

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Напредне технике управљања чврстим и опасним отпадом

Број индекса: 388/2019

Живана П. Драгић

Анализа токова стаклене амбалаже у Републици Србији

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Горан Бошковић, доцент - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада студент треба да прикаже основне принципе управљања отпадом са посебним нагласком на хијерархију управљања отпадом. Након тога, фокус рада ће бити на анализи токова материјала. Студент има задатак да истражи токове стаклене амбалаже у Републици Србији и да коришћењем доступних софтверских алата изврши њихову анализу. Након тога ће дати препоруке за унапређење тренутног система управљања стакленом амбалажом на нивоу државе.

Препоручена литература:

- [1] Brunner, P. H., and Rechberger, H. (2017). *Practical Handbook of Material Flow Analysis For Environmental, Resource and Waste Engineers*. 2nd Edition. Taylor & Francis Group/CRC Press. Boca Raton, Florida
- [2] Allesch A. and Brunner P. H., *Material Flow Analysis as a Tool to improve Waste Management Systems: The Case of Austria*. Vienna University of Technology, Institute for Water Quality, Resource and Waste Management, Vienna, Austria.
- [3] Hauke T., Katia R. A. Nunes and Liselotte Schebek *Material flow analysis of glass packaging waste in Germany*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany. *Advances In Cleaner Production*, Vol. 2, Chapter 6, Nova Science.
- [4] Мркајић В., Станисављевић Н., Xiaoming Wangb, Tomasc L, Haro P. *Efficiency of packaging waste management in a European Union candidate-country*. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 130–141. doi:10.1016/j.resconrec.2018.04.008.

У Крагујевцу, април 2020. године.

Ментор:

доцент др Горан Бошковић

Резиме

Убрзани раст популације, економски развој, а посебно нагли развој градова и пораст броја становника у њима, узрокује повећање потрошње материјалних добара, а самим тим и раст генерисане количине отпада. Комунални чврсти отпад представља један од највећих еколошких проблема.

Стакло чини чак 5 % укупно генерисаног комуналног отпада на светском нивоу. Стакленим отпадом који настаје као последица различитих човекових активности мора се управљати на безбедан начин по животну средину. Отпадно стакло ствара озбиљне еколошке проблеме, а првенствено због неусаглашености отпадних стаклених токова. Уколико је већ немогуће спровести превенцију настајања стакленог отпада, рециклажа је један од најприхватљивијих поступака за управљање стакленим отпадним материјалом са аспекта заштите животне средине.

Стога, циљ овог рада је да се квантитативно и квалитативно истражи систем управљања стакленим амбалажним отпадом у Републици Србији, користећи анализу токова материјала будући да стаклена амбалажа чини чак и до 85 % укупно генерисаног стакленог отпада.

Abstract

Accelerated population growth, economic development, and especially the rapid development of cities and population growth in them, cause an increase in the consumption of material goods, and thus an increase in the amount of waste generated. Municipal waste is one of the biggest environmental problems.

Glass makes up as much as 5 % of the total municipal waste generated worldwide. Glass waste generated as a result of various human activities must be managed in an environmentally safe manner. Waste glass creates serious environmental problems, primarily due to non-compliance with waste glass flows. If it is already impossible to prevent the generation of glass waste, recycling is one of the most acceptable procedures for managing glass waste from the aspect of environmental protection.

Therefore, this paper aims to quantitatively and qualitatively investigate the waste management system of glass packaging in the Republic of Serbia, using the analysis of material flows since glass packaging accounts for up to 85% of the total glass waste generated.

Садржај

1. Увод	1
2. Основни појмови управљања чврстим комуналним отпадом	3
2.1. Тренутно стање у области управљања комуналним чврстим отпадом	5
2.1.1. Количина генерисаног комуналног чврстог отпада	5
2.1.2. Морфолошки састав генерисаног комуналног отпада	7
2.1.3. Просечни обухват прикупљања чврстог комуналног отпада	9
2.1.4. Третман и одлагање комуналног отпада	10
3. Стакло и утицај стаклене амбалаже на животну средину	13
3.1. Прикупљање и сортирање стакла	17
3.2. Технолошки процес рециклаже отпадног стакла	19
4. Анализа токова материјала	28
4.1. Методологија MFA	29
4.1.1. Основна терминологија MFA	30
4.2. Симулациони софтвери	33
4.2.1. Софтвер STAN	33
5. Примена анализе токова материјала на стаклену амбалажу у Републици Србији	35
5.1. Дефинисање проблема	35
5.2. Дефинисање система	40
5.2.1. Дефинисање границе система	40
5.2.2. Дефинисање токова и процеса	40
5.2.3. Дефинисање супстанци	41
5.3. Одређивање токова и залиха материјала	41
5.4. Шематски приказ и интерпретација резултата	43
6. Препоруке за унапређење система праћења токова стакленог отпада у Републици Србији	45
7. Закључак	47
6. Литература	49

1. Увод

Један од највећих проблема са којима се суочава данашње друштво је брига за екологију и животну средину. Човеков немар и небрига довели су у питање опстанак планете. Климатске промене, као и већина природних непогода су резултат човековог негативног утицаја на екосистем и животну средину [1].

Неадекватно управљање отпадом представља један од највећих функционалних и, пре свега, еколошких проблема савременог света. Убрзан раст људске популације и неусклађеност економског развоја са потенцијалима природних ресурса и адаптабилним могућностима екосфере, прете да, у значајној и неповратној форми, деградирају животну средину. Са друге стране, огромне количине одбаченог материјала остају неискоришћене, што представља велики економски и енергетски губитак [2].

Отпад је производ људских активности. У свету се годишње генерише око 17 милијарди тона комуналног отпада, а претпоставке су да ће до 2050. године износити око 27 милијарди тона [3]. Најзаступљенију опцију третмана комуналног отпада, на глобалном нивоу и даље представља депоновање, иако се према стратешким документима, као што је Оквирна директива Европске уније о отпаду 2008/98/ЕС, ова опција третмана отпада сматра најмање пожељном.

Неадекватним начином третмана отпада последице су вишеструке: загађење животне средине и угрожавање здравља људи, губитак корисних компоненти из отпада, односно експлоатација и потрошња природних ресурса.

Поред постојећег тренда раста количина отпада, степен деградације животне средине у великој мери одређују и различите опције третмана отпада. Разматрање доступних опција третмана отпада и њиховог утицаја на гасове са ефектом стаклене баште, климатске промене, деградацију земљишта и потрошњу енергетских ресурса је све чешће саставни део процеса селекције јер се избором одговарајућих процеса и технологија за третман отпада ови негативни утицаји могу знатно редуковати. Избор процеса и технологије за обраду отпада зависи од локалних услова и ресурса, као и од састава отпада из домаћинства и комерцијалног сектора. Савремени системи за управљање отпадом подразумевају дефинисање одговарајућих решења за све категорије и токове генерисаног чврстог комуналног отпада [4].

Изузетан значај у смањењу негативног утицаја отпада на животну средину, има и рециклажа, која представља издвајање материјала из отпада и његово поновно коришћење [5].

Веома је важно знати да је стакло једина сировина која се може 100 % рециклирати, па је погрешно сматрати га отпадом. Као такво, стакло се може небројено пута враћати у процес рециклаже, што утиче на многе факторе, када је очување животне средине у питању. Имајући у виду да се годишње, у свету, одбаци близу 100 милијарди стаклених

флаша, а произведе око 500 милиона, готово да није потребно говорити о значају рециклаже [6].

У свету је актуелан проблем стакленог амбалажног отпада, те ће у овом раду бити спроведена детаљна анализа токова истог за територију Републике Србије. Данас, највећи проценат укупне коришћене стаклене амбалаже се употребљава за производњу једнократне амбалаже, а у циљу паковања производа за даљу дистрибуцију (храна, пиће, фармацеутски производи, итд.).

Сматрајући да је ова тема значајна за побољшање квалитета животне средине, како у свету тако и у Републици Србији, циљ овог рада јесте дефинисати мере за унапређење система праћења токова стакленог амбалажног отпада, а на основу спроведене анализе у одговарајућем софтверу.

Након првог, **уводног поглавља**, следи **друго поглавље** у којем су објашњене основи управљања комуналним чврстим отпадом са освртом на тренутно стање отпада у свету, Европској унији и Републици Србији.

У **трећем поглављу** су приказани основни елементи на које је неопходно обратити пажњу приликом селекције отпадног стакла. Наведене су предности рециклаже отпадног стакла са еколошког, енергетског и економског аспекта. Преглед методе анализе токова отпада је приказана у **четвртном поглављу**.

У **петом поглављу** је спроведена анализа токова стаклене амбалаже у Републици Србији.

У завршном **шестом поглављу** су дефинисане и анализиране препоруке за унапређење система праћења токова стаклене амбалаже у Републици Србији, након чега следи **закључно разматрање** везано за спроведену анализу.

2. Основни појмови управљања чврстим комуналним отпадом

Отпад је материјал или предмет који корисник одбацује, намерава или га мора одбацити, а истовремено представља огроман губитак ресурса у облику материјала и енергије [7].

Поред континуалног раста популације, неодрживи обрасци производње и потрошње природних ресурса доприносе генерисању све веће количине отпада. Континуално повећање количине генерисаног отпада ствара све веће оптерећење на постојеће системе управљања отпадом и по животну средину. Животна средина има ограничене капацитете елиминисања негативних утицаја антропогеног деловања. Пораст количина отпада изван капацитета животне средине и неадекватно збрињавање отпада доводи до губитака корисних компонената из отпада и до несагледивих последица по животну средину и здравље људи.

По подацима Светске Банке, стопа генерисања комуналног отпада има чак већи раст у односу на степен урбанизације [3]. Економски развијене земље, генеришу веће количине отпада у односу на друге земље, али имају и веома развијене системе управљања отпадом са адекватним постројењима за његов третман, уз јак институционални и законодавни оквир који регулише ову област. Са друге стране, неразвијене земље и земље у развоју имају мању стопу генерисања отпада, али и слабо развијене системе управљања отпадом, односно непостојање одговарајућих постројења за његов третман, као и слабу законску регулативу [8].

Данас, у свету је доминантан линеарни економски модел, односно линеарна економија. Линеарна економија се базира на концепту „узми – направи – искористи – одбаци“, односно врши се експлоатација природних ресурса, које су неопходне за производњу нових продуката. Након производње продукта следи потрошња и после одређеног времена производ губи вредност током свог животног циклуса, па исти завршава у форми отпада. На овај начин се генеришу велике количине отпада, што је почело имати негативне утицаје на квалитет човекове средине. Велика количина генерисаног отпада захтева изградњу великих депонија, чиме се нарушава флора и фауна, као и квалитет земљишта.

Комунални отпад је по саставу хетероген, односно садржи више материјала. Комунални отпад углавном садржи пластичне амбалаже, алуминијумске конзерве, папир, картонске амбалаже, стакло и остатке од хране. Већина ових материјала је рециклабилна или се могу поново искористити. Привредни модел у ком се отпад рециклира, поново користи или поправља се назива циркуларном економијом. Концепт циркуларне економије се заснива на кружењу материјала у економији и отпад се сматра сировином јер се од отпада путем поновне употребе добијају нове сировине од којих се могу правити производи или одређени материјали. Циркуларна економија представља регенеративни економски систем у којем се води рачуна о животној средини, штеде природни ресурси, смањује количина отпада за депоновање, а при

производним процесима обраћа се пажња и на потрошњу енергије и ставља акценат на коришћење обновљивих извора енергије. На слици 1 приказани су токови кружења материјала и енергије према принципима циркуларне, односно линеарне економије. [9].



Слика 1. Циркуларни и линеарни економски модел [10]

Раст глобалне економије и броја становника на Земљи, условило је потрошњу абиотичких и биотичких ресурса, односно притисак на расположивост ресурса.

Оквирна директива о отпаду (енгл. *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste and repealing certain Directives*) утврђује правила како треба управљати отпадом у Европској унији (ЕУ). Пружа општа начела за то, попут хијерархије отпада. Циљ директиве је да смањи утицај отпада на животну средину и да подстакне ефикасност ресурса поновном употребом, рециклажом и издвајањем енергије из отпада [11].

Управљање чврстим отпадом се може дефинисати као систем који се бави настанком отпада (контролом и превенцијом), сакупљањем, складиштењем, трансфером и транспортом, прерадом и депоновањем чврстог отпада укључујући позитивне принципе јавног здравља, економије, инжењерства, естетике и других еколошких захтева. Правилно управљање отпадом штити здравље људи, квалитет животне средине и чува природне ресурсе.

Хијерархија управљања отпадом је стратегија која рангира опције управљања у складу са својим еколошким предностима. Начело хијерархије управљања отпадом дефинише редослед приоритета у пракси управљања отпадом, и то на следећи начин: превенција стварања отпада, припрема за поновну употребу, рециклажа, издвајање енергије из отпада, коначно одлагање отпада (депоновање) [12].

Концепт хијерархије управљања отпадом указује да је смањење настајања отпада најефикасније решење за животну средину. Међутим, тамо где даље смањење није практично применљиво, производи и материјали могу бити искоришћени поново, за исту или другу намену. Уколико та могућност не постоји, отпад се даље може искористити кроз рециклажу, компостирање или кроз добијање енергије. Само ако ни једна од претходних опција не даје одговарајуће решење, отпад треба одложити на депонију што је и приказано сликом 2 [13].



Слика 2. Хијерархија управљања отпадом

Хијерархија отпада у суштини је продужетак предострожности и принципа превенције, успостављајући приоритетни редослед опција за третман отпада у смислу: најмањи могући утицај на животну средину и смањење коначно одложеног отпада [14].

Правилно управљање отпадом је кључни елемент у осигуравању ефикасности ресурса и одрживи раст европских економија.

2.1. Тренутно стање у области управљања комуналним чврстим отпадом

Земље се брзо развијају без адекватних система за управљање променљивим саставом отпада грађана. Градови, у којима живи више од половине човечанства и стварају више од 80 % светског бруто домаћег производа - БДП-а (енгл. *Gross domestic product*), предњаче у решавању глобалног проблема отпада.

