

# Materijali dobiveni recikliranjem otpadnih vozila mehaničkim postupcima

---

**Prezelj, Matej-Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:516335>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Matej Ivan Prezelj**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Irena Žmak  
Prof. dr. sc. Daniel Rolph Schneider

Student:

Matej Ivan Prezelj

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici Ireni Žmak na svojoj pruženoj pomoći, strpljenju i utrošenom vremenu tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem Frani Kundidu, dipl. ing. i tvrtki CE-ZA-R Centar za reciklažu, članici C.I.O.S. grupe, što su mi omogućili izradu ovog rada, pristup postrojenjima i podacima. Posebno zahvaljujem svojoj majci Borki na podršci tijekom mog cjelokupnog obrazovanja. Zahvaljujem sestri Kristini koja me naučila svim aspektima studentskog života na prvoj godini fakulteta. Nadalje, upućujem zahvalu Josipu Županu, mag. ing. na važnoj pomoći u prvom dijelu studija, kad mi je bilo najpotrebnije. Konačno veliko hvala Nedi i Iloni Sušac na potpori tijekom najtežih dana preddiplomskog studija. Hvala vam svima.

Matej Ivan Prezelj



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

|  |         |
|--|---------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |         |
| Datum:   | Prilog: |
| Klasa:   |         |
| Ur. broj:  |         |

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MATEJ-IVAN PREZELJ** Mat. br.: 0035200619

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Materijali dobiveni recikliranjem otpadnih vozila mehaničkim postupcima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Materials obtained by recycling waste vehicles using mechanical processes**

Opis zadatka:

Otpadno vozilo je vozilo koje radi oštećenja, dotrajalosti i drugih uzroka posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Prosječno se u Hrvatskoj odbaci oko 51000 vozila ili oko 55000 t vozila godišnje. Ovi podaci odnose se na motorna vozila za prijevoz osoba koja osim sjedala za vozača imaju još najviše osam sjedala, na vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase do 3,5 t te na mopede s tri kotača. Gospodarenje otpadnim vozilima i njihovim dijelovima obuhvaća sakupljanje, obradu, ponovnu uporabu dijelova otpadnih vozila, oporabu (ponovnu obradu) i zbrinjavanje novonastalog otpada koji se ne može uporabiti. Pojam recikliranje podrazumijeva svaki postupak oporabe, kojim se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu, osim u energetske svrhe ili za zatrpavanje.

U okviru ovog diplomskog rada potrebno je:


1. opisati hijerarhiju gospodarenja otpadom prema Direktivi o otpadu 2008/98/EZ
2. opisati sustav gospodarenja otpadnim vozilima u prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/2013) i Pravilnikom o gospodarenju otpadnim vozilima (NN 125/2015)
3. opisati sustav IDIS (engl. International Dismantling Information System) i njegove mogućnosti
4. opisati sve faze obrade otpadnog vozila kod ovlaštenog obrađivača otpadnih vozila za područje Republike Hrvatske
5. kvalitativno i kvantitativno ispitati sastav otpadnih materijala na reprezentativnom uzorku dobivenom nakon mehaničke obrade usitnjavanjem krutih komponenti vozila na mlinu čekićaru
6. osvrnuti se na učinkovitost primijenjene tehnologije obrade otpadnih vozila kod ovlaštenog obrađivača i usklađenost s Direktivom o otpadu 2008/98/EZ
7. donijeti zaključke i dati prijedloge za unapređenje obrade otpadnih vozila.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.


Zadatak zadan:  
02. svibnja 2019.

Rok predaje rada:  
04. srpnja 2019.

Predviđeni datum obrane:  
10. srpnja 2019.  
11. srpnja 2019.  
12. srpnja 2019.

Zadatak zadao:  
  
prof. dr. sc. Irena Žmak

Komentor:  
  
prof. dr. sc. Daniel Rolph Schneider

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 1  |
| 1.1. Gospodarenje otpadom u zemljama članicama Europske unije.....          | 1  |
| 1.2. Gospodarenje proizvedenim otpadom u zemljama članicama EU .....        | 4  |
| 2. ZAKONODAVNI OKVIR ZA OTPAD .....   | 9  |
| 2.2. Zakonodavni okvir gospodarenja otpadom Republike Hrvatske .....        | 11 |
| 2.3. Gospodarenje otpadnim vozilima .....                                   | 12 |
| 2.3.1. Zahtjevi na sakupljanje, skladištenje i obradu otpadnih vozila ..... | 16 |
| 3. MEĐUNARODNI INFORMACIJSKI SUSTAV ZA RASTAVLJANJE OTPADNIH VOZILA .....   | 18 |
| 4. POSTUPAK RECIKLIRANJA OTPADNOG VOZILA .....                              | 26 |
| 4.1. Preuzimanje otpadnog vozila .....                                      | 27 |
| 4.2. Uklanjanje radnih tekućina .....                                       | 27 |
| 4.2.1. Uklanjanje goriva i otpadnog ulja .....                              | 28 |
| 4.3. Usitnjavanje materijala .....  | 28 |
| 4.3.1. Podjela strojeva za usitnjavanje .....                               | 28 |
| 4.3.2. Industrijsko usitnjavanje otpadnih vozila .....                      | 31 |
| 4.4. Usitnjavanje i sortiranje .....  | 34 |
| 4.5. Pregled postupaka razvrstavanja materijala .....                       | 35 |
| 4.5.1. Razvrstavanje pomoću zračnih struja .....                            | 35 |
| 4.5.2. Razvrstavanje električnim i magnetskim postupcima.....               | 37 |
| 4.6. Sastav otpadnih materijala .....                                       | 38 |
| 5. ZAKLJUČAK.....   | 43 |
| LITERATURA.....   | 45 |

## POPIS SLIKA

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Slika 1.1  | Hijerarhija gospodarenja otpadom [4].....   | 3  |
| Slika 1.2  | Životni ciklus proizvoda [5].....   | 4  |
| Slika 1.3  | Proizvodnja otpada s obzirom na gospodarski sektor i kućanstva [6] .....  | 5  |
| Slika 1.4  | Količine proizvedenog otpada (kg) po glavi stanovnika EU, 2016. [6].....  | 6  |
| Slika 1.5  | Stopa primjene postupaka obrade otpada u EU, 2004.-2016. [6].....   | 8  |
| Slika 2.1  | Broj vozila u svijetu (u tisućama), 2006.-2015. [8].....  | 12 |
| Slika 2.2  | Prosječna starost automobila, 2015. [8] .....   | 13 |
| Slika 2.3  | Broj otpadnih vozila u Republici Hrvatskoj, 2001.-2014. [8].....  | 13 |
| Slika 2.4  | Masa prikupljenih otpadnih vozila, 2009.-2014. [8] .....  | 14 |
| Slika 2.5  | Udjeli pojedinih materijala u automobilima srednje klase [8] .....  | 15 |
| Slika 2.6  | Odnos uplaćenih i isplaćenih naknada za gospodarenje otpadnim vozilima, 2007.-<br>2014. [8] .....                 | 16 |
| Slika 3.1  | Prikaz dostupnih proizvođača automobila u IDIS sustavu [9] .....  | 19 |
| Slika 3.2  | Odabrani model automobila [9] .....   | 20 |
| Slika 3.3  | Raspoloživi elementi vozila koji sadrže baterije [9] .....  | 21 |
| Slika 3.4  | Popis osnovnih informacija o odabranom dijelu [9] .....   | 22 |
| Slika 3.5  | Generički prikaz vozila za odabrane pirotehničke naprave [9].....   | 23 |
| Slika 3.6  | Otpadne tekućine u vozilu [9] .....   | 24 |
| Slika 3.7  | Prikaz polimernih dijelova automobila [9].....  | 24 |
| Slika 3.8  | Interaktivni prikaz katalizatora vozila [9] .....   | 25 |
| Slika 4.1  | Shema mlina čekićara [12] .....   | 29 |
| Slika 4.2  | Shematski prikaz udarnog mlina [13] .....   | 30 |
| Slika 4.3  | Shema valjcima potpomognutog mlina [12] .....   | 30 |
| Slika 4.4  | Shematski prikaz mlina s brusnim pregradama [12] .....  | 31 |
| Slika 4.5  | Stroj za usitnjavanje <i>Lindemann Zerdinator</i> [12].....   | 32 |
| Slika 4.6  | Tok materijala pri procesu usitnjavanja [14].....   | 33 |
| Slika 4.7  | Shematski prikaz postupka razvrstavanja propuhivanjem [8].....  | 36 |
| Slika 4.8  | Varijante zračnog separatora: protustrujna metoda (a), poprečna metoda (b),<br>centrifugalna metoda (c) [8] ..... | 36 |
| Slika 4.9  | Razdvajanje materijala magnetskim poljem [13] .....   | 38 |
| Slika 4.10 | Shematski prikaz masene bilance nakon postupaka demontaže i usitnjavanja [10]<br>.....                            | 41 |

