

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Машински елементи 2

Број индекса: 33/2017

Лазар В. Радојковић

**Примена биокомпозитних материјала у
аутомобилској индустрији
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Зорица Ђорђевић, ред. проф.

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише карактеристике биокомпозитних материјала; да наведе врсте и објасни карактеристике најчешће коришћених природних влакана; да наведе примере примене биокомпозитних материјала у аутомобилској индустрији и да анализу могућности рециклирања делова од биокомпозитних материјала.

Препоручена литература:

- [1] Obed Akampumuza, Azzam Ahmed: Review of the Applications of Biocomposites in the Automotive Industry, College of Textile Science and Engineering, Donghua University, Shanghai, November 2015.
- [2] Kurki Nagaraj Bharath, Satyappa Basavarajappa: Applications of biocomposite materials based on natural fibers from renewable resources: a review, Washington State University, Indian Institute of Information Technology Dharwad, May 2015.
- [3] Azdeh Soroudi, Ignacy Jakubowicz: Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review, Technical Research Institute of Sweden, May 2013.

Крагујевац, септембар 2020.

Ментор:

Др Зорица Ђорђевић, ред. проф.

Садржај

1. Увод.....	1
2. Биокompatитни материјали.....	2
2.1. Историја биокompatитних материјала.....	2
2.2. Синтеза биополимера	5
2.3. Полипропилен	9
2.4. Матрице	11
3. Врсте и карактеристике природних влакана.....	13
3.1. Биљна влакна (лигноцелулозна влакна).....	13
3.3. Механичка својства природних влакана	15
3.4. Врсте природних влакана	17
4. Биокompatити у аутомобилској индустрији.....	23
5. Могућност рециклирања делова од биокompatитних материјала	28
6. Закључак.....	32
Литература	33

Summary

This paper provides an insight into the application of biocomposite materials in the automotive industry, which replaces traditional materials that affect the environment. The chronological development of these materials and their application in the automotive industry are given in the composition of the paper. The mechanical and chemical characteristics of natural fibers that enable quality production are described. The paper describes specific parts of cars that are made of biocomposites. The possibility of recycling car parts made of biocomposites is of great importance both from an environmental and economic point of view.

Key words: biocomposite materials, automotive industry, recycling, environment, natural fibers.

Резиме

Овим радом је дат увид у примену биокомпозитних материјала у индустрији аутомобила, чиме се замењују традиционални материјали који утичу на животну средину. Хронолошки развој ових материјала и њихова примена у аутомобилској индустрији дати су наставку рада. Описане су механичке и хемијске карактеристике природних влакана које омогућавају квалитетну производњу. У раду су описани конкретни делови аутомобила који се израђују од биокомпозита. Могућност рециклирања делова аутомобила који су израђени од биокомпозита од великог су значаја како са еколошког аспекта тако и са економског.

Кључне речи: биокомпозитни материјали, аутомобилска индустрија, рециклирање, животна средина, природна влакна.

1. Увод

Тежња за човековим напретком и лакшим животом изискује потрагу за средствима која ће му у томе помоћи. Још у давној прошлости, људи су користили разне предмете који су били израђени од материјала који им може помоћи за конкретну делатност. Већина тих предмета било је израђено од природних материјала. Природне материјале људи су у главном користили за израду својих кућа (слика 1). Тада се први пут користе биокомпозитни материјали.



Слика 1. Кућа од природног материјала [4]

Са индустријском револуцијом дошло је до примене нових материјала у аутомобилској индустрији. Повећаном експлоатацијом нафте и повећањем броја моторних возила животна околина се загађивала и уништавала. Како се аутомобилска индустрија развијала тако су се и развијали и биокомпозити, али своју малу примену су тек имали средином 20 – ог века. Еколошка свест се нагло подигла у читавом свету, када је глобална температура порасла, као и ниво светског мора, а нафтни ресурси су се трошили неизмерно. Аутомобилска индустрија је као главни потрошач нафтних ресурса покренула развој биокомпозитних материјала. Њихова већа примена почела је 90 – тих година 20 – ог века. Тада су аутомобилске фирме за израду ентеријера и не виталних делова користили биокомпозите. Предност ових материјала јесте да смањују масу возила, а самим тим и издувне гасове CO_2 и могу да се рециклирају. Рециклирање ових материјала битно утиче на животну средину, али и на произвођаче који могу исти материјал поново употребити у својој производњи. Временом и континуираним развојем, биокомпозитни материјали ће имати све већу примену у аутомобилској индустрији услед својих механичких и хемијских карактеристика, али и због финансијске исплативости.

2. Биокompatитни материјали

Биокompatитни материјали (зелени композити) представљају продукт природних влакана и биополимерних матрица. Услед глобалног проблема у виду заштите животне средине, која се огледа у прекомерном испуштању емисије CO_2 , потрошеним ресурсима сирове нафте, проблему складиштења индустријског потрошног материјала који није биоразградив, довело је до истраживања, развоја и примене материјала нове генерације. Како се производња аутомобилске и авиоиндустрије развијала тако су се примењивали материјали мање густине, веће затезне чврстоће, веће крутости, веће жилавости, веће динамичке чврстоће, веће отпорности на корозију и оксидацију, веће тврдоће и отпорности на хабање и контролисану проводљивост и топлотну дилатацију. У почетку савремене индустрије композитни материјали су најбоље одговарали овим захтевима. Да би композитни материјали имали оваква својства они бивају ојачани влакнима, најчешће угљеника. Композити ојачани влакнима се добијају убацивањем влакна у матрицу. Матрица преноси силу са влакна на влакно, обезбеђује пластичност, жилавост и способност обликовања, док влакна преносе оптерећење. У зависности од потребе и услова рада композитни материјали могу бити ојачани стакленим, угљеничним, арамидним и борним влакнима. За израду матрица користе се метали (алуминијум, магнезијум, бакар), полимери (епоксиди, полиестри, полиамиди, силикони) и керамика. Највише се користе епоксидне смоле, а затим полиестер који је знатно јефтинији од епоксидних смола [1].

Како су композитни материјали у знатној мери заменили традиционалне материјале због извесних предности, тако услед нестајања нафтних ресурса, штетних емисија CO_2 и проблема са рециклажом, тржиште композитних материјала у великој мери бива потиснуто од стране биокompatитних материјала. Истраживањем је утврђено да својим механичким и хемијским карактеристикама одговарају потребама аутомобилске и авиоиндустрије. Биљке које се најчешће користе су: банана, лан, конопља, кенаф, сисал, бамбус итд. Додатну популарност и примену, биокompatити имају због глобалне еколошке ситуације.