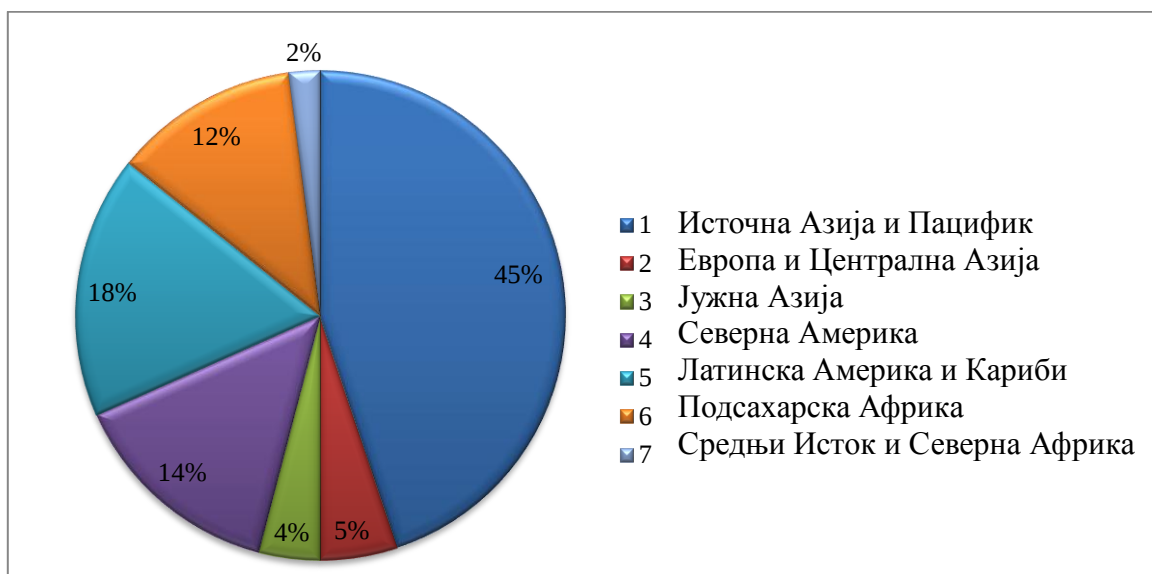
2.1.1. Количина генерисаног комуналног чврстог отпада

Према извештају Светске банке свет ствара 2,01 милијарди тона чврстог комуналног отпада годишње, а најмање са 33 % од тога се не управља на еколошки и безбедан начин. Извештај Светске Банке "*What a Waste*" садржи податке о управљању чврстим отпадом на глобалном нивоу. За сврху овог извештаја, дефиниција чврстог отпада обухвата стамбени, комерцијални и институционални отпад. Индустријски,

медицински, опасни, електронски и грађевински отпад се одвојено пријављују од укупног националног створеног отпада.

Према истраживању, током 2016. године количина генерисаног отпада износила је 2,01 милијарди тона. Очекује се да ће тај број порасти на 3,40 милијарде тона до 2050. године. Свет генерише просечно 0,74 килограма отпада по глави становника дневно, али количине производње значајно варирају у зависности од подручја и броја становника, тако да је минимални износ 0,11 килограма по глави становника дневно, док је максимални 4,54 килограма по глави становника дневно [3].

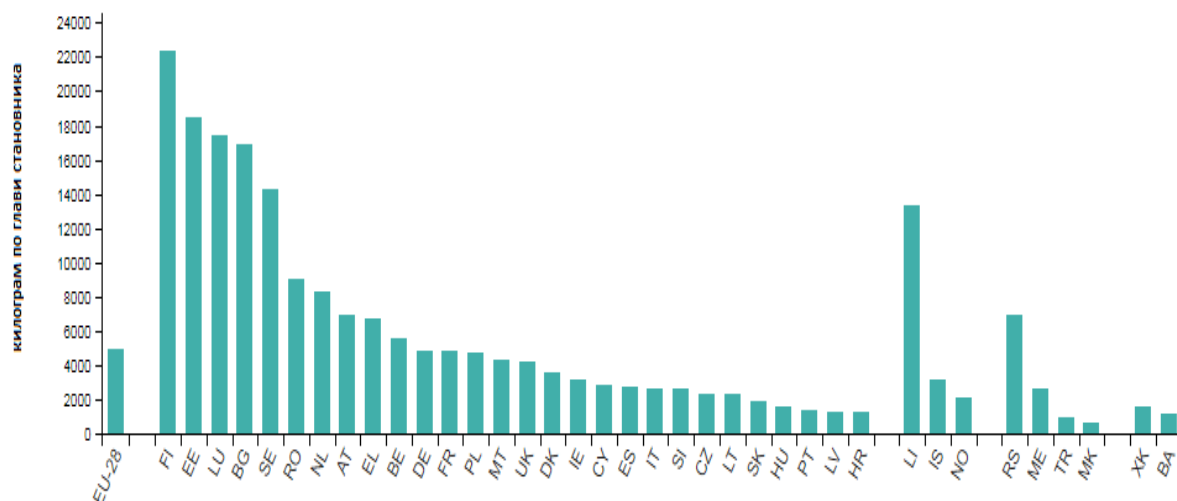
Земље источне Азије и Тихог океана, као и Европе и централне Азије производе 43 % светског отпада. Региони Блиског Истока и Северне Африке и субсахарске Африке стварају најмање количине отпада, а заједно чине 15 % светског отпада. Источна Азија и Пацифик стварају највише отпада, процењена је количина од 468 милиона тона током 2016. године, док Блиски Исток и Северна Африка стварају најмање количине, 129 милиона тона (слика 3).



Слика 3. Процентуални однос количине генерисаног отпада у свету по регионима

Регион Европе и централне Азије створио је 392 милиона тона отпада у 2016. години, односно 1,18 килограма по особи сваког дана. Највећи произвођачи отпада по глави становника налазе се у неколико острвских држава са високим нивоом туризма и у економским центрима западне Европе. У државама чланицама Европске уније и у Западној Европи воде се циљеви за одлагање и рециклирање отпада. Да би испунили своје захтеве за чланство, нове чланице Европске уније усредсређене су на повећане стопе преусмеравања отпада са депонија и предузимају мере за одлагање отпада на одговарајуће санитарне депоније. Укупан комунални отпад који је генерисан у Европској унији износио је 220 милиона тона у 2018. години [15].

Количина генерисаног отпада по глави становника у државама Европе за 2016. годину приказана је на слици 4.



Слика 4. Приказ количине генерисаног отпада у килограмима по становнику у Европи током 2016. године [7]

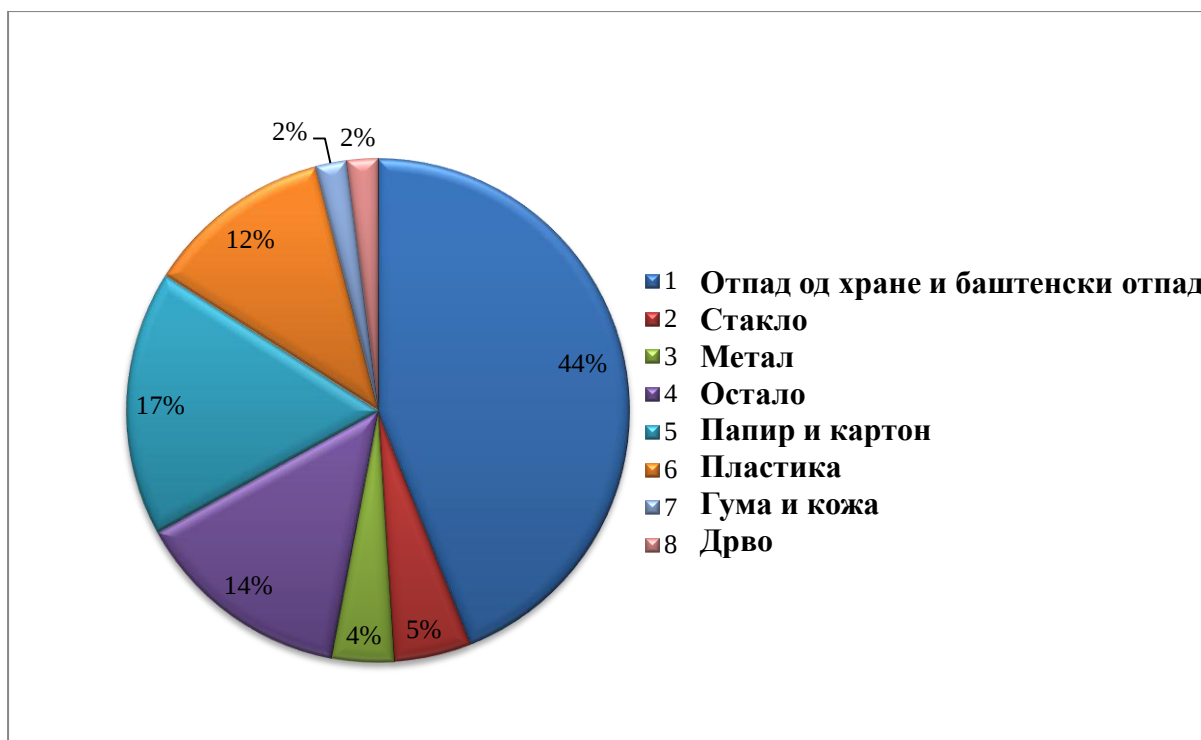
Подаци о генерисању, начину одлагања и количинама третираног отпада у Републици Србији нису потпуни. Статистика отпада и управљање отпадом у Републици Србији се бави прикупљањем података о комуналном отпаду, амбалажном отпаду и индустријском отпаду, а такође и о посебним токовима отпада, а то су гуме, производи који производе азбест, акумулатори и батерије, уља, електрични и електронски производи, возила [16].

На основу извештаја Агенције заштите животне средине из 2018. године укупна количина генерисаног отпада износи 2,23 милиона тона. У току 2018. године у Републици Србији у просеку становник дневно произведе 0,85 kg комуналног отпада [17].

2.1.2. Морфолошки састав генерисаног комуналног отпада

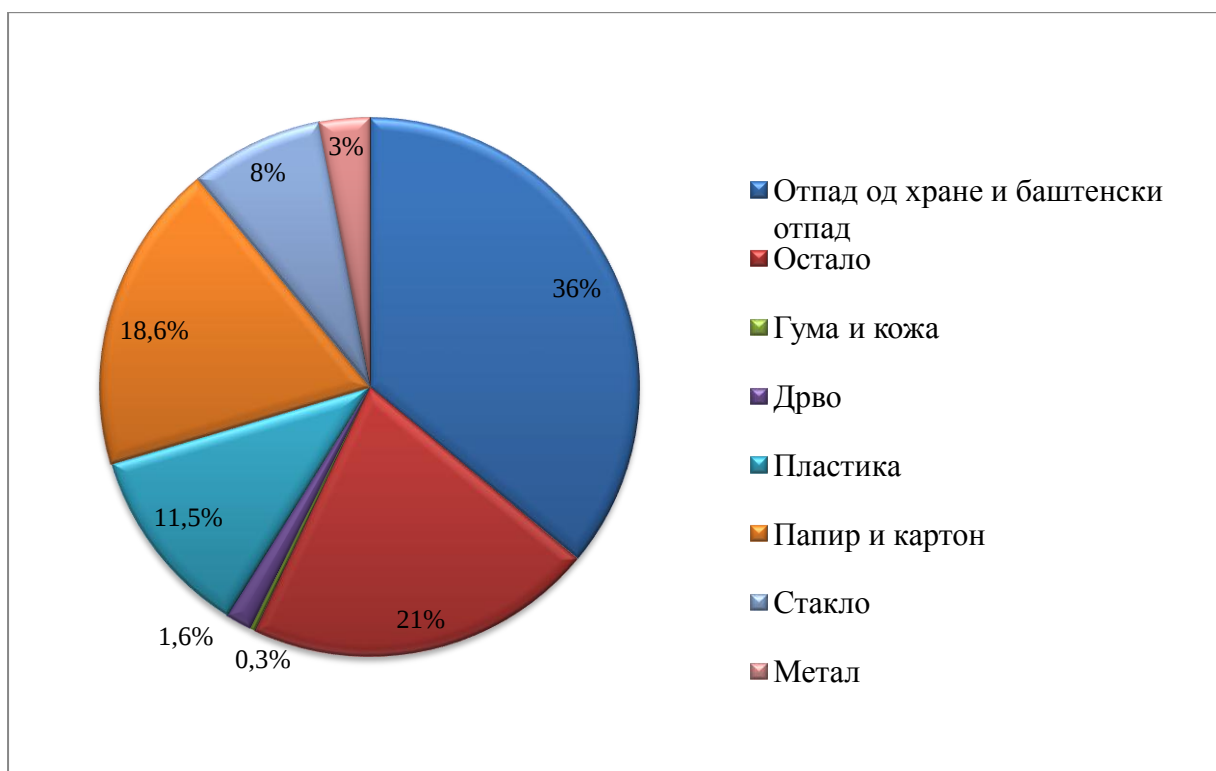
Постоји доста методологија које се користе у циљу одређивања количина и састава отпада.

На глобалном нивоу процентуално је највише отпада од хране и баштенског отпада 44 %, као што је приказано на слици 5.



Слика 5. Морфолошки састав отпада на глобалном нивоу [3]

У морфолошком саставу отпада у Европској унији доминира органска фракција, док је удео амбалаже и амбалажног отпада мањи као што је приказан на слици 6.



Слика 6. Морфолошки састав отпада у Европској унији

Методологија која се користи у Србији проистекла је на основу истраживања сличних методологија и искустава у другим државама, коју је спровео Департман за заштиту животне средине [12].

Око 50 % комуналног отпада чини баштенски зелени отпад заједно са другим биоразградивим отпадом (кухињски отпад), а ако се укључи папир и картон, укупна количина биоразградивог отпада износи 60 % [18].

Просечан састав комуналног отпада у Републици Србији, слично као и за генерисане количине, углавном се заснива на резултатима неколико студија реализованих у репрезентативним општинама. Поређењем састава отпада Европске уније и Србије уочава се да је биоразградива компонента отпада најзаступљенија (табела 1).

Табела 1. Морфолошки састав отпада у Србији (2015. година) [19]

Категорија отпада	Процентуални део
Баштенски отпад	18,14 %
Остали биоразградиви отпад	31,40 %
Папир	5,36 %
Картон	5,33 %
Стакло	3,53 %
Композитни материјали	1,05 %
Метал-амбалажни и др.	0,69 %
Алуминијумске конзерве	0,40 %
Пластични амбалажни	4,47 %
Пластичне кесе	7,22 %
HDPE пластика	2,48 %
Текстил	4,65 %
Кожа	0,42 %
Пелене	4,16 %
Фини елементи (< 20 mm)	10,69 %

2.1.3. Просечни обухват прикупљања чврстог комуналног отпада

Управљање отпадом разликује се у развијеним и неразвијеним земљама, у урбаним и руралним подручјима. Треба имати у виду да правилан однос према искоришћавању отпада као ресурса у сваком случају може допринети економском развоју одређене земље, бољем запошљавању и општој добробити друштва. Побољшање у систему управљања отпадом би се постигло ако би организованим сакупљањем отпада била обухваћена сва урбана и рурална подручја једне државе.

Управљање комуналним отпадом је комплексан систем, а сакупљање и транспорт комуналног отпада је неизбежан подсистем тог система у модерним урбаним срединама. Сакупљање и транспорт отпада спроводи се наменским возилима, која на периодичној основи морају обићи контејнере и канте у које грађани одлажу отпад из својих домаћинстава.

Неадекватно сакупљање и транспорт за резултат има велике економске и еколошке губитке. Врло често, развој нових методологија за сакупљање и транспорт отпада не прати тренд раста популације у урбаним срединама [20].

У средње развијеним државама стопа сакупљања отпада је двоструко већа у градовима него у руралним срединама. У урбаним срединама обухват прикупљања износи 85 %, док је у руралним 45 % [3].

На националном нивоу покривеност сакупљања отпада у ЕУ је релативно висока, 90 %. Стопа покривености градским сакупљањем отпада од 96 % премашује стопу сакупљања отпада на селу од 55 %. У многим европским градовима прикупљање отпада модернизовано је, док у сеоским областима, међутим, системи за прикупљање отпада су још увек у развоју [21].

У Републици Србији организованим сакупљањем комуналног отпада покривено је само око 87,2 % становништва, сакупљање је организовано претежно у урбаним областима, док руралне области су знатно слабије покривене. У Републици Србији не постоји системски организовано одвојено сакупљање, сортирање и рециклажа отпада. Постојећи степен рециклаже, односно искоришћења отпада је недовољан. Мада је примарна сепарација у Србији прописана законом и предвиђа одвајање папира, стакла и метала у посебно означене контејнере, сепарација не функционише у пракси [22].