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1.1 Količine proizvedenog otpada u milijunima tona (isključujući mineralni otpad),<br>2004.-2016. u EU po sektorima [6] ..... | 7  |
| Tablica 4.1 Tumač znakova za prikaz toka materijala pri procesu usitnjavanja [14] .....   | 33 |
| Tablica 4.2 Podaci dobiveni analizom masene bilance reprezentativnog uzorka [10] .....  | 41 |



## **SAŽETAK**

Otpadno vozilo je vozilo koje radi oštećenja, dotrajalosti i drugih uzroka posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Gospodarenje otpadnim vozilima i njihovim dijelovima obuhvaća sakupljanje, obradu, ponovnu uporabu dijelova otpadnih vozila, ponovnu obradu te zbrinjavanje preostalog otpada koji se ne može oporabiti. U okviru ovog diplomskog rada opisana je hijerarhija i sustavi gospodarenja otpadnim vozilima prema Pravilniku o gospodarenju otpadnim vozilima te Direktivi o otpadu. Nadalje, predstavljene su mogućnosti IDIS sustava te u nastavku opisane sve faze obrade otpadnog vozila. U eksperimentalnom dijelu kvalitativno i kvantitativno je ispitan sastav otpadnih materijala na reprezentativnom uzorku dobivenom nakon mehaničke obrade. Dan je osvrt na primijenjene tehnologije obrade s obzirom na Direktivu o otpadu 2008/98/EZ te konačni prijedlog za poboljšanje postojećih postupaka obrade.

Ključne riječi: recikliranje, otpadno vozilo, mehanička obrada

## **SUMMARY**

A waste vehicle is a vehicle that is damaged, worn out or in any other way at the end of its life expectancy and a vehicle its possessor discards, intends to discard or has to discard. Waste vehicles and their parts management includes collection, processing, reuse of waste parts, re-treatment and the disposal of residual waste that cannot be reworked. Within this Master's thesis, the hierarchy and waste management systems are described in accordance with state laws and the European Union Waste Directive. Furthermore, the possibilities of the IDIS system are presented and all the waste vehicle processing phases are described. In the experimental part, the materials composition is examined both qualitatively and quantitatively on a representative sample obtained after mechanical processing of the waste vehicle. A review of applied processing technologies with regard to the EU Waste Directive is given and a final proposal on improving the existing processing procedures is made.

Key words: recycling, waste vehicle, mechanical processing

## 1. UVOD

Prethodno stoljeće obilježila su značajna otkrića u znanosti i tehnici. Industrijske revolucije pokretane svjetskim ratovima ubrzale su razvoj društva do te mjere da današnja tehnologija ne može zadovoljiti sve veće zahtjeve čovjeka na protok informacija i dobara. Dvadeset prvo stoljeće obilježava rast informatičke i tehničke industrije i po prvi put dolazi do svojevrstne stagnacije. Postavlja se pitanje održivosti novih tehnologija dok prirodni resursi diljem svijeta bivaju gotovo potpuno iskorišteni. Porast broja ljudi u gradovima nimalo ne pomaže rješavanju tog problema, i dok brdoviti ruralni predjeli gube svoje stanovnike gotovo eksponencijalnom brzinom, oko gradova se akumuliraju brda najnovijeg čovjekovog neprijatelja. Otpad je svakodnevna pojava, od miješanog komunalnog koji se kontinuirano odvozi na odlagališta već punih kapaciteta, pa sve do elektroničkog i električnog otpada čija je vrijednost ipak nešto veća. Jedna od najvećih i najviše razvijanih industrija uz IT-sektor je upravo transportna automobilska industrija. Svake godine izlaze novi, napredniji i bolji modeli prilagođeni svim prohtjevima kupaca. Mobilni uređaji i automobili mijenjaju ruke vlasnika na mjesečnoj bazi, no sve češće je goruće pitanje zbrinjavanja istih tih odbačenih proizvoda koji više ne služe svojoj svrsi.

### 1.1. Gospodarenje otpadom u zemljama članicama Europske unije

Rast broja stanovnika Europske unije zajedno sa sve višim životnim standardom uzrok je sve većim količinama otpada. Prosječni stanovnik odgovoran je za barem pola tone otpada godišnje, a Europska unija proizvede i do tri milijarde tona otpada u istom periodu. Viši životni standard posljedica je tehnološkog napretka i raznolikosti današnjih proizvoda. Takvi proizvodi sve češće su izrađeni od spektra različitih materijala poput polimera, metala, opasnih tvari i vrijednih metala poput platine. Politika upravljanja otpadom Europske unije fokusira se na reduciranje štetnog utjecaja otpada na okoliš i zdravlje ljudi u tom okolišu. Identificiraju se glavni uzroci otpada te se pokušava uvesti novi način razmišljanja kojim otpad više neće biti nužno zlo, već vrijedan resurs u promicanju ekonomije države.

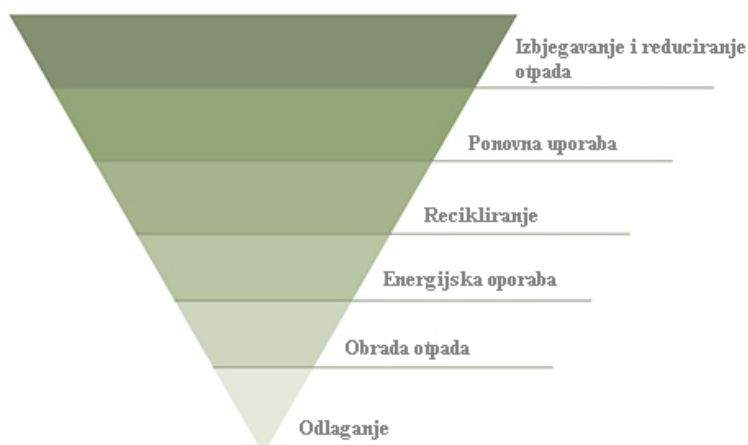
Među odredbama ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih naroda posebno mjesto zauzima odredba 12 kojom se fokus stavlja na održivu infrastrukturu, učinkovitost energije i resursa. Implementacija tih mjera doprinosi snižavanju budućih ekonomskih, društvenih i ekoloških troškova uz smanjenje siromaštva u svijetu i jačanju cjelokupnog gospodarskog sektora. [1]

Jedan od aspekata održivog razvoja i redukcije otpada u svakodnevnom životu jest tzv. pravilo „3R“ kojima se promiču sljedeće aktivnosti:

1. smanjenje stvaranja otpada (engl. *reduce*)
2. ponovna uporaba proizvoda (engl. *reuse*)
3. ponovna uporaba materijala (engl. *recycle*).