2.1. Историја биокompatитних материјала

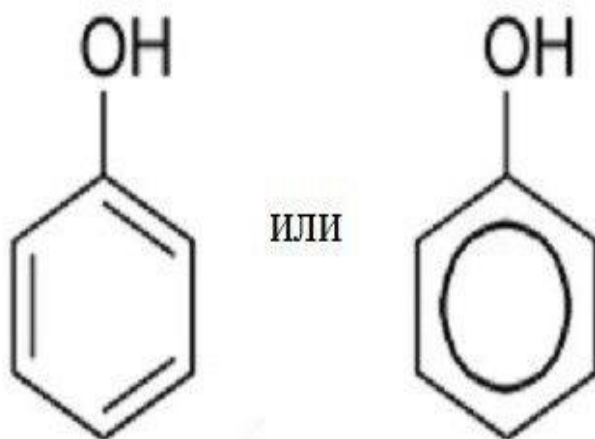
Захваљујући лако доступним материјалима као што су глина или кремен људи су могли лако да реше техничке проблеме. Промена друштвене структуре у осамнаестом и деветнаестом веку помогла је народу нижег сталежа да дође до композитних материјала који су до тада били за њих неприступачни. Биолошки материјали су имали своју примену у виду мешавине ланеног уља и плуте у праху на платненој основи као подлога у кући уместо дрвених подова. Први технички одржив композитни производ био је

вулканизовани природни каучук, тврда гума звана ебонит, која је заменила корњачину шкољку (слика 2).

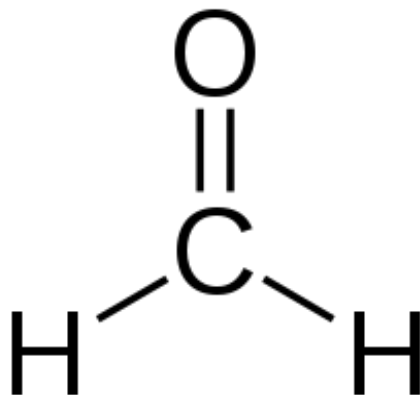


Слика 2. Предмет израђен од ебонита [2]

Ова фаза модификованих деривата природних материјала направљених од казеина, целулозе и природног каучука, представља први синтетички производ бакелит. Бакелит је добио назив по белгијском хемичару Леу Хендрик Бакеланд, који је 1872. године пронашао овај полимер који се састоји од карболне киселине (фенола) и формалдехида (слика 3 и 4). Бакелит је био први термореактивни материјал (слика 5). Овај материјал се први пут користио као топлотни и електрични изолатор [2].



Слика 3. Структура фенола [3]



Слика 4. Структура формалдехида [5]



Слика 5. Поче бакелита [6]

И ако је проналажење ренесансног материјала покренуло нова истраживања у правцу биокомпозитних материјала, ова фенолна смола у почетку није имала ниједну практичну примену. Овај материјал је 1920-те и 1930-те послужио као основа за развој нових синтетичких термопластичних материјала. Француски микробиолог Maurice Lemoigne је 1925. године први објавио своје запажање које се односи на синтезу биополимера. Он је описао полихидроксипутират (ПХБ) од којег се праве биопластични материјали који се користе у медицинске сврхе [2].

Без обзира на потенцијал, предности и мане, у последњих неколико десетина година биокомпозити бивају потиснути од стране петрохемијских полимера. Један од разлога је тај што је производња базирана на сирову нафту, чија је експлоатација и прерада била поузданија и економичнија. Последице тога огледају се у термопластици која је одликована слабијим перформансама, док термосети поседују високе перформансе. Сходно томе, у одређеним областима техничке примене, најпогоднији термопластични

композит је полипропилен ојачан стакленим влакнима. Однос трошкова и перформанси је такав да овај материјал сврстава у један од најпогоднијих материјала.

Нажалост, технологија која се користи до данас за произвоњу термосета не поштује правила и прописе о заштити животне средине. Због тога су инжењери и истраживачи у целом свету фокусирани на проналажењу и научном испитивању нових композита који потичу из обновљивих извора енергије и биоразградиви су. У прилог томе су објављене многобројне стручне публикације и извештаји о „зеленим“ материјалима и природним влакнима.

Након 2000-те године број патената и извештаја који се односе на композитне материјале засноване на биоразградивим лигноцелулозним влакнима значајно је порастао. Највећа индустрија у којој се користи овај материјал је аутомобилска индустрија. У претходних неколико година, употреба биокомпозитних материјала у аутомобилској индустрији порасла је чак 50%. Овај пораст показује да се свест о штетности угљен диоксида подигла и да произвођачи морају да користе „зелене“ материјале, рециклирају их, а затим поново користе. Повећани значај обновљивих ресурса и сировина која се рециклирају и биоразградива су на крају свог радног века захтевају прелазак са синтетичких материјала израђених од нафте на природна влакна и биополимере и то не само у аутомобилској индустрији већ у свим индустријама, које својом производњом и коришћењем утичу на животну средину. Као резултат повећане еколошке свести купаца, расте тржиште производа заснованих на обновљивим изворима енергије [2].

Ова еколошка мотивација као резултат је дала развој стандарда који одређују проценат биолошког порекла производа. У неким земљама је уведена сертификација и стандардизација производа која се базира на биолошкој основи. Неке од тих земаља јесу Белгија (2009. године), Немачка (ДИН 2010. године), САД (2011. године). Због стандардизације, биоразградиви материјали постали су занимљива и привлачна алтернатива стаклу и другим полимерним композитима израђеним од нафте ојачаним влакнима. Да би се примена биокомпозитних материјала повећала потребна су додатна истраживања због решавања проблема и превазилажења апсорције влаге и повећања радног века. Савремени биокомпозитни материјали који су висококвалитетни, јачи, јефтинији и еколошки прихватљиви ускоро би требало да добију већи примат у индустрији услед одобравања и препорука од стране хемијских, физичких и инжењерских научника [2].

2.2. Синтеза биополимера

Полихидроксибутират је најпознатији представник полихидроксиалканоата (ПХА). Полихидроксиалканоати су полиестри који су део грађе живих организама, спадају у биополимере, хидрофобни су и не растварају се у води.

Бактерије производе такве полиестре како би сачувале енергију и угљеник. Целокупни биохемијски пут синтезе у фазама спроводе више ензима у низу реакција. ПХА којег синтезују врсте *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Halobacterium*, *Haloferax*, *Rhizobium* као и многи други микроорганизми, могу се производити у великим биотехнолошким количинама, из обновљивих супстрата. Целокупни биохемијски пут синтезе у фазама спроводе више ензима у низу реакција. Они се уз помоћ ферментације и познатих физичких и хемијских процеса екстратују из биомасе након производње. Зависно од бактерија и извора угљеника, произведени полихидроксиалканоат може бити од крте и круте пластике до гуменог полимера. Имају слична својства као пропилен и полиетилен, што значи да су еластични и термопластични [7].

Хомополимер који се највише примењује јесте ПХБ, односно поли – 3 – хидроксибутират. Бактерије производе полихидроксибутират надовезивањем растворљивих мономера уз помоћ ензима ПХБ, полимеризацијом и припремом полимерног производа у грануле које нису растворљиве у води. Полимер се у гранули може брзо разградити и ти делови се могу користити за енергију или синтезу. Познавање начина настајања гранула ПХБ и услова под којим настају јако је битно за успешну производњу у комерцијалним количинама. Хомополимер ПХБ је доста крт, ломљив и термички нестабилан. У комбинацији са полихидроксивалератом (ПХВ) добија се чврст кополимер ПХБВ који се комерцијално производи под називом биопол [7].

Проблем производње ПХА је чињеница да су у већини случајева трошкови производње већи него код конвенционалне производње полиестера, па је самим тим продуктивност ниска. Биотехнолози би требали усавршити нове начине производње на јефтиним изворима угљеника и кисеоника. Такви извори могу бити доступни као пољопривредни отпад или вишак из неке индустрије.