2.1.4. Третман и одлагање комуналног отпада

Третман отпада обухвата операције поновног искоришћења отпада, укључујући претходну припрему за поновно искоришћење или одлагање отпада. Комунални отпад је отпад из домаћинства, као и други отпад који је због своје природе и састава сличан отпаду из домаћинства. Комунални отпад се одлаже на земљиште односно на депоније које најчешће не задовољавају ни минимум техничких стандарда и негативно утичу на животну средину и на здравље људи. Не постоји контролисано одвођење депонијског гаса који настаје разградњом отпада у депонији, што може довести до пожара или експлозије. Процедне воде из депонија се не сакупљају нити пречишћавају, што угрожава подземне и површинске воде и земљиште због високог садржаја органских материја и тешких метала. Не постоји систематски мониторинг емисија, процедурних вода, депонијског гаса, итд [23].

Методe третирања отпада [23]:

- компостирање јесте третман биоразградивог отпада под дејством микроорганизама, у циљу стварања компоста, у присуству кисеоника и под контролисаним условима,
- рециклажа јесте свака операција поновног искоришћења којом се отпад прерађује у производ, материјале или супстанце без обзира да ли се користе за првобитну или другу намену, укључујући поновну производњу органских

материјала, осим поновног искоришћења у енергетске сврхе и поновне прераде у материјале који су намењени за коришћење као гориво или за прекривање депонија,

- инсинерација (спаљивање) јесте термички третман отпада у стационарном или мобилном постројењу са или без искоришћења енергије произведене сагоревањем чија је примарна улога термички третман отпада, а који обухвата и пиролизу, гасификацију и сагоревање у плазми.

Према извештају Светске банке, око 37 % генерисаног отпада се одлаже на депоније, 19 % се подвргава рециклирању и компостирању, а 11 % се третира процесом инсинерације на глобалном нивоу. Одлагање отпада је најзаступљенији метод, док се процес инсинерације користи у развијеним земљама [18].

Према подацима 2016. године, у Европској унији 46,6 % отпада је одлагано на депоније, а 36,7 % је рециклирано [7].

У Републици Србији 2019. године, укупно је третирано 62,7 милиона тона отпада, који је генерисан од стране сектора пољопривреде, шумарства и рибарства, рударства, прерађивачке индустрије, снабдевања електричном енергијом, гасом и паром, снабдевања водом и управљање отпадним водама, грађевинарства, али и од стране сектора услужних делатности. Од укупно третиране количине отпада одложено је 60,3 милиона тона (96,5 %) као што је приказано у табели 2.

Рециклиране количине отпада у 2019. години бележе раст у односу на претходну годину од 6,6 %, који је углавном настао због повећаног рециклирања металног отпада. Количина рециклираног отпада коришћеног као гориво за производњу енергије већа је за 14,9 % него претходне године.

Табела 2. Третман отпада у Републици Србији, 2019. година [24]

	t	Опасан отпад %	Неопасан отпад %
Укупно третирано	62.683.732,0	25,2	74,8
Коришћење отпада као горива за производњу енергије	155.544,0	4,1	95,9
Рециклирано	1.622.914,0	3,9	96,1
Отпад за затрпавање/насипање	446.615,0	-	100,0
Одлагање на тло	60.284.571,0	26,0	74,0
Остали начини одлагања	174.088,0	-	100,0

Најзаступљенију опцију третмана комуналног отпада у Србији и на глобалном нивоу, и даље представља депоновање, иако се ова опција сматра најмање пожељном. Примена одређених опција за третман комуналног отпада у највећој мери зависи од економских показатеља, односно од развијености одређене земље. Опасност по животну средину

представља несавесно понашање становништва, као и недовољна покривеност организованим сакупљањем комуналног отпада, што резултује стварање све већег броја дивљих депонија.

Као што је претходно описано, количина отпада се повећава на глобалном нивоу, а удео стаклене амбалаже је значајан. Стаклени отпад има одређене предности у рециклажи, о којем ће се говорити у наредном поглављу.

3. Стакло и утицај стаклене амбалаже на животну средину

Стакло је прозиран, аморфан, чврст, крт и хемијски постојан материјал. Захваљујући својим физичко-хемијским својствима стакло је нашло примену при производњи амбалаже у скоро свим гранама индустрије. Осим за производњу амбалаже, стакло се као материјал користи у грађевинарству, електроиндустрији, индустрији намештаја, аутомобилској индустрији, и др [25].

Стакленим отпадом који настаје у различитим областима човекове делатности мора се управљати на безбедан начин по животну средину. Са аспекта животне средине, рециклажа је један од најприхватљивијих поступака за управљање овим отпадним материјалом.

У отпадно стакло које може да се рециклира спада стаклена амбалажа од напитака, прозирно равно стакло, тегле, као и крш од ових врста стакла. Да би се отпадно стакло могло искористити у процесу рециклаже, оно не сме да садржи опасна хемијска једињења која се налазе у неким производима (сијалице, екрани телевизора, амбалажа од опасних супстанци и др.). Исто тако, стаклени отпад не сме да садржи нечистоће као што су метали (гвожђе, алуминијум), неорганске супстанце (порцелан, шамот и др.), а ни органске супстанце (папир, пластика и др.) које ће онемогућити искоришћење ове секундарне сировине [25].

Сакупљање амбалажног отпада од стакла се обавља на самом месту настанка (у домаћинствима) и из рециклажних контејнера за стакло. Такође, поред искоришћене амбалаже, користи се још и изломљено стакло, односно стаклени крш.

Стакло се највише примењује за производњу амбалаже. Амбалажа има велики значај код пласмана робе на тржишту, а тиме и важност за богатство сваке земље. За израду амбалаже користе се различити материјали: папир, метал, стакло, дрво, текстил, пластика као и њихове комбинације. Ако се амбалажа употребљава само једанпут за паковање робе, говори се о једнократној амбалажи чије је употреба неповољна са аспекта заштите животне средине, за разлику од виšekратне амбалаже која се користи више пута. У многим земљама, производња и потрошња амбалаже бележи нагли пораст уз увођење нових материјала и нових техника паковања. Све већа употреба једнократне, неповратне амбалаже која се одбацује као отпад има све неповољнији утицај на загађивање околине, па се овом питању посвећује посебна пажња [26].

Стаклена амбалажа је незамењива у одређеним индустријским подручјима, као што су: прехранбена индустрија, фармацеутска индустрија, козметика, хемијска индустрија као и медицинска делатност која је незамислива без стаклене амбалаже. Амбалажно стакло је хемијски стабилно, неутрално, што омогућује дуже одржавање производа у стакленој амбалажи без промене њиховог састава. Недостатак стаклене амбалаже је њена знатна тежина и слабија механичка отпорност. У последње време све се више израђује стаклена амбалажа са танким зидовима, не смањујући при том механичка својства, повећава се асортиман, смањују се губици у транспорту и све се више

повећава проценат рециклираног стакленог отпада. Уз све предности стаклена амбалажа има свој животни век [27].

Након употребе, стаклена амбалажа завршава у spremnicima старог стакла или ако свест потрошача још увек није довољно изграђена, она завршава на депонији. У првом случају стакло се враћа поновно у процес производње као стаклени лом, а у случају да стакло заврши на депонији оно ничим не угрожава околину, што се не може рећи за друге материјале који се користе као амбалажни материјал. На слици 7 дат је изглед неколико врста стаклене амбалаже.



Слика 7. Врсте стаклених амбалажа

Стакло је материјал који се може у потпуности рециклирати, што значи да се од 1 t стакленог лома, уз додатак енергије, добије 1 t нове стаклене амбалаже, једнаког квалитета (затвара се кружни ток производа).

Коришћење стакленог лома у производњи стаклене амбалаже има одређене предности:

- смањује се употреба примарних сировина (песак и сода којих у природи има у ограниченим количинама),
- смањује се и количина утршене воде потребне приликом њихове експлоатације,
- смањује се потрошња енергије,
- смањује се емисија штетних гасова у атмосферу,
- растеређују се комуналне депоније (око 8-10 % смећа чини стаклени лом).

У идеалним условима стакло се може неограничено пута рециклирати. Два основна сакупљача и извора повратног стакла су :

- предузећа која користе амбалажно стакло у својој производњи – технолошки стаклени лом, и
- комунална предузећа – која прикупљају стаклени лом од грађана.

Одлагање отпада у чланицама Европске уније на данашњем степену развоја технике и технологије врши се у уређене депоније отпада са веома великим степеном сигурности за заштиту околине.

ЕУ је највећи светски произвођач стакла са тржишним учешћем од око трећине укупне светске производње. У 2018. години, производња стакла у ЕУ-28 достигла је запремину од 36,5 милиона тона, што је мало повећање од 0,2 % у поређењу са 2017. годином, што би могло указивати на то да се тржиште стабилизује. Од 2016. сви стаклени сектори су успели да повећају или задрже ниво производње захваљујући оживљеном привреди, углавном у грађевинарству, аутомобилској индустрији, енергетици, инжењерству и прехрани услуге [28].

У 2017. години у Европској унији је настало 174 килограма амбалажног отпада по становнику (варирајући од 64 килограма по становнику у Хрватској и 231 килограма по становнику у Луксембургу).

Од 2007. до 2017. године папир и картон били су главни отпадни материјал за паковање у ЕУ (31,4 милиона тона у 2017. години), затим пластика и стакло (14,5 милиона тона за пластику и 14 милиона тона за стаклене отпадне материјале у 2017. години) [29].

Да би се позабавила проблемима, Европска унија је усвојила неколико законских оквира који се односи на стаклени отпад и на амбалажни отпад уопштено. Оквирна директива о отпаду (енгл. *Directive 2008/98/EC on waste*) утврђује општа начела и приказује хијерархију управљања отпада уопште, док Директива о амбалажи и амбалажном отпаду (енгл. *Directive on packaging and packaging waste - 94/62/EC, 2004/12/EC*) тежи се томе да хармонизује националне мере за управљање амбалажним отпадом и смањи утицаје амбалажног отпада на животну средину,

У Републици Србији управљање отпадом је утврђено Националном стратегијом о управљању отпадом - са програмом приближавања ЕУ, из 2003. године. Наведена стратегија је ревидирана и усвојена под називом Стратегија о управљању отпадом за период 2010-2019. године, а овом Стратегијом дефинишу се краткорочни и средњорочни циљеви за управљање чврстим отпадом.

Уредбом о утврђивању Плана смањења амбалажног отпада за период од 2020. до 2024. године утврђује се низ циљева за поновно коришћење и рециклажу амбалажног отпада.

Управљање амбалажом и амбалажним отпадом у Републици Србији је дефинисано Законом о амбалажи и амбалажном отпаду. Закон о амбалажи и амбалажном отпаду је донет 2009. године. Захтеви се односе на успостављање организације управљања амбалажом и амбалажним отпадом, као и захтеви из Одлуке (енгл. *Commission Decision*

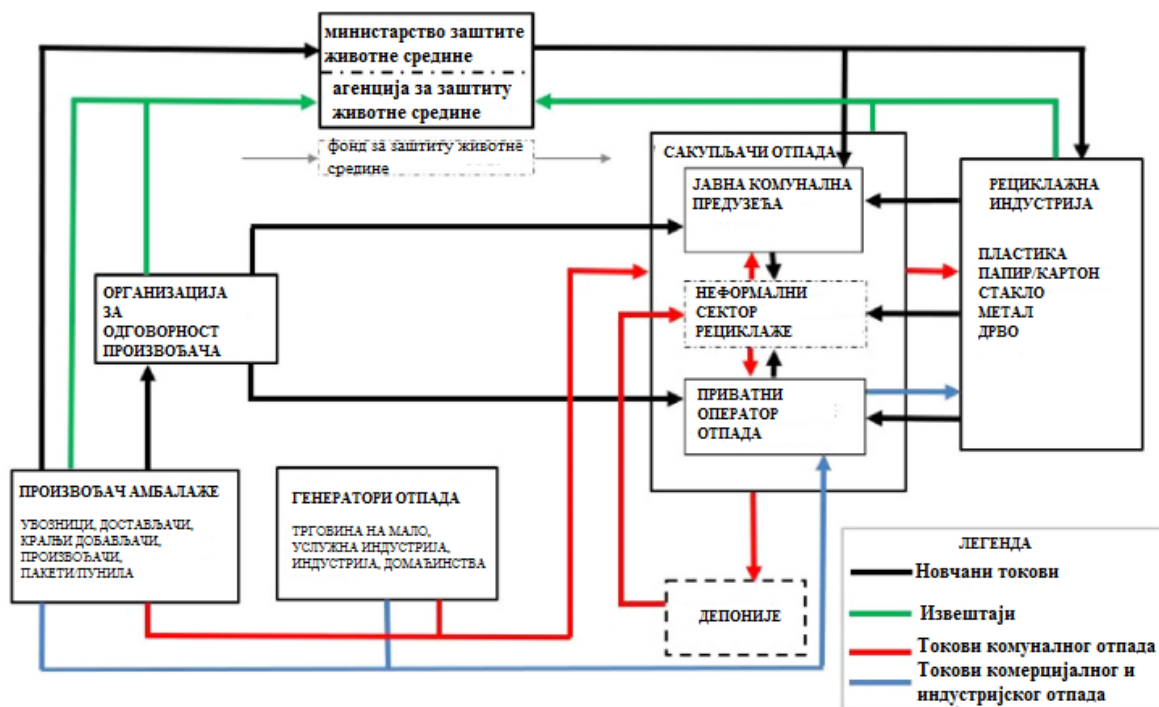
of 19 February 2001 establishing the conditions for a derogation for glass packaging in relation to the heavy metal concentration levels established in Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste) о условима за смањење концентрације тешких метала у стакленој амбалажи [30].

Агенција за заштиту животне средине Републике Србије је одговорна за прикупљање званичних статистика о амбалажи и амбалажном отпаду. Количина стаклене амбалаже 2019. године која је преузета од стране оператера система управљања амбалажним отпадом за потребе рециклаже у Републици Србији износи 27.743,7 тона [31].

Проблем са одлагањем стакла у Србији је тај што је број рециклажних контејнера мали. Људи немају навику да стакло одвоје од остатка отпада. Кафићи, ресторани, кафане, често одбацају велике количине отпада на сметлишта и депоније.

Предузећа која производе или управљају амбалажом и амбалажним отпадом имају обавезу да у свом раду поступају у складу са одредбама наведеног закона, а затим да достављају извештаје надлежним органима.

Систем управљања амбалажом и амбалажним отпадом представљен је на слици 8.



Слика 8. Систем управљања амбалажним отпадом у Републици Србији [32]

Приказана шема је израђена у складу са Извештајем о управљању амбалажом и амбалажним отпадом у 2018. години, као и са истраживачким радом „Efficiency of packaging waste management in a European Union candidate country“.

3.1. Прикупљање и сортирање стакла

Прикупљање стакла од грађана обавља се специјалним посудама за ту намеру и њиховим пражњењем посебно прилагођеним возилима. Пражњење посуда за отпадно стакло обавља се на самим локацијама његовог настанка, зависно од потребне динамике произашле из потреба прикупљања стакленог отпада на одређеној микролокацији.