Time se potiče smanjenje stvaranja otpada izbjegavanjem korištenja jednokratnih, tj. kratkotrajnih proizvoda, ponovna uporaba rabljenih proizvoda ili njegovih dijelova u istoj namjeni te ponovna uporaba materijala recikliranjem. Pritom se recikliranje odnosi na svaki postupak uporabe, kojim se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu. Recikliranje uključuje i ponovnu preradu organskog materijala. Navedeni postupci ne obuhvaćaju uporabu materijala u energetske svrhe, tj. preradu u materijal koji će se koristiti kao gorivo ili materijal za zatrpavanje. S druge strane, uporaba uključuje svaki postupak koji rezultira uporabom otpada u korisne svrhe. Tada otpad zamjenjuje druge materijale koji bi se prvotno upotrebljavali za neku određenu svrhu u tvornici ili širem gospodarskom smislu. [2]

Važnost recikliranja nalazi se u očuvanju resursa i rezervi neobnovljivih izvora sirovina, u uštedi energije pri dobivanju materijala iz sekundarnih izvora sirovina te u zaštiti okoliša smanjivanjem postojećih količina odloženog otpada u okoliš. Pravilo „3R“ temelji se na direktivi o otpadu 2008/98/EZ kojom se formira tzv. hijerarhija gospodarenja otpadom gdje je odlaganje aktivnost kojoj treba pribjeći samo u onom slučaju kada nijedna od prethodnih aktivnosti nisu izvedive. Time se, efektivno, donose mjere za sprečavanje nastanka urbanih nakupina otpada te se kontinuirano djeluje na području sprečavanja nastanka otpada i zaštite okoliša. [3]



**Slika 1.1 Hijerarhija gospodarenja otpadom [4]**

Svi proizvodi i usluge imaju određenu razinu utjecaja na okoliš, od postupaka vađenja sirovina, do proizvodnje, eksploatacije i konačno odlaganja otpada. Primjenom razmišljanja temeljenog na analizi životnog ciklusa proizvoda (engl. *Life-cycle analysis*) proizvod se ocjenjuje preko svih faza svog životnog ciklusa, čime se omogućava redukcija utjecaja na okoliš uz snižavanje količina upotrijebljenih resursa.

Svaki proizvod, neovisno o grani industrije, prolazi kroz pet faza životnog ciklusa:

1. proizvodnja materijala
2. izrada proizvoda
3. uporaba proizvoda
4. faza nakon uporabe proizvoda
5. recikliranje, odlaganje, uništenje.



**Slika 1.2 Životni ciklus proizvoda [5]**

Proizvodnju materijala i izradu proizvoda mogu karakterizirati visoki stupnjevi emisije štetnih tvari i neiskorištenog otpadnog materijala te utrošak energije potrebne za preradu sirovina. Inteligentnim postupcima proizvodnje kojima se fokus stavlja na što manje utroške energije te što niže emisije donekle se umanjuje potreba za kasnijim postupcima obrade proizvoda. To uključuje uporabu biorazgradivih materijala te recikličnih materijala koji, osim što se olakšano recikliraju, također su uklopljeni u proizvod u obliku dijelova koji se mogu što lakše odvojiti iz sklopova. Takvim pametnim načinom proizvodnje olakšavaju se prvi koraci u fazi recikliranja i uništavanja otpadnih materijala te se maksimalno nastoji smanjiti potreba za odlaganjem otpada.

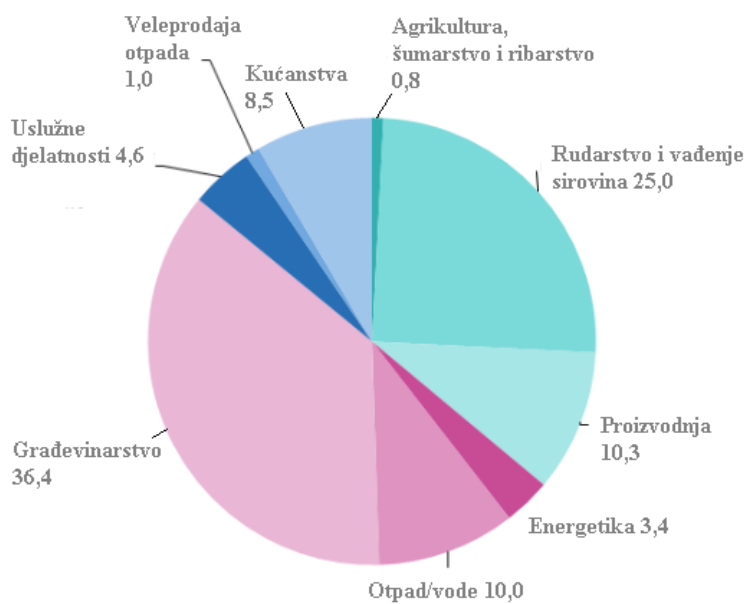
Odlaganje otpada najstariji je poznati oblik zbrinjavanja otpada, no zbog negativnog utjecaja na okolinu i zdravlje čovjeka trenutno i najnepoželjnija opcija. Degradacija otpada, posebice onog komunalne vrste, uzrokuje stvaranje opasnih stakleničkih plinova, poput metana, a nakupine otpada na odlagalištima visok su rizik za okolno tlo i podzemne vode. Recikliranjem, oporabom i energijskim iskorištenjem se smanjuje količina neiskorištenog otpadnog materijala i opada potreba za staromodnim postupkom poput odlaganja otpada. [5]

## **1.2. Gospodarenje proizvedenim otpadom u zemljama članicama EU**

Otpad definiran Direktivom 2008/98/EC članka 3(1) kao bilo koja tvar ili predmet koju posjednik odbacuje, namjerava odbaciti ili mora odbaciti, predstavlja značajan gubitak u smislu izgubljene energije i materijala, pri čemu gospodarenje i odlaganje otpada imaju velik

utjecaj na okoliš. Odlagališta otpada zauzimaju zemljišni prostor te mogu zagađivati zrak, tlo i vodu, dok se sa spaljivanjem otpada riskira onečišćenje zraka u obliku emisija opasnih plinova. Politika gospodarenja otpadom Europske unije teži smanjenju spomenutih negativnih utjecaja u smislu unapređenja učinkovitosti zbrinjavanja otpada i potencijalnih resursa. Time se, dugoročno, nastoji reducirati količina proizvedenog otpada te se nastoji otpad promicati kao potencijalni resurs.

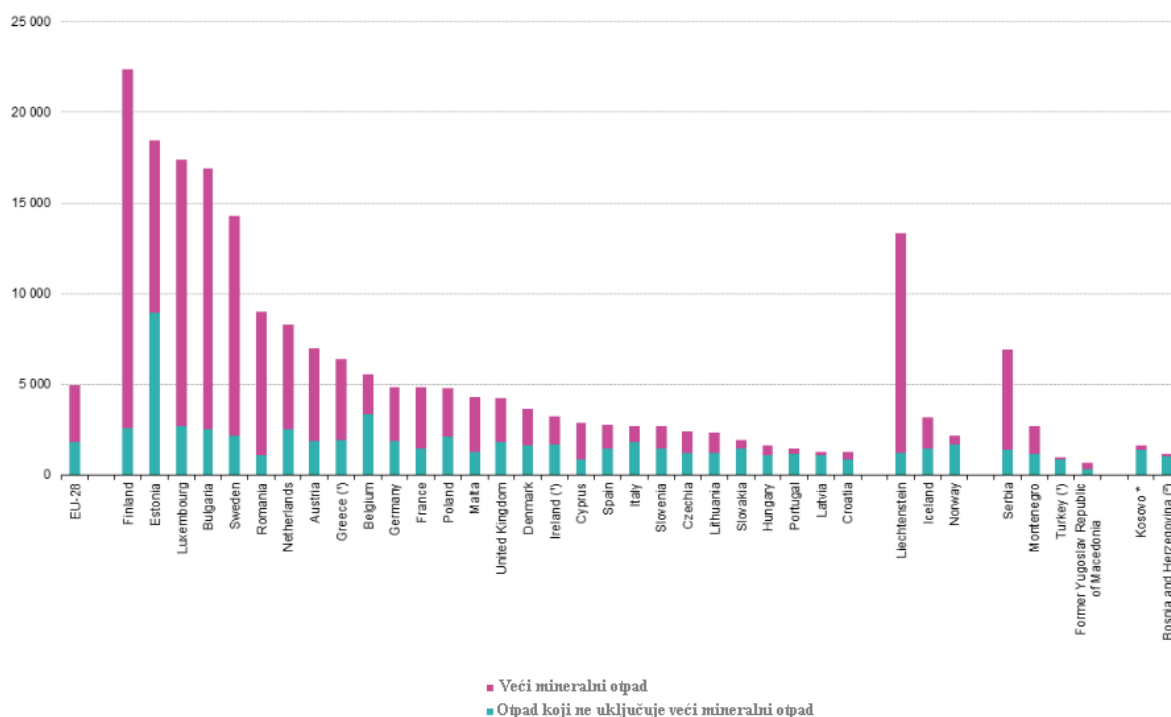
Prema informacijama dobivenim s obzirom na regulativu Europske unije (EC) br. 2150/2002 Europskog parlamenta i vijeća na temu proizvodnje i zbrinjavanja otpada, u 2016. godini ukupna količina otpada proizvedena od strane kućanstava i gospodarskih aktivnosti iznosi 2533 milijuna tona za period od 2004.-2016. godine. Količina otpada povezana je, naravno, s brojem stanovnika i ekonomskom veličinom pojedine zemlje. Prema dostupnim podacima, najmanje države članice Europske unije bilježe najniže količine proizvedenog otpada, dok nešto veće zemlje prijavljuju puno veće količine. No, bitno je naglasiti da gospodarski bogatije zemlje poput Italije bilježe relativno niske količine otpada u usporedbi sa zemljama poput Bugarske. [6]