У индустријском биотехнолошком поступку, хидролизом примарних неодређених сировина (скроб, целулоза, протеини, масти и уља) добија се супстрат (храна) за микроорганизме (бактерије, филаментозне гљивице или квасце) који ферментацијом производе различите биополимере. Производња ПХА из јефтиних извора угљеника (отпада или вишка из неке индустрије) је неопходна због тога што 50% трошкова процеса ферментације отпада на цену извора угљеника, а 50% је потребно за одвајање и прочишћавање коначног производа [7].

Полихидроксиалканоати су разградиви у микробиолошком активном окружењу. Пример ове разградње јесте компаст, који представља органску материју разграђену аеробним путем. Компост служи као средство за раст или као порозни, апсорпциони материјал, који задржава влагу и растворне минерале, пружајући заштиту нутријентима неопходним за напредовање већине биљака. Да би се убрзао раст биљака, понекад је неопходно разблажити компост сједињујући га са земљом или тресетницом, ради редукције салинитета, додају се неутрализатори ради достизања $pH = 7$. Примарни циљ

овог процеса је да се задржи што више разградивог материјала, како не би завршио на отпаду (слика 6).



Слика 6. Компост у настанку [8]

Постоји више врста компоста, неки од њих су браон и зелени биоразградиви компости који се мешају са баштенском земљом. Браон отпад се односи на материјале богате угљеником, као што су слама и картонске кутије. Зелени отпад се односи на биоразградив отпад богат азотом, који се брже распада, као што су љуске од воћа и поврћа, талог од кафе, посечено цвеће. Због забринутости за све већу површину коју заузимају депоније, интересовање за рециклирање, у смислу компостирања, је почело да расте и постало широко прихваћен процес превођења неразградивог отпада биолошког порекла, у стабилне, санитарне продукте корисне у хортикултури.

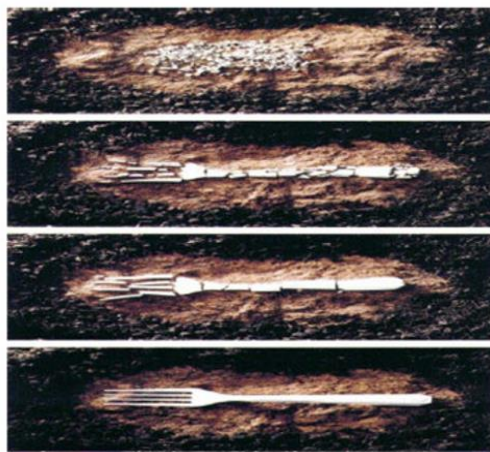
Материјали погодни за компаст:

- Биоразградив отпад,
- Талог од кафе,
- Кокосова љуска,
- Зелени отпад,
- Компост од гљива,
- Поврће,
- Воће.

Неоргански адитиви су:

- Плодна земља,
- Ситан песак,
- Уреа,
- Вермикулит,
- Перлит (термомалтер).

Микроорганизми нападају ПХБВ тако што луче ензим ПХА и преко деполимеризације растављају полимер на основне мономере хидроксibuтират (ХБ) и хидроксивалерат (ХВ). Разградња ПХБВ у биолошком контролисаном окружењу може бити доста брза и траје 45 дана (слика 7).



Слика 7. Биоразградња ПХА [7]

ПХА се не може изоставити у медицини (хирушки шавови, мрежица), паковању производа (боца за шампоне и другу козметику), производњи рибарских мрежа од биополимера.

Могућност генетичке промене особина микроорганизама који врше синтезу ПХА, довешће до производње полимера жељених особина. Гени задужени за синтезу ПХА су већ изоловани и клонирани тако да научници могу направити биополимере специфичних и побољшаних карактеристика. Повећањем производње различитих биополимера омогућава и њихово међусобно укрштање које за циљ има стварање жељених карактеристика [7].

Синтеза жељеног полимера потстакнута је убацивањем синтензованог гена у биљку која подстиче сакупљање полимера. Истраживачи су покушавали са дуваном и шећерном трском. Овако произведени биополимери су јефтинији од биополимера произведених

помоћу микроорганизма, јер нема процеса екстрације шећера (која би служила као храна за микроорганизме) и ферментације. Овом методом комерцијалне производње ПХА може се смањити цена на тржишту. Мада, овај процес још увек није достигао успон, због полемике која се тиче енергетске и еколошке прихватљивости у односу на остале процесе (не користе се отпадне сировине као за микробиолошку производњу).

2.3. Полипропилен

Полипропилен је линеарни угљоводонични полимер, који спада у групу засићених полимера и представља тврди термопластични полимер. Може се дефинисати као макромолекуларни продукт полимеризације пропилена. Долази у облику белог или провидног прашка или гранула, али може бити и обојен (слика 8). Полипропилен је један од најзаступљенијих материјала за производњу предмета од пластике. Користи се за производњу најразличитијих предмета, од производње влакана па све до производње предмета за широку потрошњу.



Слика 8. Грануле полипропилена [9]

Овако широку примену има захваљујући добрим физичко-хемијским особинама које се могу подешавати додавањем различитих врста адитива. Особине које га одликују су: умерена еластичност, добра тврдоћа, добра отпорност на замор материјала и на удар, отпоран је на хемикалије и на топлоту, заварљив материјал. Производња полипропилена може да се одвија на неколико различитих начина, чија је заједничка особина да се мономер пропилен излаже топлоти и притиску уз присуство катализатора [10].

Полимеризација се одвија при релативно ниским температурама, при чему се добија безбојан или благо обојен полипропилен. У зависности од употребљеног катализатора и услова приликом полимеризације могу се добити различита својства добијеног

полипропилена. Полипропилен нема проблеме са пуцањем приликом напрезања и нуди одличну електро и хемијску отпорност.

Особине овог материјала су сличне особинама полиетилена, али такође постоје и специфичне разлике. Најбитније разлике су мања густина, већа чврстоћа и тврдоћа као и виша тачка топљења (око 160°C, док се полиетилен топи на око 100°C). Адитиви који се користе приликом производње свих комерцијалних врста полипропилена имају задатак да заштите полимер приликом производње и побољшају особине коначног производа. Адитивима се може решити и проблем деградације и уништавања макромолекула приликом излагања полипропилена UV зрачењу [10].

Најважнији материјал за индустрију постао је термоактиван композит. Ови материјали образују се тако што се дуги молекулски ланци унакрсно умрежавају по тродимензионалном распореду, тако да добијена структура постаје један велики молекул са веома јаким ковалентним везама. Процес полимеризације се изводи у две фазе. Прво се добијају делимично полимеризовани молекули у линеарном распореду, који се затим истовремено обликују и умрежавају само загревањем или загревањем и притиском или хемијским реакцијама на собној температури. За разлику од термопластичних, термореактивни пластични материјали не могу при поновном загревању ни да се обликују (деформишу) ни да се претапају, што је велики недостатак ових полимера, јер отпаци из производње не могу поново да се користе. Предности ових материјала су: добра механичка својства, велика отпорност према пузању и деформацији, висока термичка и хемијска стабилност, добри електрични и топлотни изолатори [10].

Најважнији термоактивни пластични материјали су:

- Фенолне смоле,
- Уреа и меламинске соли,
- Епоксидне смоле,
- Полиестри.