Прикупљање стакла за рециклажу одвија се помоћу посуда за стакло које се постављају на одређеним подручјима па се укупан број посуда распоређује зависно од броја становника и густине насељености.

Отпадно стакло прикупљено из мреже посуда за стакло прерађује се на пет различитих линија за прераду стакла зависно од квалитета, врсте стакла и количине. Процес прераде обухвата гранулисање, одстрањивање грубих нечистоћа, одвајање по бојама, просијавање, фино чишћење и завршну контролу. Такође и остале врсте неопасног отпада (ПЕТ, отпадни папир, ...) за рециклажу и у разним облицима пласирају као сировине или полупроизводи фабрикама које употребљавају обрађени отпад у својој производњи.

Контејнери за стакло су обично зелене боје и у овај контејнер могу се одлагати боце и тегле (слика 9). Пре одлагања стаклену амбалажу треба испразнити, скинути чепове и затвараче. Боце се не морају одвајати по бојама јер се то ради накнадно у фабрици. У зелене контејнере за стакло не сме се одлагати прозорско стакло, керамичко посуђе, сијалице и остале врсте стакла као што је болничко и лабораторијско стакло.



Слика 9. Контејнер за стаклену амбалажу [33]

Постоје три облика контејнера у којима се сакупља стакло:

- појединачни контејнери за сакупљање стакла – ови контејнери се користе за сакупљање мешовитог (разнобојног) стакла или се могу користити и за сакупљање стакла по боји (провидно или обојено стакло),

- контејнери са две преграде за сакупљање стакла – ови контејнери имају два раздвојена одељка, један за провидно, један за обојено стакло, и
- контејнери са три преграде – ови контејнери имају три одељка, један за провидно, један за зелено и један за тамно стакло.

Сво амбалажно стакло које се прикупља, рециклира се у фабрици за производњу стаклене амбалаже. Стакло се раздваја по бојама провидно, зелено, тамно, ако то већ није учињено одлагањем у одговарајуће контејнере, али могуће је стаклени отпад оставити и мешано за производњу стаклених предмета који се неће користити као амбалажни (украси и сл.).

Одлично својство стакла је да га је могуће у потпуности и безброј пута рециклирати. Удео стакла у кућном отпаду износи око 10 %. Битан услов за рециклажу стакленог крша је истоветност хемијског састава (нпр. стаклени крш од прозорског стакла не може се употребљавати за производњу амбалажног стакла и обрнуто). Стога је важно да се у контејнере за стаклену амбалажу не убацују друге врсте стакла осим амбалажног. Стакло се производи од смесе природних сировина и стакленог крша. Употребом стакленог крша у производњи стакла штеди се природна сировина, енергија, али и депонијски простор [26].

На слици 10 види се пример депоније на којој је непотребно одбачено стакло које се могло рециклирати и тако не само избећи загађење земљишта и нарушавање околине већ и уштедети енергија и обезбедити предности који се добијају његовим рециклирањем.



Слика 10. Депонија стаклене амбалаже

Стакло одбачено на депоније никада се неће разградити, а може да се рециклира небројено пута. Технолошки процес рециклаже стакла захтева 40 % мање енергије него његово добијање из природних сировина [31].

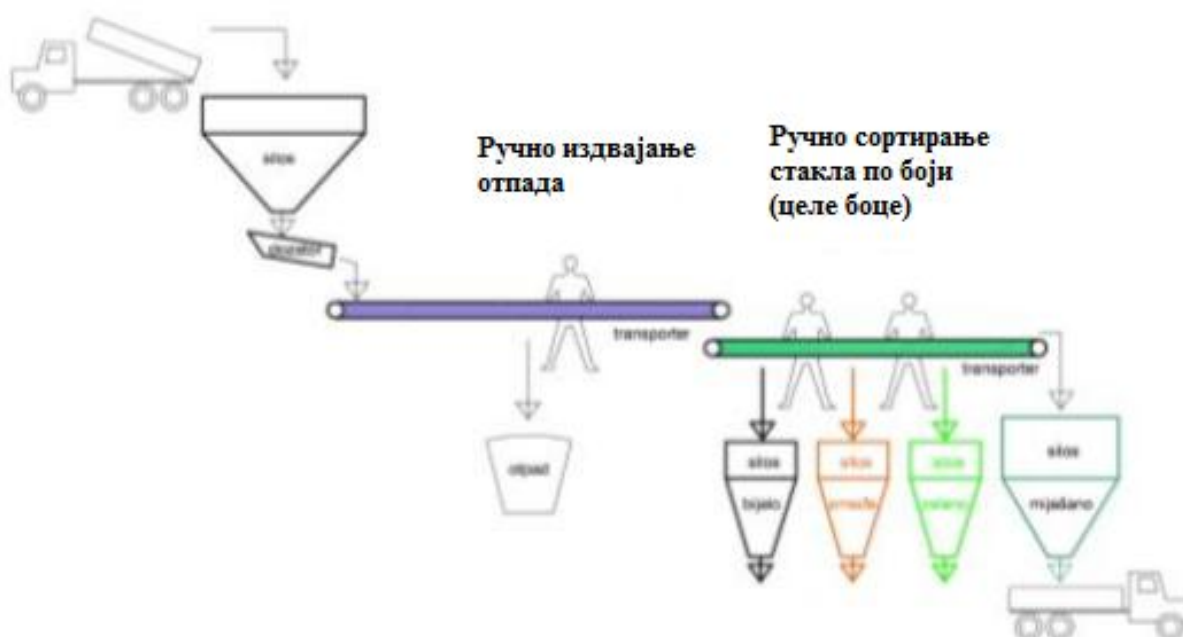
3.2. Технолошки процес рециклаже отпадног стакла

Отпадно стакло је инертан материјал и спада у групу материјала који нису опасни по животну средину. Овај отпадни материјал представља вредну сировину за чију се рециклажу користе различити технолошки поступци. Оправданост рециклаже отпадног стакла је вишеструка и састоји се из неколико фаза. Основне фазе технолошког процеса рециклаже овог материјала су [25]:

- сепарација,
- дробљење, и
- поновно коришћење.

Сво амбалажно стакло које се прикупља рециклира се у фабрици за производњу стаклене амбалаже. Овде се стакло раздваја по бојама (провидно, зелено, тамно), ако то већ није учињено одлагањем у одговарајуће контејнере [26].

На слици 11 је дата шема сортирнице у једној фабрици где се може видети да се стакло сортира по боји у четири поменуте групе (провидно, тамно, зелено и мешано).



Слика 11. Шема сортирања стакла у фабрици

Сакупљени стаклени материјал се кроз машину (слика 12) која личи на левак (енгл. *Hopper*) пропушта до конвејера. Иако је систем дизајниран да процесуира стакло одвојено од осталог отпада, оспособљен је за отклањање метала, пластичног и осталог материјала. Прво, метал се помоћу магнета подиже са траке и оставља у контејнер за

отпатке. Флаше и остало стакло се транспортује до јединице (енгл. *Popper*) која, користећи ротирајуће чекиће, разбија стакло на делиће не веће од 2-3 инча (50-75 mm) у пречнику. Даље, ротирајући бубањ са фиксним сечивом раздваја стакло од папира и фолије (етикете и сл.), после чега се материјал креће до ротирајуће цилиндричне решетке (енгл. *Trommel*). Делићи стакла пролазе кроз решетку до посуде за даље уситњавање (енгл. *Sanding unit*), а остатак отпада наставља до краја траке и упада у канту. У тој посуди стакло се уситњава на делиће без оштрих ивица и чија је величина од 3 mm (прашина) до 19 mm.



Слика 12. Изглед целокупног постројења (десно- *Popper* , лево- *Kason* класификатор)

Коначно, *Касон* класификатор (слика 13) врши одвајање делића стакла који се користе за жељену апликацију. Сортирање стакленог отпада није лак процес посебно пошто је материјал абразиван, и при квашењу или ако се „провуче“ неки део нестакленог отпада кроз решетку - може доћи до проблема.



Слика 13. *Kason* класификатор

Сам процес пропадања стакла кроз решетке се одвија на следећи начин. Машина има 4 решетке које су постављене једна испод друге. Материјал за одвајање се поставља у центар највише решетке чија је ширина пролаза највећа. Делови, чија је величина већа

од тражене, се уз помоћ ротирања самих решетки, крећу на периферију решетки и одбацују се кроз отвор, док делови мање величине пропадају на следећу решетку. Комбинација хоризонталног и вертикалног кретања саме машине помаже да већи делови „иду“ на периферију решетки и да падну. Прва решетка задржава све делиће веће од 13 mm, друга од 10 до 13 mm, трећа веће од 6 до 10 mm, а четврта од 3 до 6 mm (слике 14, 15, 16, 17). Прашина мања од 3 mm пролази и пада на дно машине. Материјал већи од 13 mm се користи за декоративно стакло, оно које је веће од 6 mm за процес филтрације воде и изградњу путева, а они већи од 3 mm за заштиту од влаге на зидовима (слично стакленој вуни) [26].



Слика 14. Делићи стакла већи од 13 mm



Слика 15. Делићи стакла од 10 до 13 mm



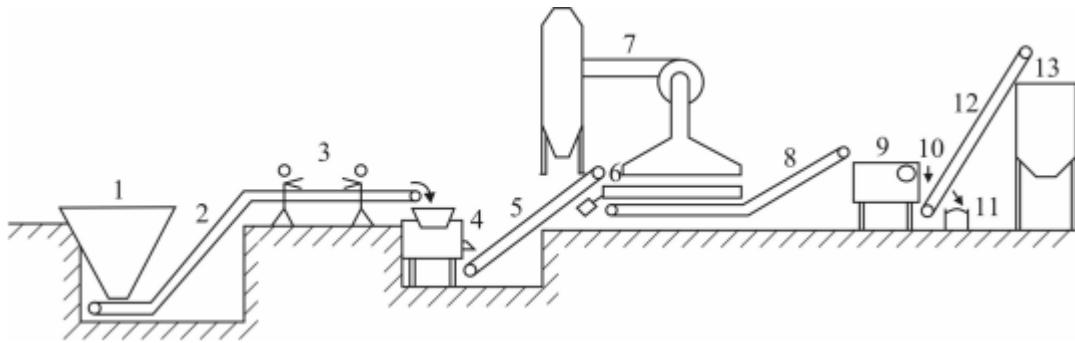
Слика 16. Делићи стакла од 6 до 10 mm



Слика 17. Делићи стакла од 3 до 6 mm

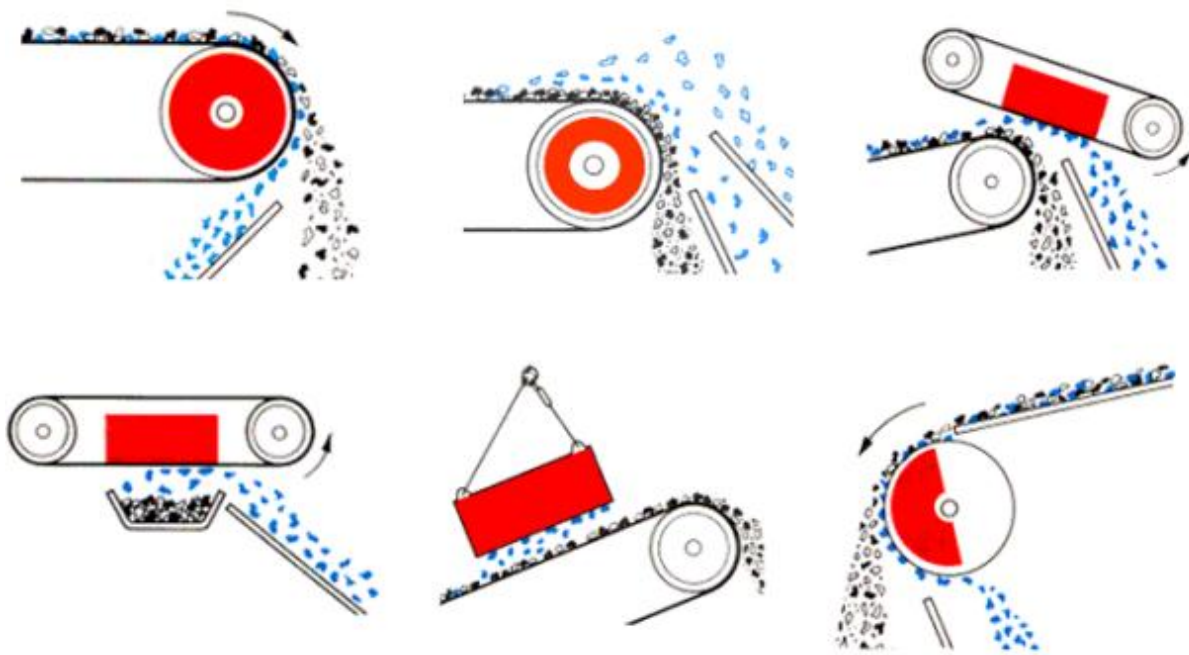
Опрема у предузећима које врше сортирање третман отпадног стакла, показала се као робусна и поуздана и са њом није било већих проблема.

Уколико стаклени отпад није сортиран, процес рециклаже почиње одвајањем стакла од осталог отпада. Сепарација се може вршити ручно или помоћу специјалних уређаја. При ручној сепарацији, отпад се довози на покретну траку, где радници поред одвајања стакла од осталог отпада врше и разврставање стакла по боји. Овде се одстрањују предмети од керамике, камење, пластика и слични материјали. Након тога, стакло се дроби помоћу ваљака и сортира на вибрационом сити на потребну величину што је важно за његово успешно коришћење у поновној производњи. У току ове фазе обраде врши се одстрањивање папира и других лаких предмета. После тога у магнетном сепаратору се врши издвајање магнетичних материјала из стакла [25]. Технолошка шема постројења за сепарацију стакла приказана је сликом 18.



Слика 18. Технолошка шема постројења за сепарацију стакла: 1-усипник; 2-транспортер; 3-ручно одстрањивање нечистоћа (керамика, камење, пластика); 4-дробилнице; 5-транспортер; 6-вибрационо сито; 7-одвајање папира и осталих лаких материјала; 8-транспортер; 9-сепаратор металних предмета; 10-чисто уситњено стакло; 11-издвојени метални материјал; 12 транспортер; 13-складиште чистог уситњеног стакла

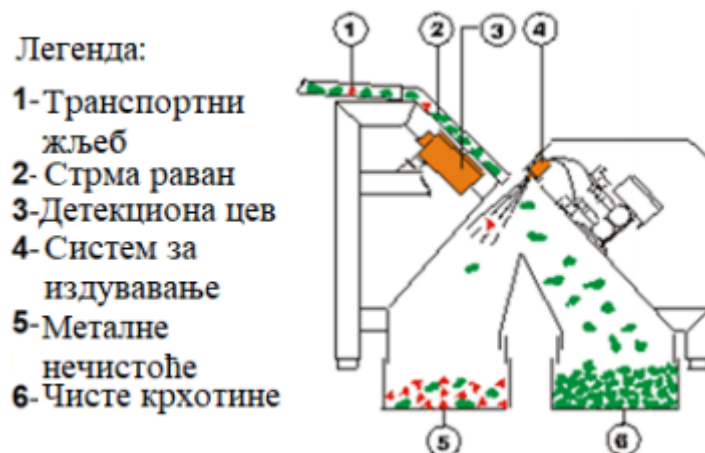
При аутоматизованој сепарацији се користе уређаји разних изведби. За одвајање магнетичних метала од стакла се користе магнетни сепаратори приказани на слици 19 [34].



