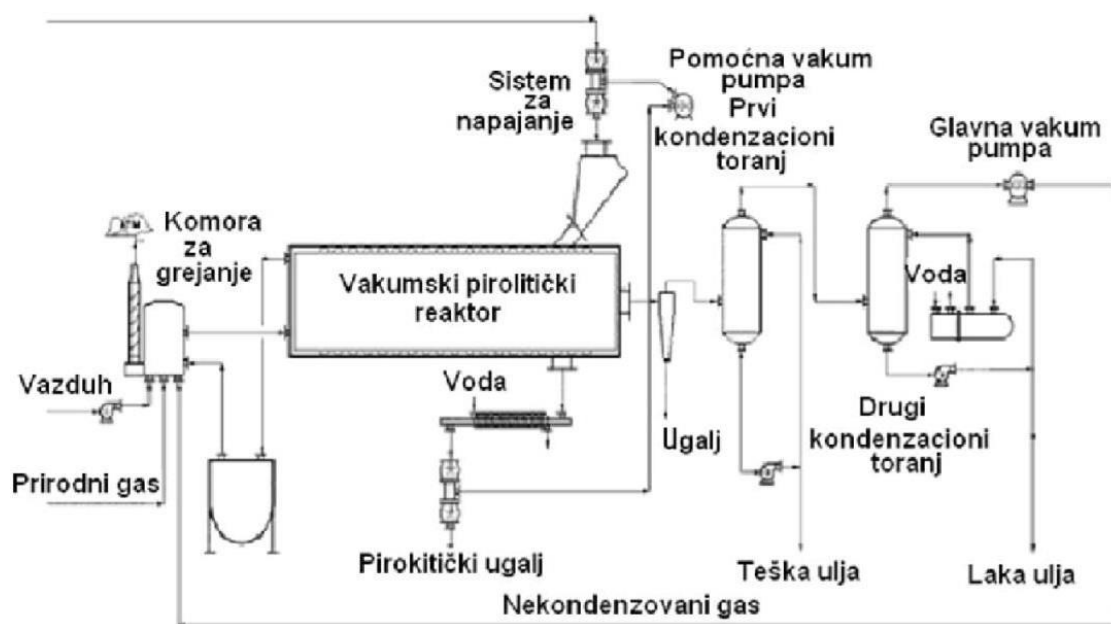
Уситњени делови од гуме у кружним ротационим пећима прелазе у гасовито стање под дејством високе температуре и без присуства ваздуха. Овако добијен гас прелази у следећи део оперативног система, где се издвајају чврсте материје. Гас се постепено хлади, долази до промене притиска и прелази у течно стање,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

- гас,
- уље,
- угљенични прах.

При погону постројења не настаје практично никакав отпад, само вишак челичних опиљака из пнеуматика и ситан пепео из нечистоћа. 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.

Шематски приказ поступка пиролизе је дат на слици 18. [14].



Слика 18. Шематски приказ процеса пиролизе

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 2-3% пепела и 5-6% топлоте.

Овакво коришћење отпадних делова од гуме 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.

Продукти процеса пиролизе су кондензоване течности, чврсти остатак (кокс) и пиролизички гас. Процеси пиролизе, гасификације и сагоревања се сматрају најатрактивнијим методама за коришћење енергије из отпадних гума и биомасе [5].

Индустријска постројења су углавном на ступњу развоја лабораторијских или

полуиндустријских експерименталних постројења. Према подацима из литературе [16] 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 удео појединих производа процеса пиролизе смећа зависи од састава смећа, притиска и температуре у реакторском простору.

На крају је дат један пример рециклажног центра у Кини, са свим овим машинама које су описане (слика 19. [9]).