Овај материјал је своје добре карактеристике показао у многим индустријама и има примену већ дуже време. Неке од индустрија у којима се користи јесу наутичка индустрија (израда бродова, чамаца, глисера, јахти), ваздухопловство, наоружање, а највише у аутомобилској индустрији.

2.4. Матрице

Композитни материјали који су ојачани природним влакнима, имају матрицу која има улогу да држи влакна заједно, како би пренела оптерећење на њих, штитила од механичких оштећења и хемијских утицаја, спречила ширење кртог лома од влакна до влакна. Матрица најчешће садржи термопластични или термоотпорни полимер, као што је полиетилен, односно незасићени шећер.

Полиетилен је макромолекуларни, термопластични полимер састављен од хидрокарбонских ланаца. Зависно од молекуларне тежине тачка топљења полиетилена може варирати. У зависности од типа полимера тачка топљења полиетилена износи, за полиетилен високе густине од 120 до 130°C, а за полиетилен ниске густине од 105 до 115°C [2].

Полиетилен има високу хемијску отпорност, тако да раствори јаких киселина и база не утичу на њега. Такође је отпоран и на благе оксидансе. Полиетилен сагорева плавим пламеном и има благи мирис парафина. Приликом сагоревања полиетилен капље.

Полимеризација етилена врши се додавањем катализатора. За добијање полиетилена се користе два индустријска поступка:

- Синтеза под високим притиском,
- Синтеза под ниским притиском.

Полиетилен налази велику примену за широку потрошњу. Велики број врста полиетилена је нешкодљив па има широку примену у прехранбеној индустрији. У облику пене се користи за ублажавање вибрација и изолацију. Полиетилен плута, тако да се користи и у наутици. Такође се користи за производњу делова за намештај, делова рачунара, електронских компоненти, производа за употребу у спорту, одећу, саобраћајних знакова, кугли за куглање, цеви под притиском [11].

Производња биокompозита захтева да се матрице праве од обновљивих извора, али због тренутне технологије, у комерцијалној производњи биокompозита доминира синтетичка термопластика и термосетови. Због тога су полипропилен и полиетилен нашли широку примену у композитима од дрвета и пластике. Такви термопластични биополимери који су развијени првенствено за индустрију амбалаже немају својства материјала да задовоље потребе матричног система за друге влакнасте композитне материјале .

Материјали од којих се праве најчешће матрице за полимерне материјале су:

- Епоксидне смоле,
- Полиестер,
- Полиетарсулфани,
- Полиамиди,
- Силикони.

Матрица мора бити довољно крута и мора бити у одређеној мери отпорна на ширење прслине. Контакт између влакна и матрице мора бити довољно чврст како не би дошло до одвајања приликом оптерећења. Карактеристике које матрица поседује јесу добра комбинација чврстоће, крутости и мале масе, добра отпорност на пузање и на замор, губе чврстоћу при релативно ниским температурама [11].

3. Врсте и карактеристике природних влакана

Пољопривредни отпад се може користити за припрему полимерних композита ојачаних влакнима за комерцијалну употребу и има маркетиншку привлачност. Постоји широк спектар природних влакана и они се могу сврстати у три групе:

- Биљна (лист, семе, дрво, стабљика траве),
- Животињска (свила, длака, вуна),
- Минерална (азбест).

Највише се корисе биљна влакна, због својих механичких и хемијских особина.

3.1. Биљна влакна (лигноцелулозна влакна)

Лигноцелулозна влакна се састоје од три хемијске супстанце (табела 1):

- Целулозе,
- Хемицелулозе,
- Лигнина.

Табела 1. Садржај целулозе, хемицелулозе и лигнина у природним влакнима [12]

Природно влакно	Целулоза (%)	Хемицелулоза (%)	Лигнин (%)
Јута	61 – 63	13	5 – 13
Банана	60 – 65	6 – 8	5 – 10
Кокос	43	<1	45
Лан	70 – 72	14	4 – 5
Лист ананаса	80	-	12
Сисал	60 – 67	10 – 15	8 – 12
Дрво	45 – 50	23	27
Конопља	70 – 78	18 – 19	4 – 5

Целулоза је полисахарид који представља главну структурну компоненту природних влакана. Целулоза је хидрофилна и има око 10000 степени полимеризације која варира у зависности од влакна. Овај полисахарид се налази у свим биљкама и чини њихову структуру комплетном. Шећер који се ствара у лишћу топи се у биљном соку и „храни“ целу биљку. Већи део одлази у делове у којима се биљка развија и расте, док се остатак шећера претвара у целулозу која изграђује зидове ћелија и самим тим представља главни материјал за израду биљних ткива. Целулоза се може разградити хемијским путем, али је такође отпорна на оксидациона и алкална средства [13].

Хемицелулоза је друга главна структурна компонента влакана. Она представља најраспрострањенији хетерополисахарид који се уз целулозу налази у свим биљкама. Хемицелулоза се у биљци не налази у облику фибрила, иако је линеарни молекул. За разлику од целулозе, хемицелулоза је више растворљива [13].

У зависности од порекла и на основу састава, хемицелулоза се дели у три групе:

1. Ксилани,
2. Глукомани,
3. Галактани.

Ксилани се обично сусрећу као пратиоци целулозе листопадног дрвећа и једногодишњих биљака. Са тим у вези могло би се рећи да су од свих хемицелулоза ксилани највише присутни и у влакнима конопље, јер се она добијају из истоимене једногодишње биљке.

Глукомани се најчешће појављују у четинарима, поред других хемицелулоза и лигнина. За разлику од ксилана, који због садржаја уронских киселина имају кисео карактер, глукомани су неутрални.

Галактани су хемицелулозе које се сусрећу у четинарима (највише у дрвету ариш). Глукомани као и галактани припадају групи неутралних хемицелулоза и уз то су растворни у води [13].

Лигнин је природни композитни материјал и налази се у биљним ткивима, у посебном виду комбиновања са хемицелулозама, дајући биљним влакнима јачину. Лигнин је аморфно, ароматично, хетерогено једињење које се не раствара у води. Његова структура је тродимензионална, а сматра се и полимерним јединењем са мноштвом попречних веза, чија је вискозност веома ниска. У основи лигнина налазе се три мономерне јединице:

- Кониферил алкохол (најчешће присутан у четинарима),
- Синапил алкохол,
- П – кумарил алкохол.

Међусобни однос количина ових мономера варира у оквиру структуре лигнина. Мономерне јединице се међусобно везују преко фенолних крајњих група у растућем полимеру лигнина, при чему се не мешају са другом врстом бочних функционалних група. У том смеру у структури лигнина се не понављају истоветне хемијске везе.

Реактивност лигнина се огледа у његовој хемијској способности да реагује са: хлором и једињењима хлора, водом, водоник пероксидом, као и алкалним растворима, када се налази у основном облику. Процеси којима се уклања лигнин из биљних влакана, засновани су управо на реактивности лигнина са топлим алкалним растворима. Међутим, лигнин је само делимично растворан у топлим алкалним растворима, када се ради о његовом основном облику. За разлику од основног облика, хлоровани и оксидисани продукти лигнина, се далеко боље растварају у топлим алкалним растворима [13].