Слика 19. Конструкциона решења магнетних сепаратора

Сепаратор MAG 4200

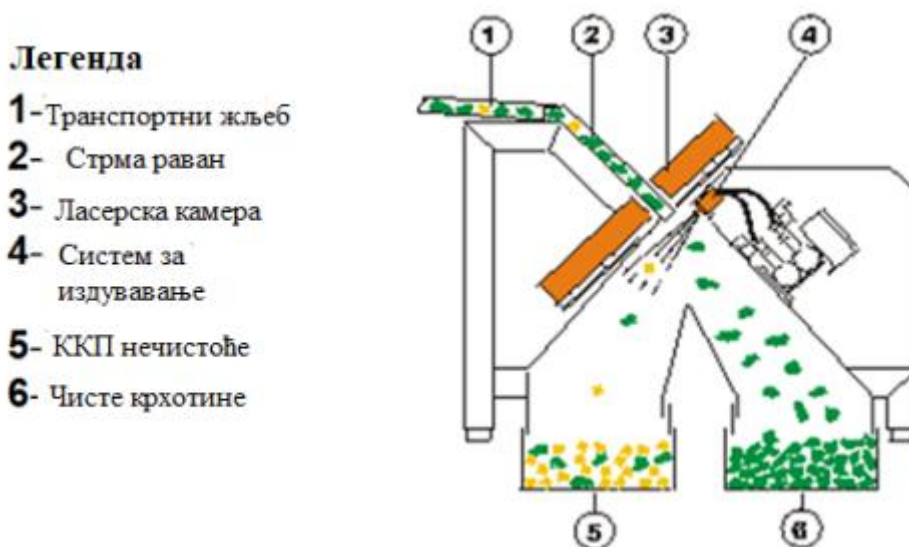
На слици 20 приказан је ток стакленог крша који се доводи на стрму раван, нагнуту под 45° , испод које је смештена високофреквентна детекциона цев. Ова цев, пошто препозна и најмању честицу метала, шаље информацију за активацију система за издувавање, који одува уочену металну нечистоћу.



Слика 20. Сепаратор MAG 4200

Сепаратор LAG 7200

На слици 21 приказан је сепаратор који функционише слично као и сепаратор MAG 4200. Доведени ток стакленог крша се доводи на стрму раван, па преко ње долази у детекциони систем. Овај је опремљен ласерском камером, која просветљује крш и на основу пропусности препознаје да ли се ради о стаклу или о керамици, камену, или порцелану. Ове нечистоће се одстрањују системом за издувавање.



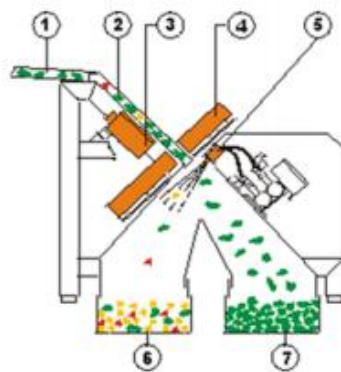
Слика 21. Сепаратор LAG 7200

Сепаратор MALAG 5200

Овај уређај приказан на слици 22 представља комбинацију претходна два описана уређаја. У детекционом систему има и високофреквентну цев и ласерску камеру.



- Легенда:
- 1-Транспортни жлеб
 - 2-Стрма раван
 - 3-Високофрегентна цев
 - 4-Ласерска камера
 - 5-Систем за издување
 - 6-Металне и ККП нечистоће
 - 7-Чисте крхотине



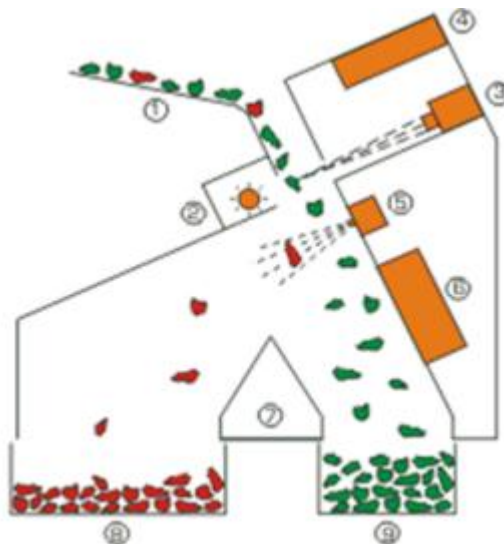
Слика 22. Сепаратор MALAG 5200

Након одстрањивања свих ситних нечистоћа из тока стакленог крша, потребно је разврстати крш и по боји. Ово се може остварити помоћу сепаратора FAG 8100 који је приказан на слици 23.

Као и код раније описаних сепаратора и овде се крш преко стрме равни доводи у детекциону област, где ласер емитује веома концентрисане вишебојне знаке.

Зраци се сакупљају у пријемној оптици која препознаје боју крша на основу пропуштеног ласерског зрака. Ако је уочена непожељна боја крша, активира се систем за издување.

- Легенда:
- 1-Стрма раван
 - 2-Осветљавање
 - 3-CCD редна камера
 - 4-Обрада слике
 - 5-Систем за издување
 - 6-Управљање вентилима
 - 7-Сепарациони зид
 - 8-Нечистоће
 - 9-Чист материјал



Слика 23. Сепаратор FAG 8100

Предности свих набројаних сепаратора су:

- висок учинак уређаја,
- поуздана сепарација при минималном губитку стакла,

- подесиво време и трајање издувавања, и
- аутоматска програмска меморија .

Разврставање стакла има велики значај. Нечистоће у стакленом кршу могу да покваре производњу стакла па чак и да изазову хаварију пећи за топљење.

У следећим табелама 3 и 4 дат је преглед максимално дозвољених количина нечистоћа у кршу и преглед дозвољене количине непожељних боја.

Табела 3. Преглед максимално дозвољених количина нечистоћа у кршу

Врсте нечистоћа	Довољна количина нечистоћа g/100 kg
Немагнетични метали	max. 2,0 g
Магнетични метали	max. 0,5 g
Неоргански материјали	max. 2,0 g
Блистави материјали	0
Органске материје	max. 50 g
Фракције испод 2 mm	max. 10 %
Фракције 2-8 mm	max. 50 %
Мах. величина крша	50 mm

Табела 4. Преглед дозвољене количине непожељних боја

Максимална количина непожељних боја	браон	зелена	бела
у белом стаклу	0,05 %	0,1 %	-
у браон стаклу	-	5,0 %	5,0 %
у зеленом стаклу	5,0 %	-	5,0 %

Након одвајања стакла од осталог отпада и његовог разврставања, по боји следи његово дробљење (слика 24). Дробљење се врши у ротационим (са ваљцима) или дробилицама са чекићима [34].



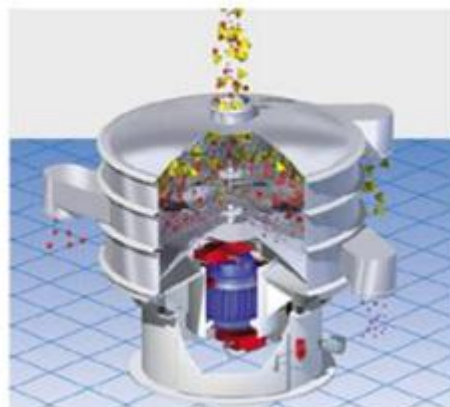
Слика 24. Дробилица

Да би стаклени крш могао успешно да се користи у поновној производњи, неопходно је да буде задовољавајуће величине.

За ову сепарацију се могу користити специјални сепаратори, као што су центрифугални сепаратори (слика 25) или вибрирајући сепаратори (слика 26).



Слика 25. Центрифугални сепаратори



Слика 26. Вибрирајући сепаратор

Стаклени крш, који је одбачен због незадовољавајуће величине се поново враћа у дробилицу. На слици 27 приказана је линија за рециклажу стакла.



Слика 27. Линија за рециклажу стакла

4. Анализа токова материјала

Анализа материјалних токова (енгл. Material Flow Analysis - *MFA*) је метод који се користи за описивање, истраживање и евалуацију метаболизма антропогеног и геогеног система. То је типичан аналитички алат који се заснива на материјалном билансу. Основна карактеристика *MFA* је да се материјали понашају у складу са законом о одржању масе, односно све што уђе у систем мора и да изађе из система. Односно, материја не може нестати, једино се може трансформисати и напустити систем у виду емисија или других нуспроизвода.

MFA је систематска процена токова и залиха материјала у оквиру система који је дефинисан у простору и времену. Повезује изворе, путеве и прелазне или завршне диспозиције материјала. *MFA* се може спроводити на два нивоа, ниво супстанци и ниво добара. Последњу деценију *MFA* је привукла велику пажњу и укључена је у званичним статистичким извештајима у ЕУ. Основни циљ *MFA* је да се побољша разумевање анализираног система, који је предуслов боље контроле и управљања тим системом.

Прве основне принципе *MFA* очувања материје, тј. да је улаз једнак излазу, су постулирали грчки филозофи пре 2000 година. У двадесетом веку *MFA* концепт се имплементирао у разним областима и временским периодима [35].

Анализа токова материјала може се употребљавати у многобројним спектрима, као што су:

- процес снабдевања који се састоји од примарног сектора, укључујући пољопривреду,
- процес производње, укључујући индустрију, трговину и комерцијалу,
- процес потрошње углавном састављен од приватних домаћинстава,
- процес управљања отпадом који обухвата све третмане и отпад произведен од стране свих осталих процеса..

Основни циљ *MFA* јесте да се побољша разумевање анализираног система, који је предуслов боље контроле и управљања тим системом, док су остали циљеви:

Основни циљеви анализе токова материјала су:

- дефинисање „система“ материјалних токова и залиха,
- процењивање квантитативно релевантних токова и залиха,
- проверавање масених биланса, осетљивост и неуобичајености,

- представљање резултата анализе на изводљив, разумљив и транспарентан начин,
- коришћење резултата као основе за управљање ресурсима, животном средином и отпадом,
- праћење акумулације или трошење залиха, као и будућих еколошких оптерећења, и други [36].

MFA су материјални токови и залихе који су резултат економских процеса и значајни су за разумевање проблема у животној средини.

4.1. Методологија *MFA*

Основни термини који су дефинисани методологијом *MFA* су супстанца, производ, материјал, процес, токови и флуксеви, залихе, трансфер коефицијенти, систем и границе система.

MFA је метод за помоћ код доношења одлука код управљања ресурсима, отпадом, као и код управљања животном средином. Познавање токова супстанци у систему управљања отпадом омогућава да се сагледа да ли нека од анализираних супстанци представља ресурс ако је садржана у одређеним материјалима, или оптерећење у животној средину [37].

Примена *MFA* методологије у изради *MFA* студије састоји се од следећих корака:

- дефинисање предмета и циља студије,
- одређивање граница система у времену и простору,
- дефинисање материјала и супстанци (нпр. потрошња воде, захтеви за енергијом, потрошња ресурса, или квантитативно мерење потенцијалних токсичних супстанци, као што је акумулација одређеног тешког метала у животној средини, евалуација потенцијалних токова угљеника у атмосферу насталог као производ људских активности),
- билансирање улаза, излаза и залиха кроз процесе,
- шематски приказ и тумачење резултата

MFA се може примењивати на различитим нивоима: интернационалном, националном, регионалном, на нивоу заједница и на нивоу предузећа.

На слици 28 је приказан итеративни поступак израде MFA студије.



Слика 28. Процес израде MFA студије

4.1.1. Основна терминологија MFA

Супстанца (енгл. *Substance*) је било који (хемијски) елемент или једињење састављено од једнообразних јединица. Све супстанце се одликују јединственим и идентичним саставом и стога су хомогене, тако да се може рећи да дрво није супстанца. Састоји се од много различитих супстанци као што су целулоза, водоник, кисеоник и многе друге. Супстанце су важне за управљање животном средином и ресурсима. Они одређују вредност или опасност добра [37].

Материјална добра (енгл. *Good*) је израз који описује робу и производе. Углавном се користи као роба која се дефинише као привредни субјект материје са позитивном или негативном економском вредношћу. Роба се састоји од једне или више супстанци. Обично се користи за описивање добара са позитивном економском вредношћу и ретко се примењују на робе негативне вредности. Постоји само неколико добара која немају економску вредност, попут ваздуха или магле.

Материјал (енгл. *Material*) служи као термин за супстанцу и робу, на пример, угљеник као и дрво могу се сматрати материјалом.

Процес (енгл. *Process*) се дефинише као транспорт, трансформација или складиштење материјала. Процеси потрошње попут приватних домаћинстава трансформишу робу у отпад и емисије. Трансформација материјала није ограничена на антропогене процесе већ је још важнија за природне системе. Примери су шуме које трансформишу угљен-диоксид у кисеоник и биомасу и земљишта на којима се остаци биомасе трансформишу у хумус и CO₂. Такође се као процес може описати и транспорт робе, људи, енергије и информација. Током процеса превоза роба која се премешта не трансформише се већ се премешта на одређено растојање. Процес транспорта покрива све материјалне токове који су потребни за обављање транспорта и сав отпад и емисије који настају у транспорту. Процеси трансформације и транспорта симболизовани су правоугаоним оквирима. Обично су процеси дефинисани као процеси црне кутије, што значи да се процеси унутар оквира не узимају у обзир. Само су улази и излази од интереса. Ако то није случај, процес се мора поделити на два или више потпроцеса.

Ток (енгл. *Flow*) се дефинише као однос масе у времену (kg/s), а **флукс** (енгл. *Flux*) је дефинисан масом материјала у јединици времена кроз јединичну површину (kg/(s*m²

Због закона о одржању материје, резултати *MFA* могу да се контролишу једноставним материјалним билансом, при чему се пореде сви инпути, залихе и резултати процеса. Равнотежа између производа и супстанци кроз процес узимајући у обзир улазе и излазе приказана је у следећој једначини:

$$\sum_{n=1}^i \text{Input}_i = \sum_{n=1}^i \text{Output}_j + \Delta S \quad (4.1)$$

Једначина 4.1 показује да је маса свих улазних токова материјала у неки процес једнака збиру масе свих излазних токова и промени масе залиха тог процеса.

Залиха (енгл. *Stock*) је дефинисана као акумулација или деградација материјала у процесу. Залиха је у једначини 4.1 је означена као ΔS .