Слика 19, Рециклажни центар у Кини

4.1.4. Сагоревање гуме

Гуме спадају у високо-енергетске материјале. Просечна топлотна моћ гуме путничког аутомобила је око 30,2 MJ/kg, а гуме од камиона око 26,4 MJ/kg што је значајно имајући у виду да су просечне топлотне моћи комуналног смећа 8,1 MJ/kg, лигнита 16,2 MJ/kg, новинског папира 17,2 MJ/kg, дрвене пиљевине 18,4 MJ/kg, каменог угља 28 MJ/kg, петрол-кокса 32 MJ/kg, бензина 35,4 KJ/kg, а лож-уља до 41,8 MJ/kg. Ови подаци, као и чињеница да пнеуматик садржи од 20 до 30% природне гуме која је обновљиви енергетски извор па својим сагоревањем не загађује животну средину додавањем CO₂, довели су до примене отпадних гума као алтернативног или основног енергента. У Јапану и САД, коришћење гума као енергента започето је седамдесетих година прошлог века, док је Европа ту праксу прихватила знатно касније. При контролисаном сагоревању гума, што је лабораторијски испитивано уз веома широко варирање експерименталних услова, доказано је да се продукти сагоревања гума не разликују од продуката сагоревања конвенционалних фосилних горива, изузев значајно веће емисије цинка. Разлог повећаног присуства цинка у продуктима сагоревања гума је додавање цинк-оксида у процесу

производње гуме (у фази вулканизације), у количини од 1 до 1,5% (масених). При контролисаном сагоревању гуме цинк делом прелази у гасовите продукте сагоревања, где је присутан у облику прашкастог ZnO , док се остатак цинка задржава као оксид у пепелу. Доказано је, такође, да се прах цинк-оксида може ефикасно елиминисати из гасовитих продуката сагоревања на филтарском постројењу са филтер-врећама или електростатичким филтрима. После повољних резултата лабораторијских испитивања, изведени су тестови на 22 индустријска постројења, од чега две пећи за цемент, једна пећ за креч, 19 индустријских енергана опште намене, и у енергани у индустрији папира. Сва испитивања су показала да, уз коришћење правилно конструисаних горионика и подешено сагоревање, без икаквих штетних утицаја на сам технолошки процес и без угрожавања животне средине продуктима сагоревања, отпадне гуме (уситњене, или целе) могу бити коришћене као додатни енергент. Обично, отпадне гуме се тада додају у количини од око 20% у билансу ослобођене енергије, али се могу користити и као једино гориво, чиме постају важан индустријски енергент. У индустрији цемента која важи за највећег потрошача отпадних гума као алтернативног енергента, цена адаптације ротационе цементне пећи за коришћење отпадних гума креће се до максимално милион долара, а инвестиција се враћа за око годину дана због значајних уштеда у основном гориву (природном гасу, петрол коксу, итд), и велике разлике у ценама отпадних гума и примарног горива [23].

4.1.5. Остали начини рециклаже

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 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 [17].

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 складиштити. 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.

Уколико је гума толико деградирана да не може да се регенерише, најбоља стратегија је рециклирање. Данас се на тржишту може пронаћи велики број производа направљених од рециклиране 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.

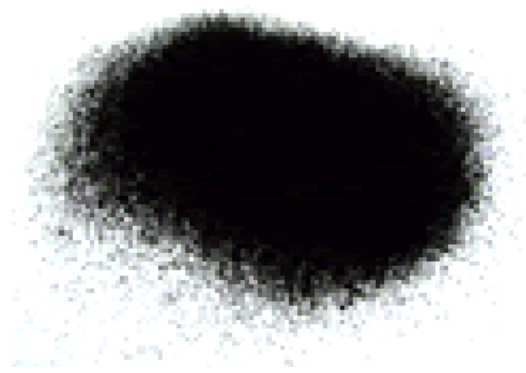
Процесом се такође од гуме одвајају челик и влакна. Челик се издваја помоћу магнета, а влакна често издувавањем из гранулисане гуме. Гранулисана гума интересантна је за поновну производњу ауто-гума - 15 процената рециклиране гуме у свежој гуми обезбеђује неколико предности у производном процесу. Неки 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.

4.2. Могућност примене рециклиране гуме

Физичке карактеристике гуме, 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 смесе, 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.