3.3. Механичка својства природних влакана

Познавањем механичких својства неког материјала (табела 2) омогућава произвођачу да предвиди квалитет производа као и његов радни век. Биљна влакна поседују одређене предности у односу на стаклена влакна, тако да у неким индустријама су узеле примат у избору материјала. Батан фактор у избору биљних влакана јесте цена, која је нижа од 25% до 50% у односу на стаклена влакна, док је разлика у механичким својствима мала. Коришћењем биљних влакана маса производа се смањује док механичке карактеристике остају исте. Пример који потврђује разлику у маси јесте панел за аутомобилска врата. Панел који је израђен од биљних влакана има масу од 5 kg док панел израђен од стаклених влакана, уз исте карактеристике, тежи 9 kg (слика 9) [12].



Слика 9. Панел врата израђен од природног влакана [12]

Због мање густине (образац 3.1.), делови су лакши тако да аутомобил мање троши гориво и самим тим мање загађује околину [14].

$$\rho_c = V_m \cdot \rho_m + V_v \cdot \rho_v \quad (3.1.)$$

V_m – запремински део матрице,

ρ_m – густина матрице,

V_v - запремински део влакна,

ρ_v – густина влакна.

Образац за модул еластичности чија оптерећења делују у правцу непрекидних и једносмерних влакана (образац 3.2.) [14]:

$$E_c = V_m \cdot E_m + V_v \cdot E_v \quad (3.2.)$$

V_m – запремински део матрице,

E_m – модул еластичности матрице,

V_v – запремински део влакна,

E_v - модул еластичности влакна .

Код оптерећења која делују управно на влакна, образац има другачији облик (образац 3.3.) [14]:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_v}{E_v} \quad (3.3.)$$

V_m – запремински део матрице,

E_m – модул еластичности матрице,

V_v – запремински део влакна,

E_v - модул еластичности влакна.

Чврстоћа код биокмпозита зависи од везе између влакна и матрице (образац 3.4.). Добијена експерименталним путем, затезна чврстоћа је увек мања од претпостављене вредности затезне чврстоће. Разлика у вредностима се добија зато што је затезна чврстоћа ограничена деформацијом матрице која преноси оптерећења [14].

$$R_{mc} = V_m \cdot R_{mm} + V_v \cdot R_{mv} \quad (3.4.)$$

V_m – запремински део матрице,

R_{mm} – затезна чврстоћа матрице,

V_v – запремински део влакна,

R_{mv} – затезна чврстоћа влакна.

Табела 2. Механичка својства природних влакана [12]

Природно влакно	Затезна чврстоћа (MPa)	Издужење до прекида (%)	Јангов модул (GPa)
Јута	200 – 800	1,16 – 8	10 – 55
Банана	529 – 914	3	27 – 32
Кокос	106 – 175	14,21 – 49	4 – 6
Лан	150 - 300	1,3 – 10	24 – 80
Кенаф	119 – 295	3,5	2,86
Лист ананаса	162 – 170	2,4	60 – 82
Сисал	80 – 840	2 – 25	9 – 38
Конопља	310 – 900	1,6 – 6	30 – 70
Рамија	348 – 938	1,2 - 8	44 – 128

Проблем који се јавља код природних влакана је апсорција влаге. Влага утиче на перформансе производа као и на радни век.

3.4. Врсте природних влакана

Конопља садржи висок проценат целулозе и низак проценат лигнина и као таква је склона великој апсорцији влаге. Због положаја хидроксилних група на површини влакана лан и конопља имају ману у виду повећане хидрофилности. Ово се решава разним хемијским третманима влакана. Један од најбољих третмана је алкализација натријум хидроксида. Ако се упореде стаклена влакна са влакнима конопље може се видети да маса влакана конопље представља 58% масе стаклених влакана. Затезна чврстоћа влакана конопље је за 30% нижа, док је модул еластичности за око 75% већи од стаклених влакана. Треба напоменути за модул еластичности да се подаци из различитих извора доста разликују, па се може рећи да је стварни модул еластичности нешто нижи [15].

Конопљи одговара европска клима (слика 10). Проблем у узгоју и преради конопље представља закон, који захтева од произвођача посебне дозволе, плантаже морају бити ограђене и опремљене, као и унапред потврђену поруџбину за одређену количину. Ова ограничења су настала због забране узгајања марихуане и канабиса. Све већи број научних радова доказују предности и добар квалитет биокompatibilita и представља наду за већом производњом ових материјала и природних влакана међу којима је канабис јако популаран.



Слика 10. Индустијска конопља [16]

Механичка својства доста зависе од пречника влакна и температуре обраде. Затезна чврстоћа влакана **јуте** може да се креће у распону од 330 МПа за пречник влакна од 53,2 μm до 1210 МПа за влакна чији је пречник 19,6 μm . Као и код конопље, јута има наклоност апсорпцији влаге услед порозности влакна, што неповољно утиче на ојачање полимерних матрица. Када влакна упију влагу она се надују, али када влага испарава запремина влакана се смањује што доводи до прекида додирних површина између влакана и полимерне матрице. Последица овог процеса је смањење затезне чврстоће и модула еластичности за око 25%. Ово се може смањити одговарајућом површинском обрадом. Најбољи третмани који су се показали јесу третмани са акрилним киселинама, силикатима, полиестерским амидима и поливинил ацетатима [15].

Јута представља једну од најбољих сировина којом се може ојачати полимерна матрица (слика 11). Карактеристике њених влакана не испуњавају високе критеријуме који се захтевају у грађевинарству. Ојачане полимерне матрице са кратким и нетканим влакнима јуте показале су се најбоље у неоптерећеним елементима као што је облога на вратима аутомобила која представља добар изолатор буке. Иако јута има примат у производњи и примени због своје економичности и карактеристика код неоптерећених елемената, матрице ојачане њеним влакнима услед мање носивости се не могу поредити са матрицама које су ојачане влакнима лана и конопље.



Слика 11. Индустијска јута [17]

Влакна **сисала** су веома издржљива, чврста и мање подложна упијању влаге. Отпорна су на корозију коју изазива слана вода и има површинску структуру која је врло погодна за обраду. Сисал се најчешће користи као ојачање полимерних матрица у производњи намештаја, јер нема јак мирис као лан и конопља. Након хемијског тестирања утврђено је да се од сисала могу производити резервоари за воду и хемикалије. Ово влакно се може применити у медицини као замена за стандардне ортопедске материјале као што су титан, хром, кобалт, нерђајући челик. Његова примена би се огледала у спољном и унутрашњем фиксирању преломљене кости. Полипропиленски композити ојачани природним влакнима сисала произведени пресовањем под притиском могу заменити комерцијална стаклена влакна која не преносе велика оптерећења. Механичка својства сисала су јако добра, али нису боља од ланених. Влакна сисала могу да дођу до изражаја у оним пределима где је лан немогуће узгајати, а то су предели где влада сува и тропска клима (слика 12). Предност ових влакана јесте ниска цена и мала специфична тежина, мања од конопље и лана [15].



Слика 12. Сисал [18]

Композити ојачани влакнима **кенафа** представљају биокompозитни материјал који је нашао своју примену у грађевинарству, јер је лаган и јефтин (слика 13). Композитни панели ојачани кенафом израђују се пресовањем и убацивањем паре у једном кораку. Истраживања су показала да услед механичких карактеристика које поседује кенаф може се рећи да ће своју примену наћи у неким деловима конструкције аутомобила као што је греда браника [12].