Трансфер коефицијент (енгл. *Transfer coefficient - TC*) назива се још коефицијент преноса, описује расподелу добра или супстанце у процесу, било за одређени појединачни улаз или за збир свих улазних података. Једначине 4.2 и 4.3 показују улазе са различитим вредностима *TC*:

$$\dot{m}_{\text{output},j} = \sum_{i=1}^{kI} TC_{i,j} \cdot \dot{m}_{\text{input},i} \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^{kI} TC_{i,j} = 1 \quad (4.3)$$

Једначине показују излазе са еквивалентним TC :

$$\dot{m}_{output,j} = TC_j \cdot \sum_{n=1}^{k_1} \dot{m}_{input,i} \quad (4.4)$$

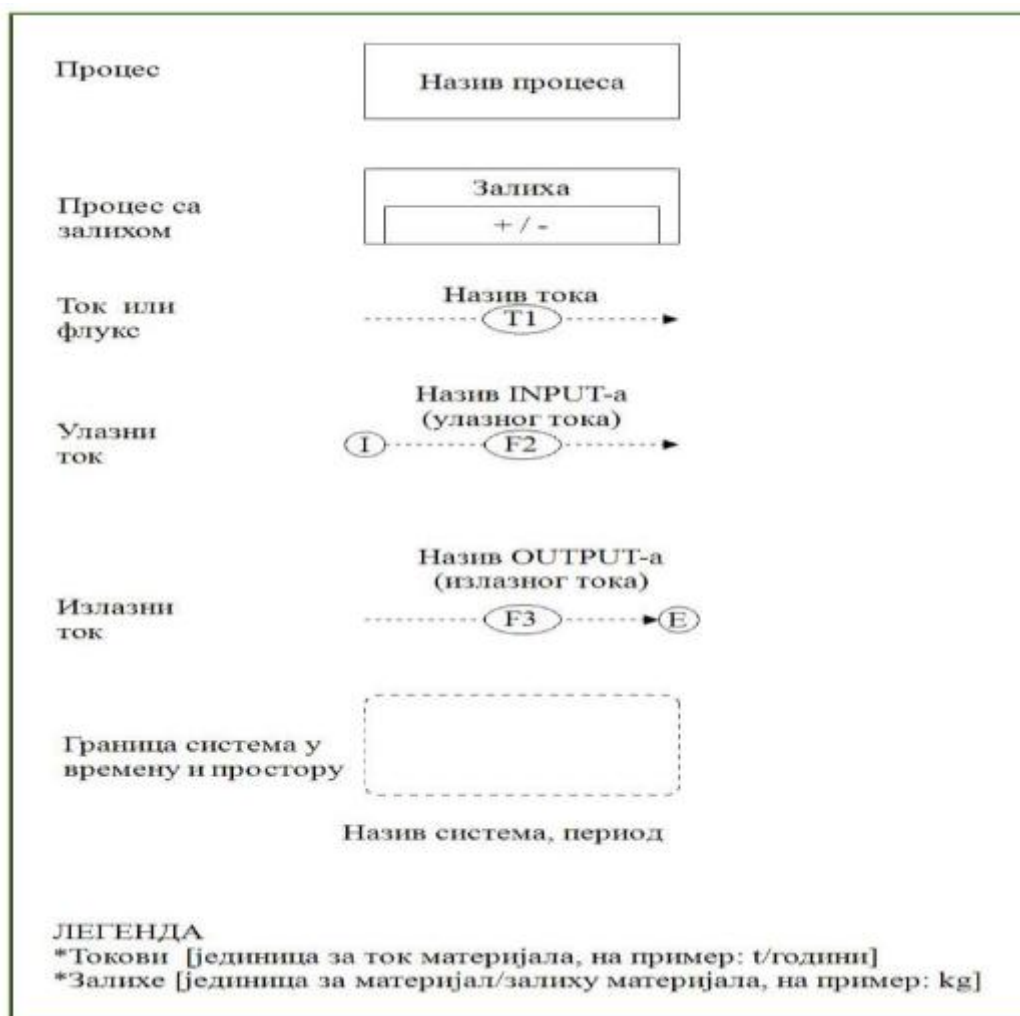
$$\sum_{j=1}^{k_o} TC_j = 1 \quad (4.5)$$

У претходним једначинама k_I означава број улазних токова, k_o означава број излазних токова [36].

Систем (енгл. *System*) је дефинисан групом *MFA* елемената, интеракцијом између ових елемената и граница система које дефинишу читав систем у простору и времену. Границе система имају важну улогу у дизајнирању *MFA*, јер процеси унутар система морају бити балансирани, и морају бити дефинисани у простору и времену.

Сви резултати *MFA* се приказују помоћу дијаграма, који су креирани по *SANKEY* принципу, односно ширина стрелица које означавају токове материјала пропорционална је њиховој вредности.

Симболи који се користе при изради *MFA* модела приказани су на слици 29.



Слика 29. Основни симболи који се користе при изради *MFA* модела

4.2. Симулациони софтвери

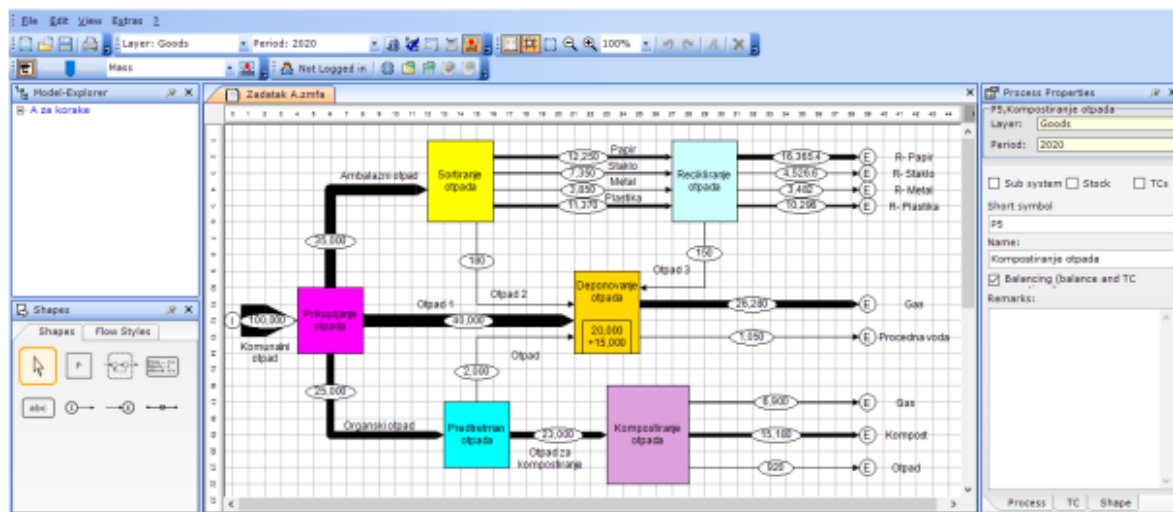
Развијено је неколико софтверских пакета који олакшавају анализу протока материјала.

Употреба одговарајућег софтвера за *MFA* има многе предности [37]:

- графичко моделирање са аутоматским преводом у математички модел,
- база података прикупљених података, укључујући изворну документацију,
- разматрање несигурности података;
- усаглашавање контрадикторних података,
- прорачун непознатих количина масовних токова и залиха;
- компјутеризовани приказ резултујућих токова као *Sankey* дијаграми и други.

4.2.1. Софтвер *STAN*

STAN је слободно доступан софтвер (<http://www.stan2web.net>) који помаже у извођењу *MFA* према аустријском стандарду *ÖNORM S 2096*, (Анализа протока материјала - Примена у управљању отпадом). На слици 30 је приказано радно окружење софтвера [38].



Слика 30. Графички кориснички интерфејс софтвера

Након изградње графичког модела са унапред дефинисаним компонентама (процеси, токови, граница система, текстуална поља) омогућен је унос или увоз познатих података (масовни протоци, залихе, концентрације, коефицијенти преноса) за различите слојеве (материјално добро, супстанца, енергија) и периоде, и у циљу израчунавања непознатих количина.

Сви токови се могу приказати у стилу *Sankey*, тј. ширина протока је пропорционална његовој вредности. Графичка слика модела може се одштампати или извести. За увоз и извоз података користи се *Microsoft Excel* као интерфејс.

5. Примена анализе токова материјала на стаклену амбалажу у Републици Србији

5.1. Дефинисање проблема

У Републици Србији је у односу на количину произведеног и уопште стакла у оптицају, врло мало акредитованих сакупљача, а посебно рециклера ове секундарне сировине. Према подацима Агенције за заштиту животне средине за 2018. годину извезено је 18.712 тона секундарних сировина, а увезено 278 тона секундарних сировина, док се са друге стране огромне количине неповратно одлажу на депоније и сметлишта. Организовано сакупљање ради рециклаже стакла може бити једини одговор на овакво стање и подразумева враћање искоришћеног стакла у производњу и прављење новог корисног производа [22].

Према неким подацима у земљама ЕУ се за производњу новог стакла користи и до 80 % стакла из рециклаже. Сакупљање стакла је потпуно неисплативо јер је цена једног килограма амбалажног стакла од 0,5 до 2,2 динара.

Гледано кроз економску вредност, свакако би требало ићи у правцу организованог сакупљања, јер су позитивни моменти вишеструки. Стакло је материјал у којем се на најбезбеднији начин могу сачувати производи за људску исхрану, у потпуности се може рециклирати, а поступком поновне употребе се штеди знатна количина енергије, штеде природни ресурси, смањују трошкови депоновања и штеди депонијски простор...

Проблем са одлагањем стакла у Србији је тај што је број рециклажних контејнера мали. Људи немају навику да стакло одвоје од остатка отпада, стаклена амбалажа често у великим количинама заједно са комуналним отпадом завршава на депонији.

Стакло има безвременски стил, подложно је променама изгледа али задржава своју чврстину и стабилност, непропусност. Треба знати да је стаклена амбалажа за људе и природу најздравија и најприхватљивија амбалажа [39].

Према подацима који је објављен од стране Републичког Завода за статистику, током 2019. године укупно је генерисано 23.563 тона отпада од стакла. У табели 5 су приказане количине генерисаног отпада од стакла у различитим секторима.

Табела 5. Генерисани отпад од стакла у различитим секторима (2019.) [24].

Назив сектора	Генерисани отпад (t)
Пољопривреда, шумарство и рибарство	12
Рударство	-
Прерађивачка индустрија	10.437
Снабдевање електричном енергијом, гасом и паром	12
Снабдевање водом и управљање отпадним водама	4.338
Грађевинарство	737
Сектори услужних делатности	8.027

На почетку треба напоменути да је рециклажа стакла у Србији прилично неуобичајена: потражња и цене су ниски, велике је тежине (трошкови транспорта су високи), и постоји мало сакупљача. Постоје два ланца снабдевања за рециклажно стакло у Србији. Многи, вероватно већина градова у Србији нема откуп, нити је део једног од ова два ланца снабдевања.

Први ланац снабдевања се бави само неразбијеним стакленим флашама и теглама свих врста и величина. Постоји мала мрежа сакупљача, често појединаца који раде неформално и купују било коју врсту неразбијене стаклене амбалаже, организују и консолидују типове и величине кроз међусобну трампу, и продају или трампе флаше и тегле својој мрежи пунионица пића и произвођача хране. Калимеро Комерц из Крушевца је једини пример ове врсте сакупљања, иако је идентификовано још неколико (углавном појединаца) у другим градовима. Просечна цена за стандардну стаклену флашу или теглу је 3-5 РСД.

Други ланац снабдевања ради са свим врстама амбалажног стакла, разбијеним и неразбијеним. Српска Фабрика Рециклаже (СФР) у близини Алексинца је, чини се, тренутно једини купац у Србији. СФР је приватизована и има 13 запослених радника који раде на ломљењу стакла и сортирању по величини и понекад по боји. СФР има капацитет од 30.000 тона/годишње и сво ломљено стакло се извози. Детаљи о сакупљању су били нејасни али укључују: број контејнера у Алексинцу који су у власништву СФР, индивидуалне сакупљаче, пунионице пића и један број јавног комуналног предузећа и сакупљача комерцијалног и индустријског отпада који су у обавези да сакупљају стакло заједно са осталим отпадом.

Српска Фабрика Стакла (СФС) је српски произвођач стаклене амбалаже. У овом тренутку, СФС рециклира само сломљено стакло из своје фабрике (одбачено), стакло клијената (оштећено), и мали део од приватних сакупљача (чисто). СФС је

заинтересована за рециклажу стакла у већем обиму. Рециклажни капацитети, након приватизације, фабрика је имала 10.000 тона ломљеног стакла у складишту, плус количине за повраћај од стране клијената. Поред тога они редовно имају количину интерног лома који бива рециклиран (разбијено, шкарт, вишак). Дакле, фабрика је неко време покушавала да смањи инвентар ломљеног стакла, и сада се чини да је спремна да преузме озбиљније сакупљање и рециклажу. Поред смањења инвентара, предузете су неке измене у процесу како би се смањиле количине оштећених и шкарт производа.

Што се тиче рециклажне економије постоје два интереса за започињање са рециклажом: најпре због еколошке одговорности а затим и због економије. Једноставно речено, јефтиније је топити стакло него кварц, и самим тим рециклажом се остварује уштеда енергије и смањују трошкови производње. Енергија је највећи трошак у производњи стакла; за сваких 10 % рециклираног стакла, остварује се уштеда енергије за 3%.

Фабрика стакла је заинтересована за сакупљање и рециклирање стакла свих боја. Да би могло да се рециклира, стакло мора бити потпуно чисто без неорганске контаминаности. Неки степен органске прљавштине и прашине се може толерисати, али зато присуство керамике, метала, камена или других неорганских супстанци може оштетити пећи; фабрика већ поседује магнетни сепаратор за метале. Дакле, стакло мора бити очишћено и сортирано да би се рециклирало, а то се може обезбедити или од стране сакупљача, посредника или у самој фабрици. Аутоматска линија за прање и сортирање захтева инвестицију у износу од 3 милиона €, за коју би био потребан кредит или други вид финансирања. Не постоји мрежа сакупљања на коју се могу ослонити; транспорт је такође битан фактор, јер ломљено стакло захтева транспортовање у другачијим контејнерима и камионима од оних у којима се транспортује роба.

Годишња потражња за стаклом у Србији је између 130-150.000 t/год, од чега се у СФС произведе отприлике 30 %, а остатак се увози. Упркос глобалном тренду пластичне амбалаже, СФС наводи да је захтев за стаклом у порасту, посебно за малим нетранспарентним флашама, као што су оне коришћене за вино.

Фабрика стакла нема развијену стратегију за сакупљање рециклажног стакла, иако прихвата повраћај стакла из неких компанија (нпр. Књаз Милош). Сво стакло које тренутно преузима је чисто и не представља опасност за пећи. СФС је имала контаката са сакупљачима, али таква сарадња би захтевала период асистенције и помоћ у развијању мреже сакупљања [40].

У табели 6 је приказана количина стаклене амбалаже пласиране на тржиште Републике Србије, а укупна количина износи 61.979,8 t. Од укупне количине стаклене амбалаже која је пласирана на тржиште, 27.743,7 t је рециклирано [31].

Табела 6. Количина амбалаже пласиране на тржиште Републике Србије

Оператер	Количина амбалаже (t)
СЕКОПАК	34.996,9
ЕКОСТАР ПАК	21.078,6
ДЕЛТА- ПАК	246,1
ЦЕНЕКС	2.858,4
ТЕХНО ЕКО ПАК	1.385,7
ЕКОПАК СИСТЕМ	1.145,9
УНИ ЕКО ПАК	268,2
Укупно	61.979,8

Укупне количине стакла које се сакупе у току једне године се крећу од 8.000 до 10.000 тона. У структури тог стакла индустрија учествује са око 60 %, а сакупљачи око 30 %, а јавна комунална предузећа 10 % [41].

Када је реч о ценама отпадног стакла, подаци су поражавајући. Не само да је материјал као што је стакло скупо транспортовати, већ се ова сировина уопште не налази на било каквој разумној цени, иако је веома употребљива, а њена рециклажа има бројне добробити, како у економском, тако и у просторном смислу и у погледу очувања животне средине.