Слика 20. Рециклирани материјал – сечени пнеуматици



Слика 21. Рециклирани материјал - прах



Слика 22. Рециклирани материјал - комадићи



Слика 23. Рециклирани материјал - гранулат



Слика 24. Рециклирани материјал - шред



Слика 25. Рециклирани материјал – грађевинске бале

Неке од примена рециклиране гуме су: звучне рампе, насипи, ивичњаци, саобраћајни стубови (слика 26. [7]), дренаже, топлотна изолација у путевима и зградама, подлога (душеци) за стоку (слика 28. [22]), облоге за подове (слика 29. [14]),, кровни материјал, облоге на спортским теренима, подне облоге за дечија игралишта (слика 27. [8]), гумени асфалт, ђонови за ципеле, спортска опрема, изолациони материјал за облагање кровова, аутомобилски делови, пигменти, мастила, пунила итд [5].



Слика 26. Паркинг ивичњаци, стубови



Слика 27. Подлога за дечије игралиште



Слика 28. Подлога за краве



Слика 29. Подне облоге

5. Законске регулативе

Чињеница да је за разградњу једне аутомобилске гуме потребно чак 150 година довољно говори о томе колико еколошко загађење може да изазове неадекватно поступање са овом врстом отпада. И поред законских регулатива којима је строго прописан начин одлагања и складиштења, милијарде гума заврши на илегалним или напуштеним сметлиштима. У развијеним земљама света сваке године одбаци се у просеку по једна стара гума по глави становника. Прерачунато у бројке, то је више од милијарду старих аутомобилских гума за годину дана. У Србији новостворене количине гуменог отпада достигле су цифру од 26.000 тона годишње.

Уредбом о одлагању отпада забрањено је складиштење старих ауто-гума на депонијама, а сакупљање отпадних гума врши се на прописан начин. Њихово одлагање обавља се у складишту отпадних гума које може бити затворено или отворено и које има опрему за утовар и истовар. Такође, мора да има систем за заштиту од пожара, у складу са посебним прописом. Ако су правилно депоноване, отпадне гуме не изазивају загађење земље, воде нити ваздуха. Међутим због лаке запаљивости и уколико се не поступа у складу са прописима, често смо сведоци акцидентних ситуација. Дим који настаје паљењем гума садржи токсичне материје које представљају опасне загађиваче ваздуха. У остатку сагоревања у виду уљасте течности налазе се отровне хемикалије које могу да контаминирају земљиште и воду. Друга опасност која прети од нагомиланих гума је ширење заразних болести. Наиме, вода која се сакупља и задржава у унутрашњости гума представља погодну средину за размножавање комараца па се у близини депонија често региструје повећан број оболелих од болести које преносе ови инсекти [23].

Према информацијама на сајту Института за стандардизацију Србије, постоји 271 документ о националним техничким регулативама и 225 стандарда који помињу или описују особине сировина које се користе у производњи гума и пластике и производа од њих. Неки од ових докумената су у фази ажурирања, прилагођавања или чак и повлачења из употребе да би се ова област уредила у складу са међународном праксом.

Осим хоризонталних законодавних и стратешких докумената, за производњу производа од гума од посебне су важности документа која регулишу статус и третман ових производа током саме производње и продаје, али и након истека њиховог животног века, односно третман отпада и употребу рециклираног отпада као ресурса нове производње.

Кроз процес европских интеграција Република Србија свој законодавни и стратешки оквир треба да усклади са циљевима политика животне средине ЕУ – Поглавље 27. Србија је постигла одређени напредак у усаглашавању политика и законодавства са правним тековинама ЕУ, укључујући области отпада, заштите природе и климатских промена. Србија је побољшала своје стратешко планирање и основала Зелени фонд Републике Србије, а то су и биле кључне препоруке из 2015. године. Идеја увођења Зеленог фонда је, да по европском принципу „загађивач плаћа”, а да се из овог Фонда долази до средстава за заштиту животне средине.