Слика 13. Плантажа кенафа [12]

Композит ојачан влакнима **кокоса** има одлике велике чврстоће и првобитно је имао велику примену у виду израда кацага и кровова. Кокосова влакна су тестирана у временском интервалу од 6 година тако што су била изложена временским утицајима на отвореном простору и могло се закључити да није дошло до значајне промене (слика 14). Биокompозитни бетонски панели ојачани кокосом имају велику издржљивост због чињенице да на зидове не утиче кисело и сулфатно окружење. Због тога се ове бетонске плоче могу користити као ливене бетонске плоче за лагане носеће конструкције. Експерименталним путем је утврђено да честице кокоса и сепиолета као спојно средство, поседују велику топлотну проводљивост што доводи до потенцијалне примене у електричним и сензорским уређајима. У аутомобилској индустрији се користи као материјал за израду потпоре за седишта [12].



Слика 14. Кокос [12]

Са развијањем биокомпозитних материјала дошло је до промене у производњи основних и најчешће коришћених машинских елемената. Пример ове производње представља цилиндрични зупчаник са правим зупцима који је израђен од композитног материјала ојачаног влакнима биљке **розеле** (слика 15). Карактеристике ове биљке су такве да један цилиндрични зупчаник са правим зупцима може да одговори на захтеве који се очекују од једног зупчаника који је израђен од традиционалног материјала челика. Мала маса, велика чврстоћа су само неке од карактеристика розеле која омогућава зупчанику да несметано има велики степен искоришћења, константан преносни однос, дуг радни век [12].



Слика 15. Цилиндрични зупчаник са правим зупцима израђен од розеле [12]

Композити ојачани **ланеним** влакнима имају сличне карактеристике као композити ојачани стакленим влакнима (слика 16). Прва употреба ланених влакана и фенолне смоле везује се за израду војног авиона у Другом светском рату. Лан захтева умерену климу тако да се узгаја у источној Европи, Кини. Ланено семе се користи у прехранбеној индустрији

док се стабло користи за добијање влакана. Научници су покушали да услед добре нутритивне вредности ланеног семена, искористе семе као материјал за развијање нове биополимерне матрице, али добијени резултати нису испунили очекивања. Механичка својства лана доста зависе од начина узгајања и производње. Неке од метода за узгајање лана јесу: биолошка метода са хемикалијама и биолошка метода без хемикалија. За правилан развој влакана задужени су ензими. Производња почиње механичким извлачењем из земље и сушењем до одређеног тренутка. Током процеса производње долази до минималних испуштања CO_2 и метана [15]. Хемијски поступци су веома брзи, али и веома скупи. Током механичког процеса може доћи до оштећења везе између пектина и лигнина у влакну, тако да се препоручује хемијско добијање. Квалитет добијеног ланеног влакна се провера Краисовом методом и динамометријском методом.



Слика 16. Лан [19]

4. Биокompозити у аутомобилској индустрији

Основни циљ сваког произвођача аутомобила јесте безбедан транспорт људи до жељеног места. У почетку развоја аутомобилске индустрије произвођачи су се фокусирали на боље перформансе аутомобила као што је брзина, стабилност, комфор. Како је индустрија расла, новитети у производњи су се низали. Један од битнијих новитета се огледа у избору материјала, који се односи на замену традиционалног челика и алуминијума и преласка на композитне материјале. Однос цене, квалитета и перформанси композитних материјала ојачаних стакленим влакнима су испунила очекивања произвођача. Као последица раста аутомобилске индустрије јавља се прекомерно испуштање CO₂, што је довело до глобалног загревања, које је испраћено повећањем Земљине температуре, повећано глобално испаравање што је довело до повећања ниво светског мора и промене климе.

Први пут у историји аутомобилске индустрије, биокompозити се спомињу 1930. године од стране оснивача фирме „Ford Motor“ Хенрија Форда. Његов подстицај за развој аутомобила од биокompозита је подупрен проблемима пољопривредника, чији положај није био на завидном нивоу. Као резултат напорног рада, 1941. године фирма „Ford Motor“ производи прототип једног свог модела који је израђен од конопље, сисала, пшеничне сламе ојачана смолом од соје, чији је мотор као покретно средство користио конопљино уље. За време Другог светског рата дошло је до проблема око експлоатације нафте, не због њене несташнице већ због политичке ситуације у свету, што је био један велики потстрек произвођачима аутомобила. У Немачкој 1957. године долази до пробоја биокompозитних материјала на тржиште. Направљен је ауто Трабант, чији су кров, врата, поклопац мотора, шасија и још неки делови направљени од фенолне смоле ојачане памуком (слика 17) [20].



Слика 17. Трабант направљен од биокompозита [22]

Италијански произвођач „Fiat“ је 1982. године у своје аутомобиле увео израду подова од дрвета као и врата. Целокупан развој и потенцијал биокompозита није дошао до изражаја све до деведесетих година 20-ог века, када се свет сусреће са несташицом нафтних ресурса као и глобалним проблемом у виду емисије CO₂.

Један од главних циљева произвођача је поред конструкторских побољшања мотора и виталних делова аутомобила, самњење масе возила. Први кораци у овом подухвату су били усмерени ка деловима који нису од виталног значаја за рад аутомобила. Немачка фирма „Mercedes“ је у своје нове моделе користила биокompозитне материјале за израду врата, наслона седишта, контролне табле, нослона за главу. Они су користили композит на бази јуте за израду врата модела Е – класе (слика 18), композите ојачане влакнима банане за израду А – класе и различите друге биокompозите за израду С – класе [21].



Слика 18. Мерцедес Е – класе [23]

Корпорација „Aroco“ је у Јапану 2003. године представила електрично возило под називом Grasshopper (слика 19). Ово возило је у целости израђено од биокompatитних материјала, а највише се користио кенаф који је својим карактеристикама одговорио на захтев произвођача [21].



Слика 19. Аутомобил Grasshopper [21]

Компанија „Fiat“ је развила прототип еколошки прихватљивог возила које су назвали Fiat EcoBasic (слика 20).



Слика 20. Fiat EcoBasic [24]

Развој биокompatитних материјала је толико добио на популарности да су и поред комерцијалне серијске производње возила нашли примену у спортском аутомобилизму. Спортски аутомобили који се сусрећу са великим напорима током вожње, што је последица брзе вожње, треба да пре свега осигурају безбедну вожњу возачу. Сви ови услови испуњени су избором биокompatитних материјала, који су показали да спортско возило може имати мању масу, бити сигурно током вожње и трошити мање горива, а самим тим и испуштати мање CO₂. Фирма „Four Motors GmbH“ је развила једно такво возило у свом пројекту „BioConcept Car“, које се надметало у трци која је трајала 6 сати (слика 21) [21].



Слика 21. Тркачки аутомобил направљен од биокompatита [21]

Континуираним истраживањем и развојем биокompatити су добили све већу примену у изради структурних и виталних делова аутомобила као што су управљачке компоненте, шасија, погонске компоненте. Утврђено је да ови материјали могу да одговоре захтевима велике чврстоће, велике крутости уз поседовање мале сопствене масе. Истраживањем механичких својства конопље, лана, сисала, кокоса, кенафа, јуте у комбинацији са полипропиленом дају увећане вредности затезне чврстоће. Развијањем ових материјала утврђено је да процесом хибридизације могу се добити материјали који представљају комбинацију природних материјала и комерцијалних материјала чиме се добијају материјали са знатно повећаном затезном чврстоћом, бољим могућностима савијања, бољим термичким и апсорпционим могућностима.