Када се упореде цене са ценама откупа других секундарних сировина, закључује се да је стакло и у земљама Ервопске уније такође мање цењено од других материјала. Цене откупа стакла су ниске и таква је ситуација увек била на тржишту, не само у земљи, већ и у Европи. Транспорт овог материјала је скуп, а стакло је „готово неисплативо“.

У европским земљама старо сакупљено стакло чини 80 % сировине за стварање новог производа.

Српска фабрика за рециклажу стакла „Грејач“ увози репроматеријал. Једина на просторима Србије, Македоније, Босне и Херцеговине. Постижу се огромне уштеде, пре свега у енергији за производњу нове стаклене амбалаже. С друге стране, знатне количине стакла разне нелегалне фирме – извозе. Свест о значају рециклаже је недовољно развијена у Србији. Док се у развијеним европским земљама око један одсто отпада завршава на депонијама, а све остало се рециклира или се користи за производњу енергената.

Индустријски сектор, има огромну количину амбалажног стакла који се не испоручује фирмама који се баве рециклирањем, већ се извози.

Иначе, после рециклирања у Грејачу, стакло се испоручује индустрији за прераду стакла у земљи и иностранству.

Иако су лименке и пластичне боце све присутније, стаклена амбалажа и даље је у заступљена на тржишту. Домаћинства готово без изузетка не разврставају отпад, док угоститељи одређену количину амбалажног отпада одвајају.

Поделом специјализованих контејнера и набавком нових возила за транспорт отпадног стакла, попуниће се капацитети што ће значити и нова радна места и друге погодности.

Проблем откупа стакла у Србији је у томе што се отпадни стаклени материјал нерационално користи и продаје ван земље, па тако не долази до довољног прилива стакленог отпада који би се могао локално рециклирати и даље производити.

Највећу количину стакленог отпада, пре свега амбалажног стакла, поседује индустријски сектор, највећи део тог стакла се даље продаје трговцима који га касније извозе и препродају као таквог, без даље обраде, само као секундарну сировину. Иначе се под секундарним сировинама у категорији стакла сматрају и стаклени крш и други стаклени материјал.

Сакупљање и прерада стакла је неисплатива делатност, пре свега што је транспорт те сировине скуп. Још један проблем који се тиче рециклаже стакла, и откупа стакла у Србији, јесте процес приватизације који у великој мери прави проблем делатности фирми које би могле да унапреде ову активност у држави, јер све стратегије којима ће се такве фирме даље руководити зависе и од њихових нових управа.

Најисплативија врста стакленог отпада и на чијем се сакупљању, па и откупљању и враћању у промет највише ради су амбалажни стаклени предмети.

У Србији још увек није довољно снажна иницијатива по питању рециклаже уопштено, а посебно када се говори о стаклу.

Најзаинтересованији за испоруку стакленог амбалажног отпада фабрикама за рециклажу је индустријски сектор, али неадекватна организација комуналних служби у локалу ремети функционалан ток таквог процеса, па и не долази до већег прелива стакла у домаће фабрике, па су због тога и приморане на увоз стакла из иностранства.

Проблематика сакупљања и откупа стакла највећим делом лежи у неравномерности цена самог сакупљања и транспорта материјала и његовог откупа, а која се изражава и у 50 према 10 еура по тони у корист прве категорије [42].

Амбалажа брзо постаје отпад, па се подаци о амбалажи пласираној на тржиште углавном узимају и као подаци о генерисаној количини стакленог амбалажног отпада у једној години.

На основу претходно приказаног неопходно је извршити анализу токова материјала и уједно представити дефиницију проблема ове анализе. *MFA* у овом случају може лоцирати токове материјала, односно процесе током животног циклуса стаклене

амбалаже које је могуће унапредити, кроз истовремено смањење екстракције нових сировина као и укупно генерисане количине амбалажног стакленог отпада. *MFA* може помоћи при дефинисању мера, могао би да развије и предложи програм подршке привредницима у сектору стакла. Развој и имплементација програма треба вршити у складу са директивама Европске уније за одржив и равномерни развој.

5.2. Дефинисање система

5.2.1. Дефинисање границе система

Границе система су дефинисане у времену и простору.

У овом раду је географска граница дефинисана територијом Републике Србије.

Процеси унутра *MFA* се одређују временским интервалом, односно годином из које су преузети подаци. У овом раду ће се користити подаци из 2019. године, у случају да за исту годину нису доступни подаци, користиће се последњи доступни подаци.

5.2.2. Дефинисање токова и процеса

Број токова и процеса у току једног *MFA* модела, зависи од циља анализе и њене комплексности.

У овом раду, за анализу токова стаклене амбалаже 10 процеса је приказано моделом.

Ток материјала се карактерише улазима, односно излазима из једног процеса. У спроведеној анализи дефинисано је двадесет токова, од којих је 4 дефинисано као улазни токови, односно „Import“, а 3 су дефинисана као излазни токови, „Export“. Преостали токови су унутрашњи токови, односно улазни/излазни токови из дефинисаних процеса.

У анализираном моделу, улазни токови представљају сировине за добијање стаклених амбалажних производа, увезене секундарне сировине, увезена стаклена амбалажа и увезена материјална добра (производи спаковани у стаклену амбалажу). Производњу и обраду стаклене амбалаже представљају индустрије које користе стаклену амбалажу и произвођачи стаклених амбалажних производа. Потрошњу стаклене амбалаже представљају домаћинства и мала предузећа. Управљање пластичним стакленим отпадом односи се на сакупљање и транспорт комуналног чврстог отпада од стране јавног комуналног предузећа, неформално сакупљање и транспорт отпада, секундарну сепарацију отпада и рециклирање стаклене амбалаже. Стаклени амбалажни отпад се одлаже на неуређене (дивље) депоније, контролисане депоније и санитарне депоније. Излазни токови представљају извоз секундарних сировина и извоз производа у стакленој амбалажи.

[illegible]

Стаклени отпад се прикупља, сортира и продаје локалном предузећу по ниским ценама или извози. Након што потрошачи одбаце стаклени производ, могуће је извршити његову примарну сепарацију. Јавна предузећа прикупљају селектован отпад након чега се врши секундарна сепарација стакленог отпада. Након извршене секундарне сепарације, издвојени стаклени отпад се продаје рециклажним оператерима. Код оператера се даље врши селекција, прање и припрема стаклених производа за рециклажу. Након процеса рециклаже, рециклирани материјал се продаје предузећима као сировина за стаклене производе. У другом случају се без третмана у рециклажним системима извози као секундарна сировина.

Избор супстанци зависи од врсте система који ће се анализирати. У овом раду ће се дефинисати материјална добра, без дефинисања супстанци.

Обзиром да не постоји евиденција о количини произведене стаклене амбалаже у Републици Србији, могуће је користити различите приступе за добијање потребних података за анализу, које ће се користити за дефинисање процеса.

На основу извештаја Агенције за заштиту животне средине, дефинисане су количине увоза и извоза секундарних сировина. Претпоставља се да се укупна количина увезених секундарних сировина од 278 тона, користи у процесу производње амбалажних стаклених производа. Обзиром да се у Србији током 2018. године 27.743,7 тона рециклирано стакленог отпада, док је извезено 18.712 тона стаклених секундарних сировина, закључује се да се нешто више од 9.000 тона секундарних сировина користи поново у процесу производње стаклене амбалаже [22].

Уколико вредност увоза прелази вредност извезених добара и услуга, настаје трговински дефицит, док у супротном случају настаје суфицит. Отпад за чији третман или одлагање на еколошки прихватљив и ефикасан начин нема техничких могућности и постројења у Републици Србији се извози [41].

Количину стакленог отпада коју произвођачи даље шаљу у индустрије које користе стаклену амбалажу (прехранбена индустрија, фармацеутска индустрија...) није позната, али на основу податка о укупној количини генерисаног отпада 2,23 милиона тона и морфолошког састава отпада од стакла у Републици Србији која износи 3,53 %, добија се да је количина стакленог отпада 78.719 тона. Стаклена амбалажа чини 85 % стакленог отпада, односно 66.911 тона. На основу података из Републичког завода за статистику количина генерисаног индустријског отпада коју произвођачи шаљу на контролисану депонију износи 10.437 тона [24].

На основу статистичког извештаја *Glass Alliance* стаклена амбалажа која се увози од стране индустрије која користи стаклену амбалажу износи 9.250 тона, а количина стаклене амбалаже која се извози износи 74.312 тона [28]. На основу Извештаја о амбалажном отпаду, готови производи које индустрије шаљу на даље коришћење (продају) домаћинствима и малим предузећима износи 61.979,8 тона [31].

Од укупно генерисане и сакупљене количине стакленог амбалажног отпада, око 30 % се прикупља од стране неформалних сакупљача.

Количине генерисаног стакленог амбалажног отпада који се одлаже на санитарне, контролисане и неуређене депоније, усвојене су према подацима о просечном обухвату прикупљања чврстог комуналног отпада. Према томе, 87,2 % се одлаже на контролисане и санитарне депоније, док се 12,8 % одлаже на дивље депоније. Претпоставља се да се нешто мање од 30 % стакленог амбалажног отпада прикупљеног од стране јавног комуналног предузећа одлаже на контролисане депоније, док се 60 % одлаже у постројење за секундарну сепарацију (део отпада се преко секундарне сепарације издваја и шаље овлашћеним рециклерима). Највећи део стаклене амбалаже се одлаже на контролисане депоније.

Већина депонија не испуњава минимум техничко-технолошких стандарда. Постојање великог броја неконтролисаних сметлишта представљају један од доминантних начина третмана отпада. Уз постојање санитарних депонија, још увек значајан број депонија не испуњавају минимум критеријума заштите животне средине. Тежи се смањењу депоновања као најмање пожељног третмана отпада. Депоније треба да испуњавају све

критеријуме и тенденција је да се користе само као опција одлагања остатака који остају након других опција третмана отпада.

Велики проблем за развој рециклаже стакла је што у Србији не постоји рециклажа стаклене амбалаже која може од отпадних флаша да прави нове, што би било у највећем интересу како индустрији пића, тако и државе [41].

Увезена материјална добра, односно производи спаковани у стаклену амбалажу коју користе домаћинства и мала предузећа није позната, али се усваја податак тако што се од укупне количине стаклене амбалаже 66.911 тона одузму готови производи који се користе у домаћинствима и малим предузећима, на основу тога се добија количина материјалних добра која износи 4.931,35 тона.

Секундарна сепарација отпада јесте издвајање отпада који има употребну вредност из отпада. Из таквог система 25 % амбалажног отпада се одлаже на санитарну депонију.

5.4. Шематски приказ и интерпретација резултата

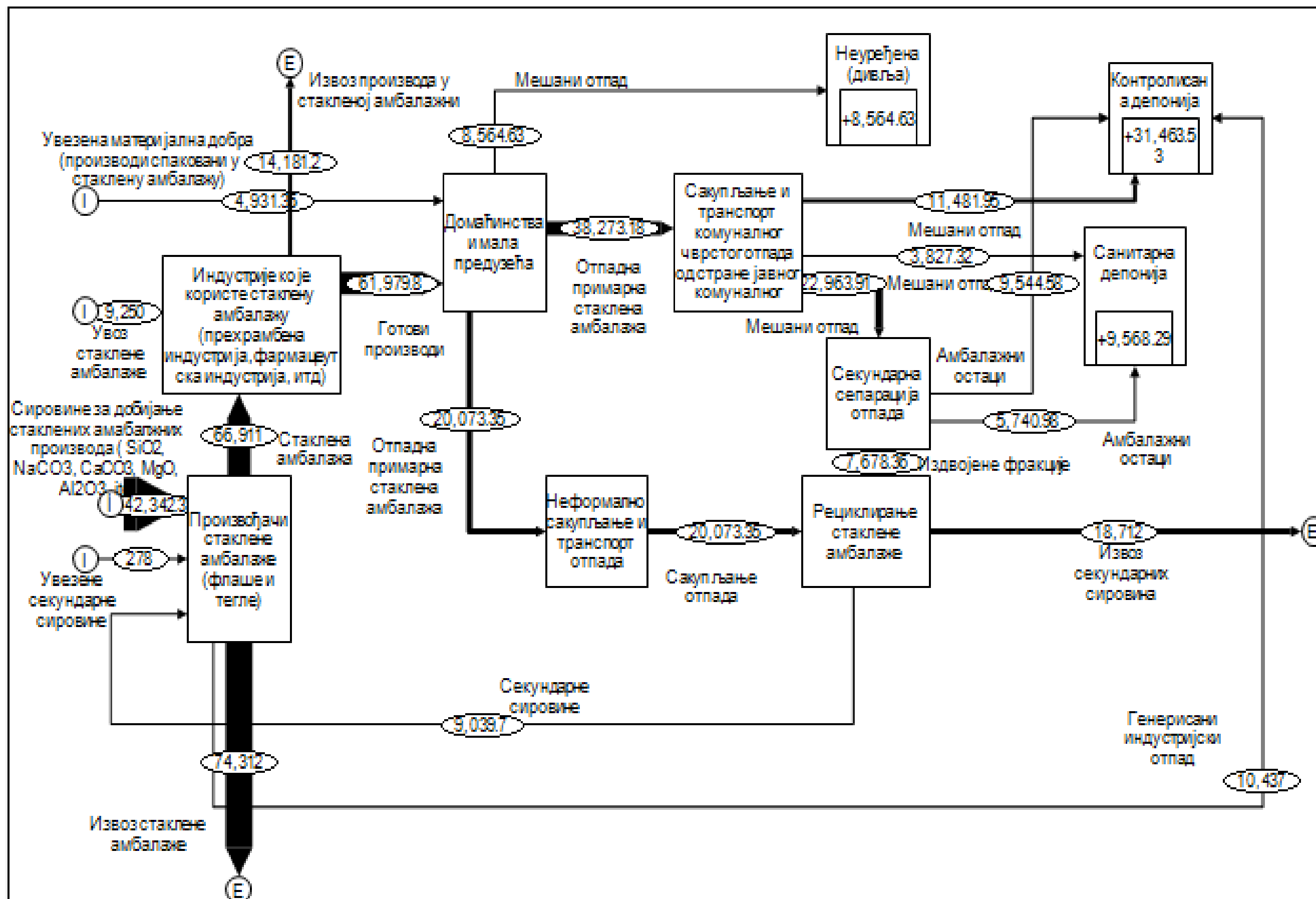
На основу анализе која је спроведена у софтверу *STAN*, количина увезене сировине за добијање стаклених амбалажних производа процењује се на око 142.342,3 тона, док је количина извоза производа у стакленој амбалажи 14.181, 2 тона.

Друга фаза модела формираног у *STAN* софтверу, укључује отпадну примарну стаклену амбалажу из домаћинства и малих предузећа која се сакупља и транспортује од стране јавног комуналног предузећа, а која износи 38.273,18 тона на годишњем, док се 8.564,63 тона одлаже на неуређене (дивље) депоније. Од укупне количине мешаног отпада коју сакупи јавно комунално предузеће 60 % се користи за секундарну сепарацију, односно 22.963,91 тона, одакле се 7.678,36 тона издвојених фракција рециклира, а 30 % се одлаже на контролисане депоније, односно 11.481,95 тона годишње, остала количина од 3.827,32 тона се одлаже на санитарне депоније. Од укупне количине стакленог отпада који се неформално сакупи и транспортује из домаћинства износи 30 %, односно 20.073,35 тона годишње, одакле иста количина прелази у процес рециклирања.