**Slika 1.3 Proizvodnja otpada s obzirom na gospodarski sektor i kućanstva [6]**

Pri tome, najveći dio otpada potječe iz građevinskog sektora. Slijede rudarstvo i vađenje sirovina, proizvodnja, otpadne vode te otpad nastao iz kućanstava. Kako je vidljivo na slici 1.4 najviše razine stvorenog otpada pripisane su najmanjim državama članicama pri čemu Finska proizvodi prosječno 22,4 tone otpada po glavi stanovnika što je više od 4 puta

europskog prosjeka. Većina otpada nastaje rudarenjem, vađenjem sirovina i kao posljedica rušenja i izgradnje stambenih objekata. Gotovo dvije trećine nastalog otpada po glavi stanovnika Europske unije jest upravo mineralni otpad, gdje udio takvog otpada prikazan na slici 1.4, govori o različitim gospodarskim situacijama pojedinih država. Države poput Bugarske, Švedske, Rumunjske i Finske dominiraju u rudarskoj industriji pa su ovakvi podaci sukladni tome. Omjer ostalog otpada naspram mineralnog za Republiku Hrvatsku znatno je manji od onoga za npr. Finsku. [6]



**Slika 1.4 Količine proizvedenog otpada (kg) po glavi stanovnika EU, 2016. [6]**

Izuzev mineralnog otpada, 911 milijuna tona otpada proizvedeno je u 2016. godini što iznosi 1,8 tona po glavi stanovnika EU, pri čemu zemlje poput Estonije bilježe 9,0 tona otpada po stanovniku. Usporedbe radi, taj podatak za Republiku Hrvatsku iznosi 0,8 tona otpada po stanovniku. [6]



U sljedećoj tablici prikazana je promjena količina proizvedenog otpada za različite sektore u periodu od 2004. do 2016. godine u EU. Količina otpada proizvedenog od strane kućanstava ostaje donekle konstantnom, no količina otpada iz otpadnih voda bilježi rast od gotovo 106 % za navedeni period. S druge strane, građevinski otpad doživljava rast od samo 4 %. Količine otpada iz područja poljoprivrede, šumarstva i ribarstva padaju za gotovo 68 %, kao i otpad proizveden u sektoru proizvodnje gdje se bilježi pad od 29,9 %. Sektor rudarstva te ostali sektori također bilježe pad u količinama proizvedenog otpada.

**Tablica 1.1 Količine proizvedenog otpada u milijunima tona (isključujući mineralni otpad), 2004.-2016. u EU po sektorima [6]**

|                                      | 2004. | 2006. | 2008. | 2010. | 2012. | 2014. | 2016. | Stopa promjene (%) |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| Ukupno                               | 940,0 | 942,3 | 903,4 | 866,7 | 861,9 | 871,4 | 911,0 | -3,1               |
| Poljoprivreda, šumarstvo i ribarstvo | 63,1  | 57,4  | 46,2  | 20,8  | 21,3  | 18,3  | 20,3  | -67,9              |
| Rudarstvo i vađenje sirovina         | 10,4  | 7,1   | 10,1  | 8,0   | 1,8   | 7,9   | 7,1   | -31,8              |
| Proizvodnja                          | 271,4 | 250,5 | 236,6 | 202,7 | 186,8 | 183,9 | 190,3 | -29,9              |
| Energetika                           | 92,2  | 100,0 | 88,8  | 81,9  | 93,6  | 90,7  | 84,5  | -8,4               |
| Otpad/vode                           | 110,9 | 110,2 | 130,1 | 148,5 | 177,9 | 208,2 | 228,0 | 105,7              |
| Građevinarstvo                       | 39,3  | 45,2  | 38,7  | 43,1  | 43,2  | 42,2  | 40,9  | 4,0                |
| Drugi sektori                        | 147,7 | 160,9 | 140,6 | 147,3 | 122,0 | 116,8 | 131,5 | -11,0              |
| Kućanstva                            | 205,0 | 211,0 | 212,3 | 214,4 | 209,3 | 203,6 | 208,4 | 1,7                |

U 2016. godini oko 2309 milijuna tona otpada bilo je zbrinuto u 28 zemalja članica Europske unije. Pritom u obzir nisu uzeti podaci za izvozni otpad. Količine recikliranog otpada, otpada iskorištenog kao masa za zatrpavanje te otpada za spaljivanje u smislu energijske oporabe porasle su za 28,6 % u razdoblju 2006.-2014. Količina odlaganog otpada, u tom istom periodu, doživljava pad za 7,0 %, slika 1.5. [6]



**Slika 1.5** Stopa primjene postupaka obrade otpada u EU, 2004.-2016. [6]

## 2. ZAKONODAVNI OKVIR ZA OTPAD

Zakonodavstvo Republike Hrvatske u vidu gospodarenja otpadom uspostavljeno je i uvelike se temelji na postojećim standardima, propisima i zakonima Europske unije.

### 2.1. Zakonodavni okvir Europske Unije

Zakonodavni okvir uspostavljen Direktivom 2006/12/EZ kojim se uvode osnovni zahtjevi na gospodarenje otpadom te se utvrđuju temeljna načela gospodarenja otpadom revidiran je Direktivom 2008/98/EZ kako bi se temeljni pojmovi direktive dalje razjasnili te se osnažile mjere koje utječu na sprečavanje nastanka otpada i smanjenje utjecaja gospodarenja otpadom i nastanka otpada na okoliš. [3]

Direktivom je zadano pet temeljnih načela gospodarenja otpadom:

1. hijerarhija gospodarenja otpadom
2. samodostatnost postrojenja za odlaganje otpada
3. najbolja raspoloživa tehnologija obrade
4. blizina odlaganja otpada
5. odgovornost proizvođača.

Primjenom hijerarhije gospodarenja otpadom predstavlja se niz mjera, od strane država članica, kojima se definiraju rješenja koja nude najbolji mogući utjecaj na okoliš. Takav raspored podlozan je promjenama u specifičnim slučajevima koji su određeni zakonskim okvirima pojedinih država. Hijerarhija otpada u svom trenutnom obliku sastoji se od sljedećih stavki [3]:

1. sprečavanje
2. priprema za ponovnu uporabu
3. recikliranje
4. drugi postupci obrade
5. zbrinjavanje.