Фирме које производе делове за аутомобиле као што је GoodYear се такође фокусирају на замени традиционалних материјала који представљају производ нафтних сировина. Ова фирма производи гуме за аутомобиле и већ неко време као основни материјал користи природна vlakana. Применом кукурузног скроба у изради гуме утврђено је да аутомобил

троши мање горива за око 5%, смањена је бука током вожње и има добро пријањање са мокром подлогом. Фирме које праве облоге за врата и седишта развиле су нов начин производње под називом мокро пресовање. Овом методом се праве унутрашњи делови аутомобила, а као материјал користи се дрво [20].

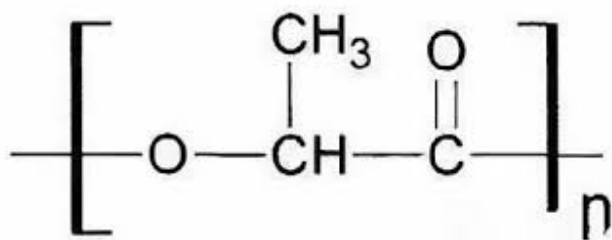
Компанија „Ford“ је заменом материјала за израду седишта од традиционалне пене која је на бази нафте заменила сојином пеном и тиме добила смањење од 5,5 kg CO₂ по килограму коришћеног сојиног уља. Седиште од сојине пене се налази у преко 8 милиона фордових возила и тиме се процењује уштеда нафте за око 5 милиона фунти. Примену сојине пене у изради седишта применила је и фирма „Toyota“. Ова фирма је за израду поклопца за резервне гуме изабрала материјал који је сачињен од поли – млечне киселине (ПЛА) и природних влакана кенафа. Немачка фирма „Volkswagen“ не заостаје у примени биокомпозита у својим аутомобилима. Делови њихових аутомобила као што су седишта, врата и унутрашњи ентеријер израђена су од зелених композита. Такође још једна Немачка фирма „BMW“ не заостаје за конкурентима, тако да поред идентичних примена у изради делова од биокомпозита, ова фирма развија компоненте за вешање возила [20].

5. Могућност рециклирања делова од биокомпозитних материјала

Сваки производ има одређени радни век, који зависи од избора материјала, квалитета израде као и начина коришћења. У прошлости људи су се углавном ослањали на проналажењу слободног простора који ће послужити за депоновање отпадног материјала. Временом, депоније и магацини отпадног материјала су се веома брзо ширили и тиме значајно утицали на животну средину.

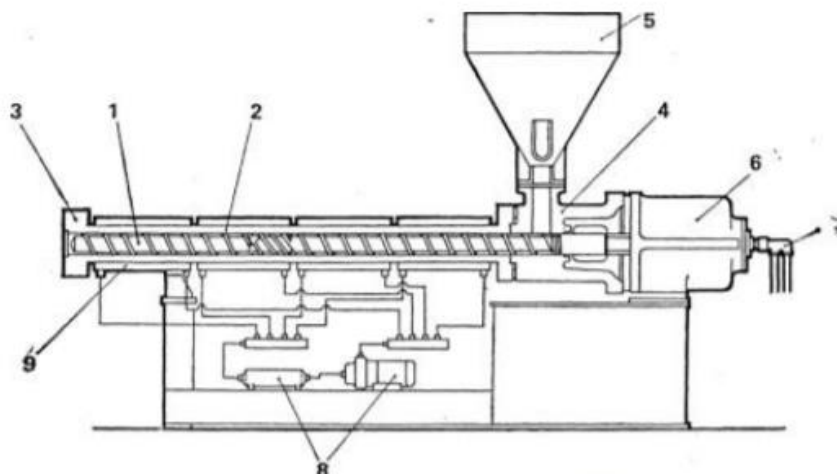
Рециклирање представља издвајање отпада који се може прерадити и поново користити у производњи жељеног производа. Циљ рециклирања је пре свега заштита животне средине, а затим представља и економски бенефит за произвођаче који ће са мањим улагањима добити исти или сличан производ који ће са својим механичким и хемијским карактеристикама одговорити на захтев потрошача.

Биоразградива пластика је први пут уведена 1980. године. Предност биокомпозита у односу на традиционалне композите јесте њихова биоразградња која је сама по себи бржа. Највише студија која се везују за рециклажу биокомпозита посебан акценат дају на полилактидима односно на поли – млечној киселини (ПЛА – слика 22). ПЛА се добија полимеризацијом лактида са отварањем прстена који се отвара ферментацијом глукозе из скроба кукурза и шећерне репе. Своју прву примену ПЛА су имали у медицинској опреми (шавови, ортопедски материјал). Касније се примењује и у изради амбалаже, у рачунарској опреми. Аутомобилска фирма „Toyota“ је прва увела ПЛА у своје аутомобиле као део прекривача за резервне гуме и прекривача подова. Када је реч о температури топљења она износи око 155°C, али тренутно се развија ПЛА која се добија из Л – лактида и Д – лактида чија је температура топљења око 230°C. Неке фирме развијају овај материјал који има за циљ производ који умањује вибрације, као и пластику која је топлотно отпорна на високе температуре [25].



Слика 22. Структура ПЛА [26]

Утврђено је да након 10 циклуса рециклирања, ПЛА знатно губи своја механичка својства. Рециклирање се врши екструдером, а сам процес се назива екструзија (слика 23).



Слика 23. Скица једнопужног екструдера [27]

1. Пуж,
2. Цилиндар,
3. Спојница за спајање са алатом,
4. Водено хлађење улазна зона,
5. Левак за дозирање сировина,
6. Погон екструдера,
7. Темпирање пужа,
8. Систем за хлађење и темпирање цилиндра,
9. Грејни елементи за грејање цилиндра.

Екструдирање је континуалан поступак прераде пластичних маса. Овим поступком пластична маса, као полазна сировина, у праху или што је најчешће у гранулама убацује се путем левка у цилиндар машине у којој је смештен један или више пужева који пластичну масу транспортују, а под утицајем доведене топлоте преводе је у течност. Дејством погона за обртање пужа као и савлађивањем отпора који настају транспортањем растопљене пластичне масе, кроз отворе између пужа и цилиндра маса се пластифицира, хомогенизује и на крају у алату машине формира се у жељени облик [27].

Израда гранулата је помоћна операција припреме пластичних материја за даљу прераду и то првенствено екструзијом. За израду гранула данас се користе 4 методе:

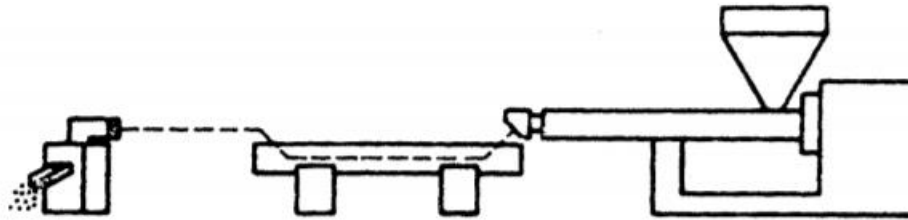
- Израда гранула од нити,
- Израда гранула од траке,
- Израда гранула из топле масе одсецањем,
- Израда гранула под водом.