Из процеса за секундарну сепарацију се 25 % амбалажних остатака одлаже на санитарну депонију, односно 5.740,98 тона годишње, а 9.544,58 тона на контролисану депонију.

У трећој фази модела, количина отпада која се депонује на контролисане депоније износи 31.463,53 тона годишње, док се на санитарне депоније одлаже 9.568,29 тона.

Шема тока отпада стаклене амбалаже у Републици Србији је приказана на слици 32.



Слика 32. Шема тока стаклене амбалаже у Републици Србији

6. Препоруке за унапређење система праћења токова стакленог отпада у Републици Србији

Управљање отпадом представља комплексну област која се састоји од више подобласти и која се подудара са другим областима као што је увоз, извоз, трговина...

Током израде мастер рада и прикупљање неопходних података за спровођење анализе, примећена је недоступност података у области управљања отпадом, производње и дистрибуције производа.

Национална статистика трговине (промет робе – увоз и извоз робе) је доступна од стране Републичког завода за статистику. У циљу израде прецизније анализе токова материјала, подаци треба да буду усклађени са подацима које подноси Европска комисија.

Републички завод за статистику у сарадњи са Агенцијом за заштиту животне средине подносе годишње извештаје о стању отпада [43].

Законом о управљању отпадом, предвиђени су обвезници извештавања и то:

- произвођач, власник и/или други држалац отпада, изузев домаћинства,
- правна лица, односно предузетници који учествују у промету отпада,
- произвођач и увозник производа који после употребе постају посебни токови отпада,
- оператер постројења за поновно искоришћење отпада, и
- оператер на депонији.

Број пријављених постројења која у току делатности стварају отпад и постројења која учествују у пословима управљања отпадом је дат у табели 7.

Табела 7. Број пријављених постројења која у току делатности генеришу отпад и постројења која учествују у пословима управљања отпадом

Година	Генерисање отпада	Поновно искоришћење отпада	Одлагање отпада	Увоз отпада	Извоз отпада
2019	4048	342	33	51	104

Број извештаја постројења која учествују у пословима управљања отпадом има благи пораст из године у годину. Евиденција о броју достављених извештаја се води од 2013. до 2018. године је повећан за 56 %, док је 2019. године у односу на прошлу знатно смањен и износи 15.272.

Информације о годишњој генерисаној количини отпада су доступни, али не постоје званични подаци о генерисању отпада према категорији отпада.

Извештаји Републике Србије требало би да подноси годишње извештаје из области управљања отпадом у складу са извештајима из Европске уније.

На основу спроведене анализе токова материјала стаклене амбалаже у Републици Србији предлаже се [44]:

- финансијско улагање у домаће фабрике стакла, помоћ државе за испуњавање капацитета самих фабрика.
- повећати број специјалних контејнера и канти за стаклену амбалажу, самим тим повећати свест грађана о предности рециклаже као и смањење одлагања стакленог отпада на неуређене депоније,
- увођење одвојеног сакупљања амбалажног отпада и његово искоришћавање за добијање нових сировина,
- смањивање увоза сировина за добијање стаклених производа, подстицати националну рециклажу,
- уклањање загађивача из тока прикупљених материјала, бољим одвајањем побољшаће се ефикасност сортирања, заједно са улагањем у бољу опрему за сортирање,
- законом дефинисати услове рада оператера, као и минималне обавезе плаћања накнаде овлашћеним сакупљачима од оператера.

7. Закључак

Одрживо управљање комуналним отпадом постаје један од примарних циљева, уједно и најсложенијих проблема у целокупном систему очувања човекове околине.

Узрок ниске стопе рециклаже стаклене амбалаже у Србији је пре свега, ниска откупна цена стакла, висока цена сакупљања и транспорта отпадне стаклене амбалаже и врло високи трошкови сортирања стакла према боји, које је неопходно, да би се оно искористило као секундарна сировина у производњи нове стаклене амбалаже. Са аспекта заштите животне средине, то представља најбољу могућу опцију управљања стакленом амбалажом. Будући да стакло генерално има високу хемијску и термичку стабилност, његова деградација на депонијама је занемарљива, што повратно, ствара велики проблем на депонијама. Технологија којом би се омогућио виши ниво сепарације, кошта много, а нема финансијског стимуланса у виду субвенција нити у виду такси за одлагање отпада. Све већа количина истог тог стакла на депонијама представља последицу овакве политике.

Конкретно, 85 % стакла у комуналном отпаду чини стаклена амбалажа, и када се прича о рециклажи мисли се на стаклену амбалажу. Од свих врста стакала, стаклена амбалажа је најбитнија у току управљања комуналним отпадом и једино стаклена амбалажа може да се рециклира поновним топљењем у циљу добијања нове стаклене амбалаже. Тај кружни процес рециклаже је фантастичан јер се на тај начин постижу уштеде у потрошњи сировина и енергије од чак 80 одсто него да се производи нова стаклена амбалажа употребом само природних сировина. У пракси, нажалост, због неадекватног нивоа сепарације стаклене амбалаже из комуналног отпада, тешко долази до неких репрезентативнијих количина са којима се може радити. Већина стаклене амбалаже је међусобно измешана, када се говори о различитим бојама стакла (бела, смеђа, зелена), па ју је из тог разлога тешко рециклирати и употребити поново за производњу стаклене амбалаже. Разлог томе је чињеница да се у зависности од боје стакла, температуре топљења стакла разликују, сортирање стакла према боји додатно поскупљује процес, а потребно је имати развијени систем за сакупљање стаклене амбалаже, па у земљама у развоју, стога, највећи део стаклене амбалаже најчешће заврши на депонији. Зато је према статистицима које се воде на нивоу Европе, Србија на веома ниском месту по томе колико рециклира стаклену амбалажу и колико је усклађена са европским директивама.

Основни циљ истраживања, био је анализа токова стакленог амбалажног отпада у Републици Србији. Анализирани су основни појмови управљања комуналним отпадом кроз дефинисање појмова циркуларне и линеарне економије и кроз опције управљања отпадом, које су дефинисане кроз хијерархије управљања отпадом. Након тога, анализирано је стање управљања отпадом у свету, Европској унији и Републици Србији, коришћењем доступних података о количинама генерисаног комуналног чврстог отпада, морфолошком саставу генерисаног комуналног отпада, просечном обухвату прикупљања чврстог комуналног отпада као и методе третмана и одлагање комуналног отпада. Такође је анализирано стакло и утицај стаклене амбалаже на

животну средину, прикупљање и сортирање стакла као и технологије за рециклажу и сепарацију стакла.

Фокус рада је на анализи токова материјала, који су такође анализирани као и методологија и основна терминологија *MFA* и симулациони софтвер *STAN* у којем се вршила анализа токова стаклене амбалаже. Након тога су анализирани токови материјала стаклене амбалаже у Републици Србији, дефинисањем границе система се односи на границе система територије Републике Србије. На основу доступних података одређени су токови и залихе материјала, након чега је приказан шематски приказ и интерпретација резултата.

Систем у анализираном мастер раду се састоји од четири улаза и три излаза, десет процеса и двадесет токова материјала. За анализу токова материјала стаклене амбалаже у Републици Србији коришћен је симулациони софтвер *STAN*.

На основу податка да је количина генерисаног комуналног отпада у Републици Србији 2,23 милиона тона, 3,53 % представља стаклени отпад, односно 78.719 тона, од којих је 85 % стаклена амбалажа. На основу анализе токова стаклене амбалаже, добијају се подаци да се највећа количина стакленог отпада одлаже на контролисане депоније.

Обзиром да не постоје подаци о стакленој амбалажи у Републици Србији, коришћени су различити приступи за добијање потребних података за анализу. У циљу унапређења система праћења токова стакленог отпада у Републици Србији, прикупљање података и извештавање у области управљања отпадом врши се у складу са базом података Европске уније.

Генерални закључак успостављања система управљања отпадом и система управљања стакленом амбалажом јесте да Република Србија треба да усклади законодавство са директивама Европске уније. Потребна је финансијска подршка како би се систем система управљања стакленом амбалажом побољшао, постављање нових амбициозних циљева у подручју политике, улагања и деловања. Осим тога, потребно је и пронаћи начине за промену тренутно недовољно развијене свести друштва о неопходности управљања отпадом стакленом амбалажом у Републици Србији према начелу хијерархије управљања отпадом.

8. Литература

- [1] Радовановић, Б. (2018). *Финансирање заштите животне средине у Републици Србији*. Докторска дисертација. Факултет за финансије, банкарство и ревизију, АЛФА БК Универзитет, Београд, Република Србија.
- [2] Јовановић, С. (2015). *Моделирање еколошко-енергетских и економских перформанси одрживих технологија управљања чврстим отпадом*. Докторска дисертација. Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац, Република Србија.
- [3] Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., and etc.; *What a Waste 2.0, A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, World Bank Group 2018.
- [4] Степанов, Ј. (2018). *Модел за евалуацију система управљања комуналним отпадом применом методе оцењивања животног циклуса*. Докторска дисертација. Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, Република Србија.
- [5] Интернет страница: <https://konkursiregiona.net/екологија-и-заштита-животне-средине/> Приступљено: 25. август 2020.
- [6] Интернет страница: <http://sfr.rs/o-reciklazi/sta-je-reciklaza-stakla/> Приступљено: 27. август 2020.
- [7] Eurostat statistics explained, Waste statistics. [Интернет страница: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation]приступљено: 2.07.2020.
- [8] Батинић, Б., (2015). *Модел за предвиђање количине амбалажног и биоразградивог отпада применом неуронских мрежа*, Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад.
- [9] Аничич Д., Несторовић О., Милетић В. (2019). *Могућности и ограничења концепта циркуларне економије у Србији, Циркуларна економија - прилика за одрживи развој*, Зрењанин.
- [10] Интернет страница: <http://www.aarhus.org.rs/projekti/promocija-cirkularne-ekonomije/> приступљено: 21.август 2020.
- [11] The European organization for packaging and the environment [Интернет страница: <https://europa.eu/european-council/en/policy/6-eu-waste-framework-directive.html>] приступљено: 28. август 2020.
- [12] Бошковић Г. (2020). *Управљање отпадом*. Е-скрипта. Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац.

- [13] Локални план управљања комуналним отпадом за општину Вршац. Београд, мај 2010. године.
- [14] Lazarevic, D., Buclet, N., Brandt, N. (2010). The influence of the waste hierarchy in shaping European waste management: the case of plastic waste. *Regional Development Dialogue*, 31(2): 124-148.
- [15] Интернет адреса: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20200318-1> приступљено: 11. октобар 2020.
- [16] Републички завод за статистику. (2020). *Статистика отпада и управљање отпадом у Републици Србији, 2008–2010*. Београд.
- [17] СЕПА - Министарство заштите животне средине, *Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2018. годину*.
- [18] Vujić G., Jovičić N., Redžić N., Jovičić G., Batinić B., Stanisavljević N., Altabt Abuhress O. (2010) *A fast method for the analysis of municipal solid waste in developing countries- case study of Serbia*. “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Romania.
- [19] Вујовић С., (2020). *Допринос анализе токова фосфора развоју циљно оријентисаног управљања биоразградивим отпадом*. Докторска дисертација. Факултет техничких наука у Новом Саду.
- [20] Марковић С. Д., (2018). *Развој логистичког модела за управљање комуналним отпадом применом неуристичких метода*. Докторска дисертација. Машински факултет у Нишу.
- [21] ЕЕА- European Environment Agency [online: <https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>] 21.08.2020.
- [22] СЕПА - Агенција за заштиту животне средине, *Управљање отпадом у Републици Србији од 2011. до 2018. године*. Министарство заштите животне средине. Београд, Република Србија
- [23] Службени гласник Републике Србије, *Закон о управљању отпадом*. Београд, Република Србија, Службени гласник број 36/2009, 88/2010, 14/2016 и 95/2018-др.закон
- [24] РЗЗС - Републички завод за статистику. (2019). *Створени и третирани отпад*, Република Србија број 182- год LXX, 02.07.2020.
- [25] С. Симић, М. Станојевић, Н. Карличић, *Специфичности управљања отпадним стаклом*, Машински факултет Београд
- [26] Недић Б., (2019) *Технологија рециклаже*. Е-скрипта. Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац.
- [27] Џунић Д., (2019) *Технологија рециклаже*. Е-скрипта. Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац.

[28] Glass Alliance Europe, statistical report glass [online: <https://www.wko.at/branchen/industrie/glasindustrie/statistical-report-glass-alliance-europe-2018-2019.pdf>] 26. август 2020.

[29] Интернет адреса: https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Packaging_waste_statistics приступљено: 3. октобар 2020. године

[30] *Стратегија управљања отпадом за период 2010- 2019. године* ("Сл. гласник РС", бр. 29/2010)

[31] СЕПА - Агенција за заштиту животне средине. (2020). *Извештај о управљању амбалажом и амбалажним отпадом у 2019. години*. Министарство заштите животне средине. Београд, Република Србија.

[32] Mrkajić V., Stanisavljevic N., Wangb X., Tomasc L., Haro P. *Efficiency of packaging waste management in a European Union candidate country*. Elsevier. Resources, Conservation & Recycling 136 (2018) 130–141.

[33] Интернет адреса: <https://www.jutarnji.hr/domidizajn/savjeti/sto-znace-simboli-na-ambalazi-4618433> приступљено: 11. октобар 2020

[34] Интернет адреса: <https://www.slideshare.net/SuzanaBudisalic/izzs-reciklaza-staklashtampa> приступљено: 7. октобар 2020.

[35] Нешковић - Маркић Д., (2016). *Моделовање и оптимизација управљања комуналним отпадом применом анализе токова материјала и оценом животног циклуса*. Докторска дисертација. Факултет заштите животне средине, Универзитет EDUCONS, Сремска Каменица.

[36] Бошковић Г., (2020). *Анализа токова материјала и упутство за коришћење софтвера STAN 2.6*. Е- скрипта. Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац.

[37] Brunner, P. H., and Rechberger, H. (2017). *Practical Handbook of Material Flow Analysis For Environmental, Resource and Waste Engineers*. 2nd Edition. Taylor & Francis Group/CRC Press. Boca Raton, Florida.

[38] STAN Software for substance flow analysis: Version 2.6 (online: <http://www.stan2web.net/infos/about-stan>), Приступљено: 5. септембар 2020.

[39] Јавно комунално предузеће Сомбор. Република Србија

[40] Комерцијализација секундарних сировина и рециклаже отпада у Србији. (2010). Агенција за међународни развој Сједињених америчких држава USAID.

[41] СФР- (интернет адреса: <http://sfr.rs/staklice-i-uvozimo-i-izvozimo/>) 11.септембар 2020.

[42] Интернет адреса <https://cenazlata.org/otkup-stakla-cene-i-sve-sto-treba-da-znate/> приступљено 19.9.2020.

[43] СЕПА. (2020). *Управљање отпадом у Републици Србији у периоду 2011- 2019*. Министарство заштите животне средине. Београд, Република Србија.

[44] Интернет адреса: <https://www.eea.europa.eu/hr/publications/europsko-izvjesce-o-okolisu> приступљено: 7. октобар 2020.