U svrhu poticanja recikliranja, oporabe i sprečavanja otpada države potpisnice ove direktive donose zakonodavne mjere koje obuhvaćaju javnu dostupnost informacija koje opisuju prikladnost ponovne uporabe i recikliranja pojedinih proizvoda, poticanje razvoja proizvoda koji umanjuju utjecaj na okoliš, na način da su proizvodi višekratni ili tehnički trajni, pri čemu se u obzir uzima tehnološka izvedivost, tržišna funkcionalnost i ekonomska održivost.

Nadalje, potpisnice su obvezane pripremiti izvješća o razvoju proizvodnje otpada i opsega sprečavanja nastanka te pripreme mjera kojima se nalaže podvrgavanje otpada postupcima obrade s obzirom na stupanj odvojenosti otpada. [3]

Predviđa se poduzimanje mjera kojima se promiče ponovna uporaba s fokusom na:

- uspostavljanje i potporu mreža za ponovnu uporabu i popravak
- primjenu ekonomskih instrumenata
- kriterije za nabavu
- kvantitativne ciljeve i dr.

U smislu promicanja visoke kvalitete recikliranja nalaže se uvođenje odvojenog sakupljanja otpada kada je to tehnički i ekonomski izvedivo. Gospodarenje otpadom mora se provoditi na način kojim se ne šteti okolišu niti se ugrožava zdravlje čovjeka, a s posebnom pažnjom na [3]:

- vodu, zrak, tlo, biljke, životinje
- neugodnosti u smislu buke ili neugodnih mirisa
- štetne utjecaje na krajolik.

Ako navedeno nije moguće, otpad se podvrgava postupcima zbrinjavanja koji ispunjavaju uvjete o zaštiti zdravlja ljudi i okoliša. [3]

## 2.2. Zakonodavni okvir gospodarenja otpadom Republike Hrvatske

Zakonodavni okvir Republike Hrvatske direktno se nastavlja na prethodno spomenutu Direktivu 2008/98/EZ Europskog parlamenta te niz ostalih direktiva na tematiku odlaganja ambalažnog, elektroničkog i električnog otpada, sprečavanja i kontrole onečišćavanja industrijskih emisija te Direktive 2000/53/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 18. rujna 2000. o otpadnim vozilima. [2]

Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/2013) utvrđene su mjere za sprečavanje ili umanjivanje štetnog djelovanja otpada na okoliš i ljudsko zdravlje putem smanjivanja količine otpada u nastanku ili u proizvodnji. Odredbe tog zakona uključuju načela, ciljeve, nadležnosti i obveze, građevine i lokacije, djelatnosti, dokumentaciju, informacijski sustav, nadzor gospodarenja otpadom te prekogranični promet otpada. Sustav počiva na četiri temeljna načela [2]:

1. odgovornost onečišćivača
2. blizina postrojenja
3. samodostatnost
4. sljedivost.

Proizvođač (posjednik) otpada u potpunosti je odgovoran za troškove mjera gospodarenja otpadom i sanacijskih mjera zbog štete koju otpad može prouzročiti ili je otpad prouzročio. Gospodarenje se mora odvijati na za to predviđenom mjestu, a uzimajući u obzir prihvatljivost za okoliš i ekonomsku učinkovitost. Načelo sljedivosti odnosi se na utvrđivanje porijekla otpada prema karakteristikama proizvoda, ambalaže te s obzirom na proizvođača proizvoda i posjed odnosno obradu otpada [2].

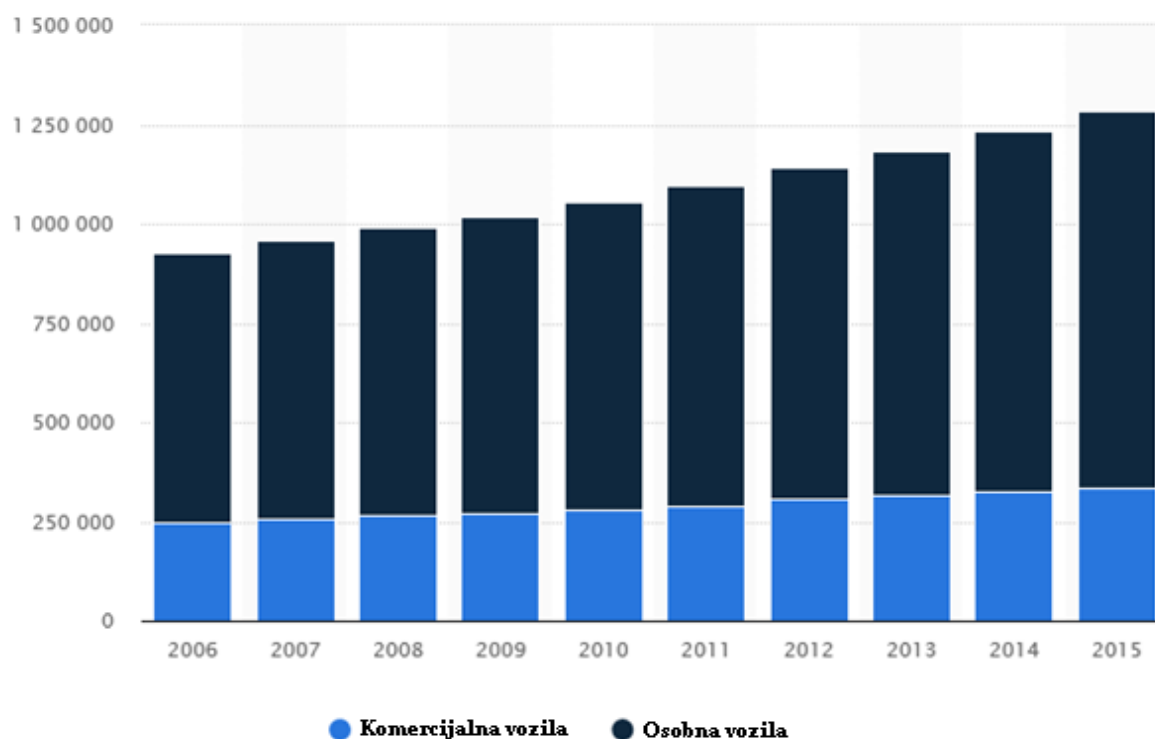
Za osiguranje sprečavanja nastanka otpada i primjene propisa i politike gospodarenja otpadom definiran je red prvenstva gospodarenja otpadom kako slijedi [2]:

1. sprečavanje nastanka otpada
2. priprema za ponovnu uporabu
3. recikliranje
4. drugi postupci uporabe (primjerice energetska uporaba)
5. zbrinjavanje otpada.

Na temelju odredbi članka 53. (stavak 3) Zakona o održivom gospodarenju otpadom donosi se Pravilnik o gospodarenju otpadnim vozilima kojim se u pravni poredak Republike Hrvatske prenosi Direktiva 2000/53/EZ Europskog parlamenta o otpadnim vozilima. [7]