Такође, Република Србија има усвојену Стратегију управљања отпадом од 2010 – 2019. године која наводи релевантне Директиве ЕУ везане за третман отпада са којима Република Србија треба да усагласи своје прописе, као што су:

- Директива Савета 99/31/ЕС о депонијама – која има за циљ да се увођењем строгих техничких захтева редукују негативни ефекти одлагања отпада на животну средину, нарочито на земљиште, подземне и површинске воде, као и ефекти на здравље становништва.
- Директивом се дефинишу категорије отпада, класе депонија и начин третирања отпада пре одлагања; забрањује одлагање на депонијама: течног отпада, запаљивог или изузетно запаљивог отпада, експлозивног отпада, инфективног медицинског отпада, старих гума и других типова отпада; захтева смањење одлагања биоразградивог отпада и успоставља систем дозвола за рад депонија.
- Директива Савета 2000/53/ ЕС о истрошеним возилима - успоставља мере за превенцију настајања отпада од истрошених возила тако што стимулише сакупљање, поновну употребу и рециклажу њихових компонената (батерије, гуме, акумулатор, уља) у циљу заштите животне средине.
- Директива 2000/76/ЕС о спаљивању отпада, Директива 2006/12/ЕС о отпаду и Правилник о управљању отпадним гумама у складу са техничким смерницама Базелске конвенције за идентификацију и управљање отпадним гумама .

Највећи утицај на сектор производње производа од гуме има Закон о управљању отпадом из 2016. године који утврђује правну основу за спровођење циљева Стратегије и усклађивање са актуелним правним оквиром ЕУ. Најзначајнији циљеви овог закона за индустрију гуме и пластике су: да се обезбеде и осигурају услови за превенцију настајања отпада, посебно развојем чистих технологија и рационалним коришћењем природних богатстава, те поновним искоришћењем и рециклажом отпада, издвајањем секундарних сировина из отпада и коришћењем отпада као енергента. Закон сврстава отпадну гуму у посебне токове отпада, посебним чланом дефинише отпадну гуму и прописује управљање отпадним гумама и уређује начине финансирања и коришћења средстава за финансирање управљања отпадним гумама [6].

Иако је законски регулисан начин одлагања гуменог отпада у Србији не постоји прецизан податак о количини аутомобилских гума које се тренутно налазе на сметлиштима, зеленим површинама, у коритима река, поред путева, приватним поседима у шумама и у близини индустријских зона.

6. Рециклажа гуме у свету и у Србији

Сједињене Америчке Државе

У САД-у одлагање искоришћених пнеуматика је дозвољено када не постоји тржиште искоришћених пнеуматика на економски прихватљивој удаљености. Бројни фактори, укључујући трошкове транспорта и ограничена количина половних гума, онемогућавају постојање тржишта на неким локацијама. Разумљиво је да је у областима где је ово случај, одлагање на депоније најлогичније и најисплативије решење. Ипак, одлагање на депонију треба сматрати последњом опцијом, а не тржиштем. Од 1994. године, употреба специјализованих депонија (депоније које су предвиђене за само једну врсту отпада) је, на неким локацијама, постала истакнутија као начин управљања половним пнеуматичима. Теоријски се половни пнеуматичи са специјалних депонија могу искористити када се побољша тржиште за материјале добијене из пнеуматика. Отежавајућа околност је то да ће пнеуматичи са специјализованих депонија морати да се надмећу и са годишње генерисаним половним пнеуматичима, као и са осталим пнеуматичима који постану расположиви за тржиште из програма за редукцију отпадних пнеуматика. Три највећа тржишта отпадних пнеуматика су гориво од пнеуматика, производи који садрже рециклирану гуму и грађевинске апликације. Постоје две врсте мање примене отпадних пнеуматика које не спадају у уносне делове тржишта: извоз и пољопривреда [10].