У изради гранула од нити најчешће се користи једнопужни екструдер, али успешно се користе и други типови екструдера. Маса у облику нити или жила излази из алата (слика 24) затим се хлади у воденом купатилу, суши и доводи до уређаја за резање.



Слика 24. Израда гранула од нити [27]

За материјале који имају малу масу, због чега може да дође до међусобног слепљивања нити, као и до кидања нити, практичније је да се гранула производи из трака (слика 25). За разлику од производње гранула од нити, у овом поступку из алата не излазе нити, већ једна трака димензије од 3x60 mm до 4x200 mm зависно од капацитета машине. При овом поступку процес резања у гранулатору врши се у два степена, тако што се испред попречног резача помоћу специјалних ножа, трака сече уздужно у више танких трака, док се у другом степену попречно сече [27].



Слика 25. Шема постројења за израду гранула од траке [27]

Након рециклирања дужина природних влакана се смањује што утиче на механичке карактеристике материјала. Биокompatит који у себи садржи природна влакна лана, има најбоље механичке и хемијске карактеристике које га препоручују у аутомобилској индустрији. Експерименталним путем је утврђено да до трећег циклуса механичке рециклаже природна влакна лана губе своју првобитну масу од 20% до 30%, уз смањење затезне чврстоће за око 23% и модула еластичности за око 5% [27].

Нека природна влакна се могу више пута рециклирати уз мању разлику првобитних карактеристика у односу на лан, али ниједно природно влакно се није толико развило у аутомобилској индустрији као лан. Предност код рециклаже осим заштите животне средине јесте стварање боље везе између матрице и влакана.

6. Закључак

Сваке године услед човекових потреба расте производња аутомобила, што доводи до повећаног испуштања CO_2 . Унапређење процеса производње, као и самог квалитета аутомобила довело је до развоја биокомпозитних материјала. Њихова ниска цена, као и триболошке особине потстакле су произвођаче на замену традиционалних композита ојачаних стакленим влакнима.

Природна влакна као што су: лан, конопља, сисал, кенаф, кокос имају велику примену, као и још већи потенцијал за израду делова у аутомобилској индустрији. Првобитни делови који су направљени од биокомпозита били су намењени за унутрашњост возила. Велике аутомобилске фирме већ развијају концепт за израду виталних делова као што су шасија, управљачке јединице, али и оне споредне као што су гуме од биокомпозитних материјала.

Сматра се, да ће возила на електрични и хибридни погон имати велики утацај на аутомобилско тржиште у блиској будућности. Поред велике разлике између мотора СУС и електричних, произвођачи су се фокусирали на квалитет и израду саме конструкције возила. Конструкције електричних аутомобила израђене су у великој мери од биокомпозита и тиме омогућавају њихову рециклажу и поновну употребу.

Захваљујући развоју биокомпозитних материјала очекује се смањење штетних гасова и побољшање животне средине.

Литература

- [1] Sarah Christian, Sarah Billington: Sustainable Biocomposites for Construction, Stanford University, USA, 2009..
- [2] Andrzej K Biedzki, Magdalena Urbaniak: Biocomposites in the Past and in the Future, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Januar 2012.
- [3] <https://sr.puntomarinero.com/receiving-phenol-structure-properties-and/> (03. 09. 2020.)
- [4] https://www.nationalgeographic.rs/files/images/2015/12/napravio_eko_kucu_za_180_evra_ap_s_494300538.jpg (15.09. 2020.)
- [5] <https://hr.puntomarinero.com/what-is-formaldehyde-and-how/> (04. 09. 2020.)
- [6] <http://srla.solderpalletmaterial.com/insulation-material/bakelite-sheets/black-color-insulation-bakelite-board-ns161-.html> (04. 09. 2020.)
- [7] Наташа Живковић: Полихидроксиалканоати (ПЛА) – Зелена пластика, Прехрабено – биотехнолошки факултет, Загреб, 2009.
- [8] <https://www.poljosfera.rs/agrosfera/agro-teme/organska-proizvodnja-i-ekologija/vrste-komposta-u-organskoj-proizvodnji/> (04. 09. 2020.)
- [9] <https://italplast.eu/produse/granule-din-plastic/> (05. 09. 2020.)
- [10] Срђан Перишић: Синтеза и карактеризација хибридних полимерних композита на бази дрвета, Технолошко – Металуршки факултет, докторска дисертација, Београд, 2019.
- [11] Şafak Yıldızhan, Mustafa Özcanl, Hasan Serin: Bio-composite materials: a short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications, Cukurova University, Турска, 2018.
- [12] Kurki Nagaraj Bharath, Satyappa Basavarajappa: Applications of biocomposite materials based on natural fibers from renewable resources: a review, Science and Engineering of Composite Materials 23 (2), Maj 2015.
- [13] Биљана М. Пејић: Утицај различитих фактора физичко – хемијског модификовања на структуру и својства влакана конопље, Технолошко – Металуршки факултет, докторска дисертација, Београд, 2009.
- [14] Проф др Дарко Бајић: Композитни материјали – предавање, Машински факултет, Подгорица, 2008.
- [15] Edo Velkavrh: Preliminarna preiskava ustreznosti kompozitov iz naravnih vlaken za aplikacijo v gradbenih konstrukcijah, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Љубљана, 2010.

- [16] <https://www.agromedia.rs/agro-teme/ratarstvo/pravilnik-mozemo-gajiti-konoplju-ali-samo-u-industrijske-svrhe> (08. 09. 2020.)
- [17] <https://sr.ekobutik.si/house/%D1%98uta-shto-%D1%98e-to-opis-postro%D1%98e%D1%9Aa-materi%D1%98al-iz-materi%D1%98ala-i-prednosti-vlakana> (10. 09. 2020.)
- [18] <https://www.podovi.org/sisal-ekoloski-materijal-jedinstvenog-izgleda/> (10. 09. 2020.)
- [19] <https://www.agroklub.rs/sortna-lista/uljarice-predivo-bilje/lan-85/> (10. 09. 2020.)
- [20] Obed Akampumuza, Azzam Ahmed: Review of the Applications of Biocomposites in the Automotive Industry, College of Textile Science and Engineering, Donghua University, Shanghai, November 2015.
- [21] Jiying Fan, Elias Nassiopoulos, James Brighton, James Njuguna: New structural bio composites for car applications, Centre for Automotive Technology, Leicester, 2011.
- [22] <http://rs.n1info.com/Auto/a157883/Istorijat-Trabant.html> (15. 09. 2020.)
- [23] <https://mlfree.com/mercedes-e-klasa-w211-2002-2009/> (15. 09. 2020.)
- [24] http://www.carstyling.ru/en/car/2000_fiat_ecobasic/images/41054/ (15. 09. 2020.)
- [25] Azdeh Soroudi, Ignacy Jakubowicz: Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review, Technical Research Institute of Sweden, May 2013.
- [26] <http://www.tf.ni.ac.rs/casopis-arhiva/sveska1/c9.pdf> (16. 09. 2020.)
- [27] Sanja Slišković: Svojstva ekstrudata na bazi kukuruzne krupice s dodatkom izluženih repinih rezanaca, Prehrambeno – Tehnološki fakultet, Osijek, 2015.