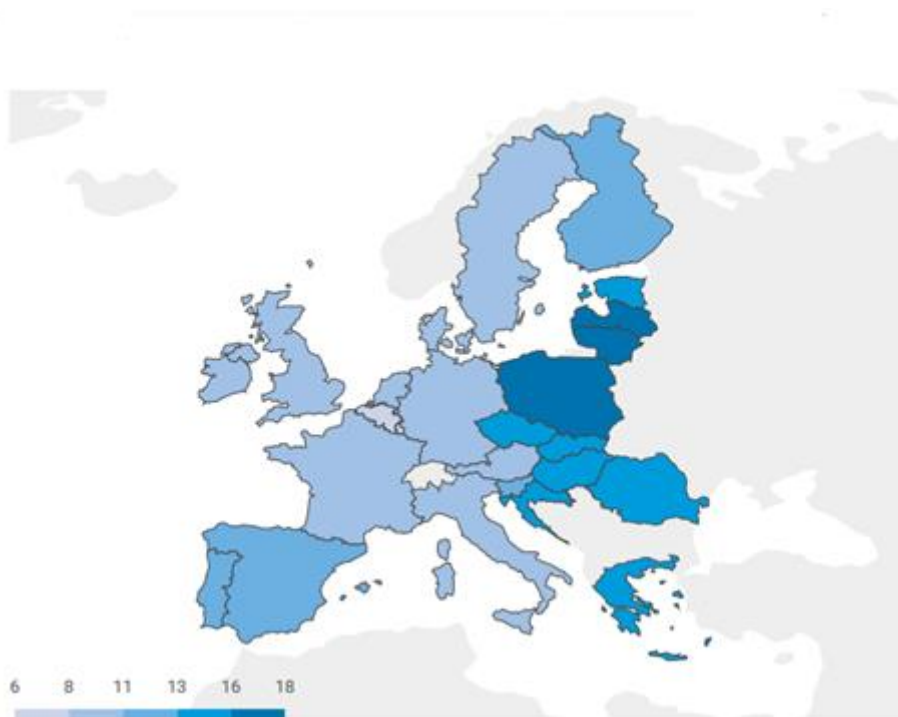
### 2.3. Gospodarenje otpadnim vozilima

Prema podacima iz 2015. godine na svijetu je ukupno 1,2 milijarde vozila, a procjenjuje se da će ta vrijednost iznositi 2 milijarde do 2035. godine. U razdoblju 2006.-2015. broj osobnih i komercijalnih vozila doživljava rast, s time da broj osobnih vozila doživljava strmovit rast s oko 250 000 vozila u prvoj godini praćenja podataka na oko 1 250 000 vozila za 2015. godinu. Rast broja komercijalnih vozila blaži je, ali i dalje je zamjetan. [8]



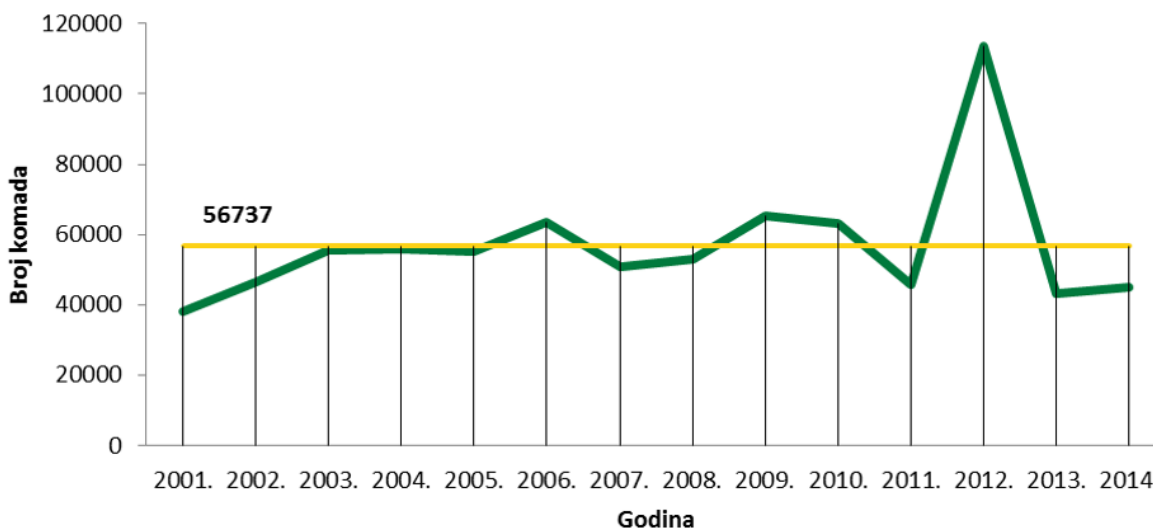
Slika 2.1 Broj vozila u svijetu (u tisućama), 2006.-2015. [8]

Pri tome je prosječna starost vozila u Republici Hrvatskoj iznosila 9,95 godina za 2007. godinu, dok je za 2015. godinu taj podatak iznosio 14,1 godina. Za usporedbu prosječna starost vozila za 2015. godinu u Sjevernoj Americi iznosila je 10,8 godina, a za zemlje Europske unije 9,95 godina. [8] Suvremeni automobili izrađuju se od novih laganijih i izdržljivijih materijala, te su nekadašnje čelične karoserije zamijenjene aluminijsko-polimernima. Time se životni vijek osobnih vozila znatno produžuje.



Slika 2.2 Prosječna starost automobila, 2015. [8]

Statistički gledano, oko 30 milijuna vozila odbacuje se svake godine u svijetu. Od toga je 6 milijuna u Europskoj uniji te 20 tisuća vozila u Republici Hrvatskoj prema podacima iz 2014. godine. [8]

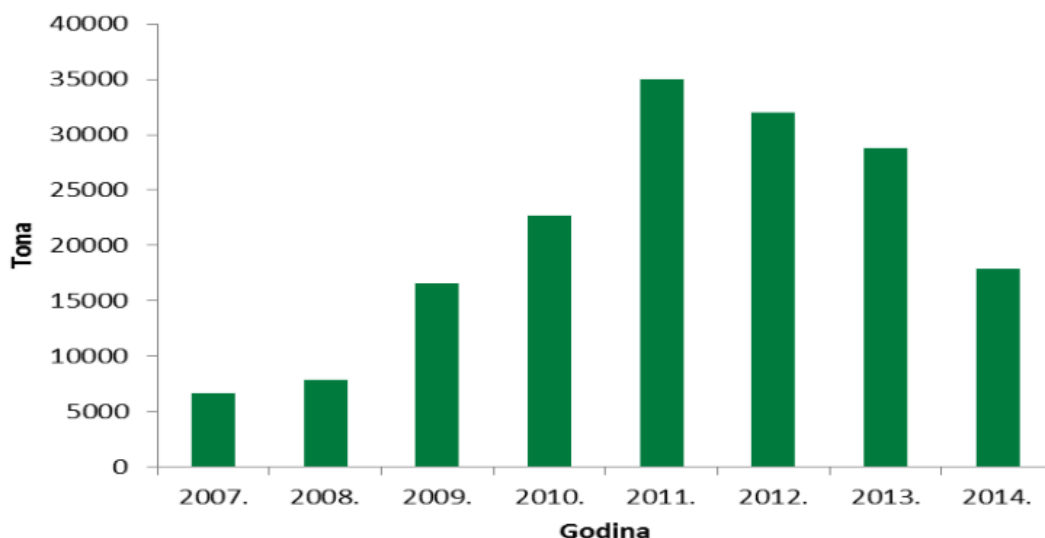


Slika 2.3 Broj otpadnih vozila u Republici Hrvatskoj, 2001.-2014. [8]

U sklopu članka 5. Pravilnika o gospodarenju otpadnim vozilima propisano je da [7]:

- stopa ponovne uporabe i oporabe za sva otpadna vozila tijekom godine iznosi najmanje 95% prosječne mase na obradu predanog otpadnog vozila

- stopa ponovne uporabe i recikliranja za sva otpadna vozila predana na obradu tijekom godine iznosi najmanje 85 % prosječne mase na obradu otpadnog vozila.



**Slika 2.4 Masa prikupljenih otpadnih vozila, 2009.-2014. [8]**

Nadalje, propisani su ciljevi i postupci gospodarenja otpadnim vozilima što uključuje postupke vezane uz [7]:

1. ispunjavanje obveza proizvođača vozila
2. prikupljanje otpadnih vozila
3. obradu otpadnih vozila
4. skladištenje otpadnog vozila.