Канада

Све канадске провинције, сем Онтарија и Њуфаундленда, спроводе програм којим се регулише руковање са отпадним гумама. Провинције награђују доносиоце отпадних гума са 2 до 4 долара по гуми. Гуме се затим шаљу назад до продавца. На овај начин се обезбеђује 90% отпадних гума за рециклирање или регенерацију енергије утрошене у њихову производњу.

Јужна Кореја

У Кореји су сами произвођачи одговорни за рециклирање отпадних гума. Произвођачи су окупљени у удружења која се одговорна и за прикупљање и за рециклирање.

Нордијске земље

Слично Кореји, Шведска и Финска донеле су 1995. и 1996. године уредбе којима се од произвођача захтева да прикупљају и рециклирају отпадне гуме. Програм је покренут са намером да се успостави национални систем за прикупљање и рециклирање 80-90% отпадних гума. Снабдевачи аутогума основали су непрофитне организације, са задатком да воде све операције прикупљања и рециклирања гума. Организације се финансирају кроз додатак на цену гуме који плаћају купци. Исти режим “опорезивања” важи и за увозне гуме, односно стране компаније [11].

Европска унија

Године 1994. основана је народна организација ЕТРА (Европско удружење за рециклажу пнеуматика) са седиштем у Бриселу, која је од почетних 19 чланова из пет држава порасла на око 250 чланова у 46 држава. Ради се о свим државама ЕУ и бројним државама са свих континената. У периоду од 2004. до 2005. године у Европи је рециклирано скоро 1.000.000 тона аутомобилских и камионских пнеуматика. Развој рециклаже пнеуматика у периоду од 1992. до 2005. године, бележи стабилан раст рециклирања од 1992. године, када је 62% пнеуматика одлагано на депоније и само 5% материјално рециклирано, до 2005. године, када је 62% или материјално рециклирано или искоришћено за добијање енергије. 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 12% целих гума се подвргава минималној преради, као што је балирање, одстрањивање жица или бокова, или једноставно сечење итд., за разне примене. 76% пнеуматика сакупљених за рециклажу се прерађује у три различите категорије материјала: шред/комадићи, гранулат и прах. На три велика тржишта и неколико мањих црних тржишта доследно се конзумира скоро 90% произведеног материјала. Нова црна тржишта, од којих многа имају капацитет примене високо софистицираних материјала, почињу да се развијају, мада веома споро. До сада су производња и употреба одржале релативно уједначен темпо. Генерално, било је неке експанзије у нове области и постоје јаке индикације да овај шаблон може да се настави, посебно као нова стратегија превенције настанка и рециклаже отпада, али потребно је још времена [4].

Србија и Крагујевац

О количини отпада од гуме, који првенствено чине отпадни пнеуматици, у Републици Србији не постоје тачни подаци. Чињеница је да велики број гума из вулканизерских радњи, транспортних предузећа, рудника итд., завршава у природи, на дивљим и комуналним депонијама, у шумама, а познато је да у приобаљу Дунава велики број гума завршава у реци. На званичним и 'дивљим' депонијама постоје велике количине ове сировине. Процењује се да на депонији отпадних гума у Реснику се налази око 4,5 хиљаде тона аутомобилских, камионских и аутобуских пнеуматика. Поред депоније у Реснику, позната је и депонија у Борском басену. У Београду има неколико депонија старих гума, а највећа је у Раковици, већи број гума налази се и на депонији у Винчи. На десетине мањих депонија налази се иза сваке вулканизерске радње. ЈКП 'Градска чистоћа' из Београда у оквиру погона 'Рециклажно двориште', поседује машину за сечење пнеуматика, која је почела са радом 2005. године. У предузећу 'ECOREcycling' из Новог Сада је постројење за рециклажу отпадних гума, које је прво ове врсте у Србији и чији је капацитет прераде гуменог отпада 46.000 тона годишње [12]. У цементари 'Holcim Srbija' у Новом Поповцу код Параћина, у 2006. години почела је примена отпадних пнеуматика у виду алтернативног горива. Процењено је да се годишње у Србији 'генерише' 28.000 тона гума, а да око 7.000 тона заврши у пећима 'Holcima Srbija'. Том количином се замени око 12% енергије добијене из угља. Фабрика за производњу пнеуматика и производа од гуме 'Tigar', у програму пресоване гуме, почела је са израдом производа од рециклиране гуме.

У овој фабрици је предвиђено формирање обједињеног програма у оквиру којег ће се вршити млевење отпадних гума у гранулат, који се користи у производњи наведених производа. Фирма 'Tas promet' већ неколико година извози у Немачку отпад од гумених струготина. На плацу 'Tas prometa' је ускладиштено око 20.000 тона отпадних аутомобилских, камионских и тракторских пнеуматика, пошто је у плану увођење постројења за прераду ове сировине. Предвиђа се да ће се годишње рециклирати око 9.450 тона гума, од чега ће се добити 3.600 тона челичне жице и 400 тона текстила [5].

Што се тиче града Крагујевца, једина фирма која се налази на територији града а која се бави рециклажом гуме је фирма 'Nemigum' која послује од 1994. године на територији Србије са седиштем у Горњем Милановцу, и она се поред рециклаже гуме бави и рециклажом пластике. Третманом отпадне гуме настаје гумени гранулат различитих фракција који се користи за израду спортских терена са еластичном подлогом, дечијих игралишта и подлога за вештачку траву [13].

ЈКП Чистоћа које је задужено за сакупљање отпада на територији града Крагујевца, а на основу информација које су добијене у самом предузећу, она врши откуп гума од физичких и правних лица и предаје их овлашћеном рециклеру у Новом Саду на даљи третман. Такође, на основу истраживања и информација добијених од вулканизерских радњи на самој територији града Крагујевца (јер ове радње генеришу највише гуменог отпада-пнеуматици), оне свој отпад продају фирми Шумадија сировине, по цени од 2 динара по килограму, где је ова фирма, са којом је такође ступљено у контакт, само препродавац, односно она даље отпад продаје фирмама по Србији које се баве рециклажом и прерадом гуме.

7. Предлог примера рециклаже гуме

Како је већ споменуто у претходној глави о рециклаже гуме у Србији не постоје тачни подаци, тек у неком граду постоји фирма која врши одређени третман овог отпада. Као доказ ове ситуације је велики број дивљих депонија на којима се као отпад налази велика количина гуме, претежно пнеуматика. На основу истраживања и базе расположивих података, дошло се до једног примера за решење овог проблема.

Фирма у свету која се бави овим проблемом, а до чије базе података је приступљено и која се показала као адекватан пример за предлог решења проблема рециклаже гуме у Србији је фирма из Падове, Италија „Panizzolo S.r.l.“.

Panizzolo технологије и постројења за рециклажу развијена су више од двадесет година директног искуства у сектору млевења и рафинирања металних отпадака и гума. Високе перформансе, снажне компоненте и једноставно одржавање главне су карактеристике чекића, дробилица и система за одвајање Panizzolo, водећи рачуна о уштеди енергије, времена и новца. Ова фирма производи разне машине како за рециклажу метала, електричних уређаја, тако и гуме.

Машина односно постројење која је потребна за рециклажу гуме, а ова фабрика је производије TIRE-RECYCLING PLANT (биљка за рециклирање гума) (слика 30. 31. [19]). То је постројење за рециклажу гума за теретна возила и аутомобиле, за производњу висококвалитетних гума и мрвица, које се најчешће користити као гориво за фабрике бетона и спалионице. Посторјење је састављено од PZ 2H-TYRE 1500 и сита PVM 1500. PZ 2H-TYRE 1500 је дробилица са двоструком осовином који имају широк спектар детаља који их могу учинити позданим машинама које ће моћи дуготрајно радити без бриге или сервисирања. Оштрице су израђене од посебно одабране легуре, како би се осигурали дуги животни циклуси, док је комора за резање дизајнирана за једноставну и брзу замену делова који су обично изложени трошењу и потрошњи, смањујући време застоја и осигуравајући високе перформансе. PZ2 дробилице су опремљене хидрауличком групом за пренос снаге; држач и спрежник могу се прилагодити за различите процесе за обраду, према материјалу који треба обрадити и обработити.