U obzir se uzima i sva prateća dokumentacija te uvjeti gospodarenja na ekološki prihvatljiv način. Pravilnik se primjenjuje na niz kategorija motornih vozila koji je naveden u nastavku:

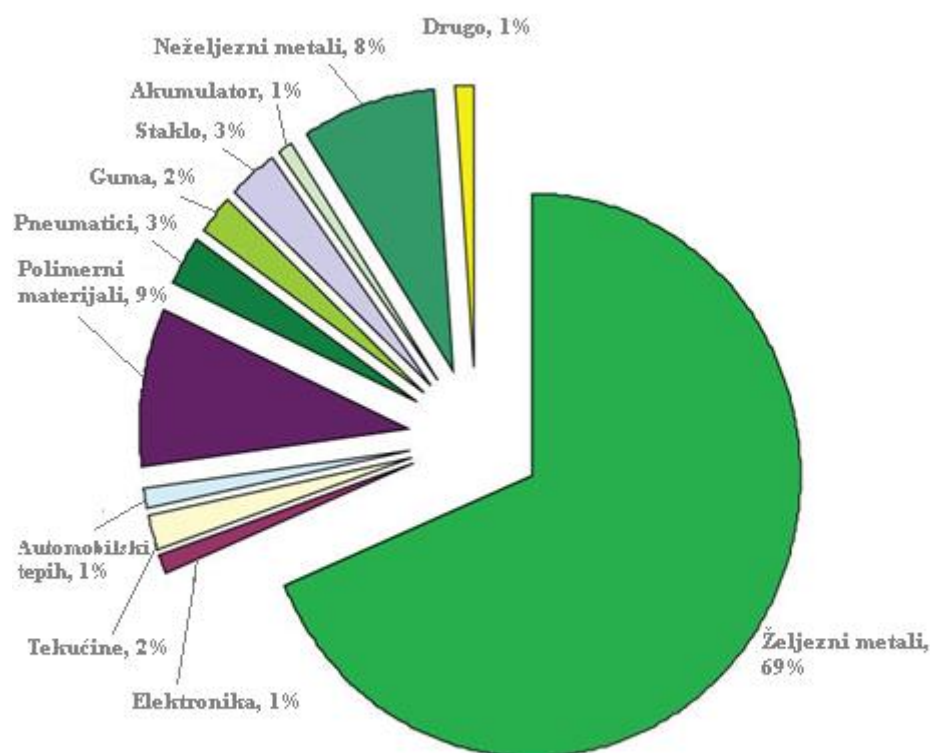
- M1 kategorija – vozila za prijenos osoba s najviše osam sjedala
- N1 kategorija – vozila za prijenos tereta najveće dopuštene mase do 3,5 t
- L2, L4, L5 kategorije – motocikli, mopedi, četverocikli, bicikli s pomoćnim motorima.

Obveze proizvođača vozila prema Pravilniku vezane su za postizanje [7]:

1. reciklične i lako rastavljive konstrukcije
2. informiranje krajnjeg korisnika i obrađivača otpada.

Sva proizvedena vozila trebala bi biti proizvedena tako da njihov dizajn ne otežava i ograničava postupke obrade, ugrožava okoliš i čovjeka, te da se za proizvodnju automobila koriste reciklirani materijali u što većoj mjeri.





**Slika 2.5** Udjeli pojedinih materijala u automobilima srednje klase [8]

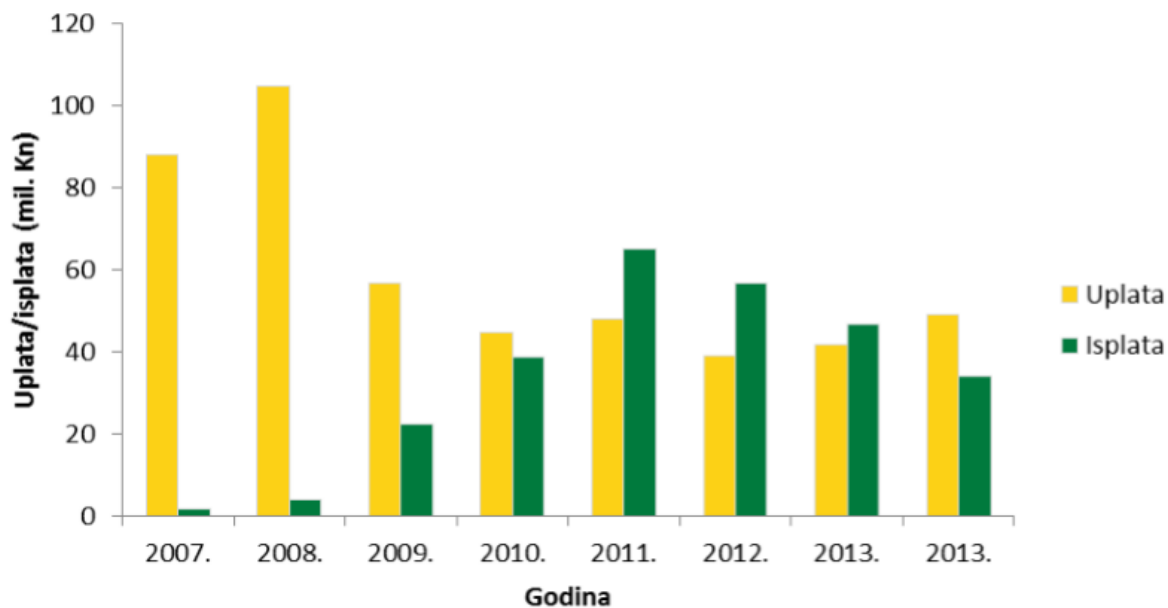
Pri tome je zabranjena uporaba opasnih materijala (kadmij, krom, živa, olovo) za izradu dijelova. Proizvođač je vezan predati krajnjem korisniku i obrađivaču sve informacije nužne za uspješno ostvarivanje postupka recikliranja, oporabe, ponovne uporabe i zbrinjavanja vozila i dijelova otpadnog vozila. [7]

### 2.3.1. Zahtjevi na sakupljanje, skladištenje i obradu otpadnih vozila

Prilikom predaje vozila na obradu posjednik je dužan predati sakupljaču sljedeću dokumentaciju [7]:

1. dokaz o vlasništvu
2. kopija osobne iskaznice
3. dokaz o pravu na predaju otpadnog vozila na uporabu
4. dokaz o plaćenju naknadi gospodarenja
5. potvrda o provjeri registriranosti vozila u Republici Hrvatskoj.

Uslugu sakupljanja obavlja sakupljač otpada koji od posjednika preuzima otpadno vozilo, prateću dokumentaciju te fotozapis vozila za osiguravanje sljedivosti i cjelovitosti. Posjedniku se isplaćuje naknada za svaki kilogram otpadnog vozila. Od 2016. godine naknada iznosi 0,60 kn/kg. Naknade su uvedene zbog mogućih opasnosti uzrokovanih nezadovoljavajućim zbrinjavanjem otpadnih vozila, a isplaćuju se iz Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost. Naknada se isplaćuje sakupljaču i obrađivaču otpadnih vozila, a uplaćuju je proizvođači, pravne ili fizičke osobe koje uvoze, proizvode i stavljaju motorna vozila na tržište u Republici Hrvatskoj.



**Slika 2.6** Odnos uplaćenih i isplaćenih naknada za gospodarenje otpadnim vozilima, 2007.-2014. [8]

Prema broju šasije izrađuje se evidencija preuzetih otpadnih vozila. Preuzimanjem vozila sakupljač je dužan izdati potvrdu kojom se obvezuje obraditi otpadnom vozilo u zadanom vremenskom roku. Za svaki tekući mjesec obvezan je predati izvještajne obrasce državnom registru koji sadrže podatke o preuzetim dijelovima i materijalima. [7]

Usluga obrade obavlja se od strane pravne i fizičke osobe, tj. obrtnika koji ima odgovarajuće dozvole za pravilno gospodarenje otpadom. Obradivač je dužan osigurati lokaciju i prostor za obradu i skladištenje otpada te u postupku obrade postupati prema uputama koje pruža proizvođač. Lokacija za obradu opremljena je nepropusnom oblogom kojom se sprečava ispušt opasnih tvari u okoliš, te su osim samih uređaja za obradu otpada u postrojenje uključeni i sabirni spremnici, sredstva za odmašćivanje te uređaji za sakupljanje rasutog otpada. [7]