Ово постројење омогућава квалитетну мрвицу гуме, величине 50×50mm, и сатну производњу између 3 и 5 тона на сат, што добија значајну уштеду енергије захваљујући својим електричним моторима.

Panizzolo Group, технологије за обраду гума помажу у смањењу трошења дробљења, захваљујући специјалним легурама које се користе у лопатицама за дробљење. И дробилица и сита дизајнирани су за лако и брзо одржавање. То помаже уштеди новца због кратких и једноставних пауза у сервису. Panizzolo Group је такође гаранција када је реч о пуштању у рад и покретању. Биљка почиње са пуном радном снагом одмах након два дана [19].



Слика 30. Постројење за дробљење, односно израду гранулата



Слика 31. Унутрашњост постројења

Предлог примера је да сваки већи град у Србији (Београд, Нови Сад, Ниш и Крагујевац, за почетак) у склопу свог Јавног комуланог предузећа има једну машину за рециклирање гуме (TIRE-RECYCLING PLANT), како би приликом сакупљања отпада одмах могли да разврстају тај отпад и врше рециклажу. Гранулат који настане приликом рециклаже би се користио као гориво за фабрике бетона и спалионице (ЈКП би могао да врши продају грнулата и временом би град повратио уложена средства у ову машину, и тиме би могла да се обезбеди оваква машина и за други мањи град). Предност једног оваквог примера је то што уколико град нема довољно финансијских средстава да одвоји за овакав подухват, постоји могућност куповине половних машина за ово постројење у фирми Panizzolo, приликом које се добија гаранција фирме за исправност.

Закључак

Употреба гуме, иако није основни конструкциони материјал, због својих еластичних, изолационих и заптивних особина толико се проширила да се без ње не може замислити савремена технологија израде разних производа у свим индустријским гранама. Велики број производа израђених од гуме, који се процењује на више од 40.000, тешко је класификовати и сврстати у одређене групе.

Гума је сложени материјал добијен од каучука и разних додатака који су се користили ради процеса побољшања својстава каучука. Највећи успех је представљао додатак сумпора, што указује да гума није само смеша каучука и додатака већ да су за њено добијање потребне неке хемијске промене (вулканизација). Добро измешана смеша каучука и потребних додатака мора се обликовати различитим поступцима обраде, као што су екструзија, каландровање и поступци прераде пресовањем итд., формирати у предмет или материјал из којег ће након завршене вулканизације настати коначни гумени производ.

Вулканизација је хемијски процес спајања каучука и сумпора, при чему долази до промене својстава каучука и добијања производа са знатно бољим својствима. Након вулканизације гума добија такву комбинацију карактеристика, које остали материјали немају, па је њена примена у техници, а посебно у машинству веома значајна. Карактеристике које поседује су: велика еластичност, непропустљивост за течности и гасове, одличне електричне отпорности, добре отпорности према хемикалијама, добра отпорност према хабању итд.

Под рециклажом се подразумева поновни третман отпада ради коришћења као сировине у производњи истог или различитог производа. Најчешће коришћени начини прераде гуме су дробљење и пиролиза. Први корак код рециклаже пнеуматика је дробљење, после којег следи издвајање материјала по врстама. Према примењеној технологији и температури процеса дробљења, разликујемо две основне методе дробљења: криогено дробљење и механичко дробљење. Затим следи пиролиза која се заснива на топлотном раздвајању маркомолекула са очувањем везе између угљеника и водоника. Примена рециклиране гуме је разнолика од звучних рампи, ивичњака, топлотне изолације у путевима у зградама, преко подлога за спортска и дечија игралишта.

Према информацијама на сајту Института за стандардизацију Србије, постоји 271 документ о националним техничким регулативама и 225 стандарда који помињу или описују особине сировина које се користе у производњи гуме и пластике и производа од њих. Неки од ових докумената су у фази ажурирања, прилагођавања или чак и повлачења из употребе да би се ова област уредила у складу са међународном праксом. Највећи утицај на сектор производње производа од гуме има Закон о управљању отпадом из 2016. године који утврђује правну основу за спровођење циљева Стратегије и усклађивање са актуелним правним оквиром ЕУ.

Рециклажа гуме је у свету, у неким земљама регулисана на адекватан начин како не би дошло до загађења животне средине, док је у Србији то у успону, и процењује се да се на годишњем нивоу данас рециклира или спаљује тек половина генерисаног отпада од гума.

Литература

- [1] Владислав Ђукић, Богдан Недић: *Гума*, скрипта, Машински факултет, Крагујевац, 1998.
- [2] Бојан Симић: *Гума*, дипломски рад, Машински факултет, Крагујевац, 2006.
- [3] Доступно на: <https://www.seminarski-diplomski.co.rs/TEHNOLOSKI%20SISTEMI/Guma.html> приступљено: мај 2019.
- [4] Доступно на: <https://www.etra-eu.org/> приступљено: јун
- [5] Доступно на: <http://www.cqm.rs/2008/pdf/3/02.pdf> приступљено: јун
- [6] Доступно на: <https://privreda.gov.rs/wp-content/uploads/2019/03/6-GiP-Analiza-Stanja-Sa-SWOT.pdf> приступљено: јун
- [7] Доступно на: <https://www.svastara.rs/oglas/kuca-i-basta/razno/parking-stubovi-i-ivicnjaci-od-gume-1023573> приступљено: јун
- [8] Доступно на: <http://www.gumenipodovi.com/proizvodi/gumene-podloge-za-decija-igralista> приступљено: јун
- [9] Доступно на: https://www.gepecotech.com/special/wastetiresrecycling/?gclid=CjwKCAjwfnBRANEiwAuFxET7vnr_DGQItBNLFRbyGdOOWEdQCddcW2HLPYx74kuk5XN0pDdSNyxoCFvUQAxD_BwE приступљено: јун
- [10] Lund, H. F.: *The McGraw-Hill Recycling Handbook*, USA, 2001.
- [11] Доступно на: <http://bif.rs/2008/11/gde-zavrsavaju-stare-automobilske-gume-4/> приступљено: јун
- [12] Доступно на: <http://www.eco-recycling.rs/> приступљено: јун
- [13] Доступно на: www.hemigum.rs приступљено: јун
- [14] Александар Петровић: *Технологије обраде гуме и рециклажа*, завршни рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац
- [15] Доступно на : <https://repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit:118/preview> приступљено: август
- [16] Доступно на: <http://www.recyclingpyrolysisplant.com/uploads/allimg/140711/1-140G11H109538.JPG> приступљено: јун
- [17] Јанко Ходолич, Миодраг Стевић, Ђорђе Вукелић, Алена Зајац, РЕЦИКЛАЖА И ПРЕРАДА ОТПАДНИХ ПНЕУМАТИКА, Фестивал квалитета, 3. Конференција о квалитету живота, 2008
- [18] The Recycling Technology Assistance Partnership (ReTAP) (1996), *Best Practices in Scrap Tire and Rubber Recycling*
- [19] Доступно на: <http://www.panizzolo.it/en/switzerland-new-tire-recycling-plant/> приступљено: септембар
- [20] Sadhan K. De Avraam I. Isayev Klementina Khait (2005), *RUBBER RECYCLING*

- [21] Лазар Славковић: Пројектовање гравура алата за бризгање гуме, завршни рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2016.
- [22] Доступно на: <https://unnix.rs/product/gumeni-pod-za-farme/> приступљено: септембар
- [23] Доступно на: <https://zelenidijalog.rs/novi-zivot-starih-guma/> приступљено: септембар
- [24] Доступно на: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0367-598X/2011/0367-598X1106727S.pdf> приступљено: септембар