Dijelovi kontaminirani otpadnim tekućinama skladište se na odvojenom mjestu. Neutraliziraju se potencijalno opasne i eksplozivne tvari. Odvojeno se sakupljaju ulja, rashladne tekućine i radne tvari te, u nekim slučajevima, azbest. Prije obrade u stroju za usitnjavanje, drobljenje i prešanje obvezno se uklanjaju i ostali dijelovi, poput katalitičkih konvertera, staklenih komponenti, guma, polimera i metalnih dijelova od aluminijskog, bakra i magnezija. Predviđen je i poseban sustav za zbrinjavanje atmosferilija, sprečavanje nagomilavanja otpada te zaštite od požara. [7]

### 3. MEĐUNARODNI INFORMACIJSKI SUSTAV ZA RASTAVLJANJE OTPADNIH VOZILA

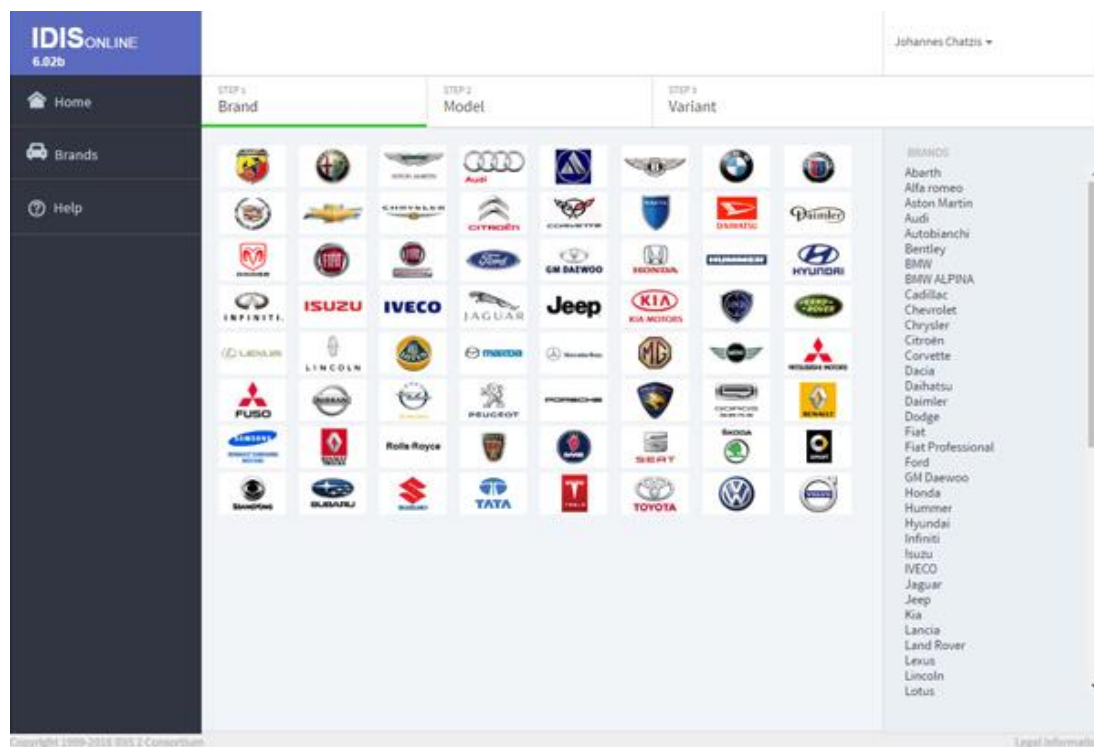
IDIS (engl. *International Dismantling Information System*) ili međunarodni informacijski sustav demontaže jest zajednički projekt većih proizvođača u automobilskoj industriji, a čija je svrha pružiti osnovne potrebne informacije o postupcima, alatima i mjerama opreza pri uspješnom rastavljanju i recikliranju otpadnih vozila na ekološki prihvatljiv i siguran način. Sustav pruža pristup bazi podataka s praktičnim informacijama o dijelovima koji se mogu reciklirati te sigurnosnim elementima postupaka gospodarenja otpadom opisanim u ELV (engl. *End of Life Vehicles*) direktivi Europske unije 2000/53/EZ koja se tiče gospodarenja otpadnim vozilima na kraju njihovog životnog vijeka. U pogledu ponovne uporabe dijelova, proizvođači pružaju informacije o popravku i održavanju dijelova vozila na svojim mrežnim stranicama. [9].

Informacije u sustavu raspodijeljene su u nekoliko bitnih područja kako bi se olakšao pristup potrebnim informacijama:

- akumulatori
- pirotehnika (zračni jastuci)
- goriva
- klimatizacija
- drenaža
- katalizatori
- odvojivi dijelovi
- pneumatici
- drugi postupci predobrade
- rastavljanje (demontaža).

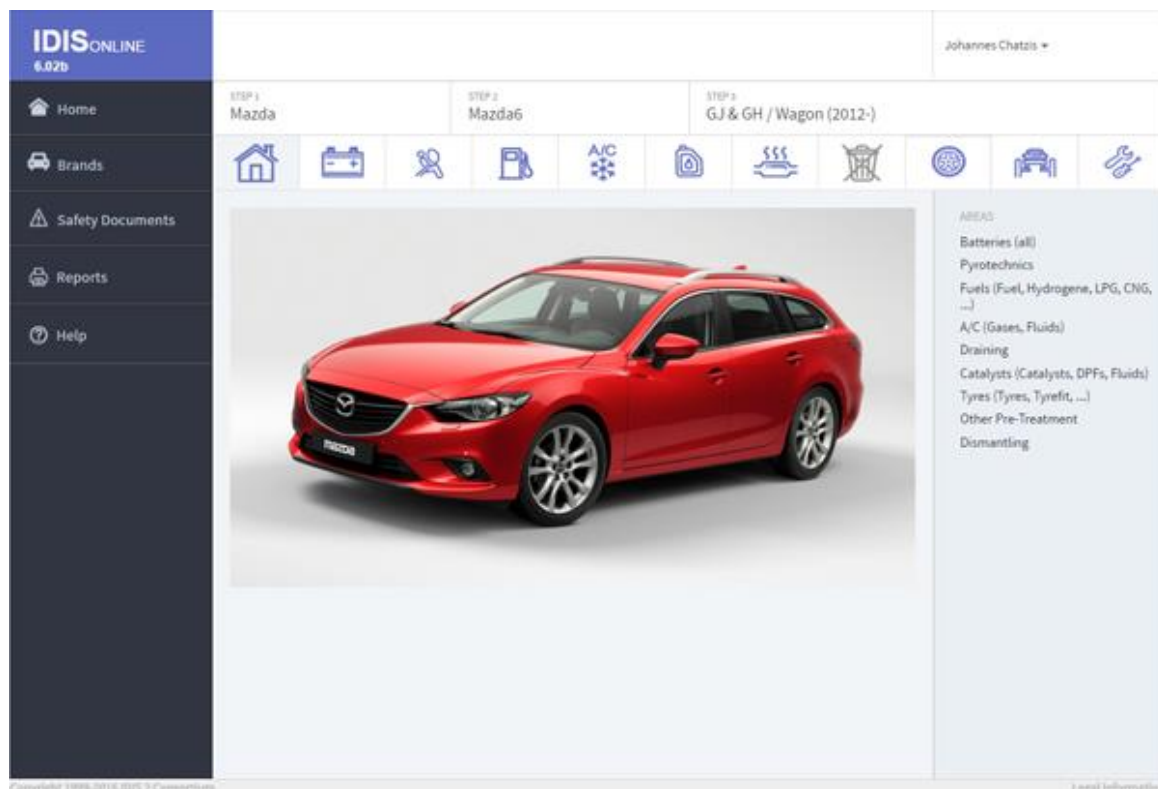
Dostupne podatke sastavljaju, revidiraju te njima upravljaju proizvođači vozila, a besplatan pristup IDIS-u omogućen je isključivo poduzećima čije je područje rada gospodarenje otpadnim vozilima. Sustav pokriva 40 zemalja širom svijeta s preko 70 međunarodnih proizvođača automobila

Nakon odabira geografske lokacije ponuđen je prikaz dostupnih vrsta automobila kako je prikazano na sljedećoj slici:



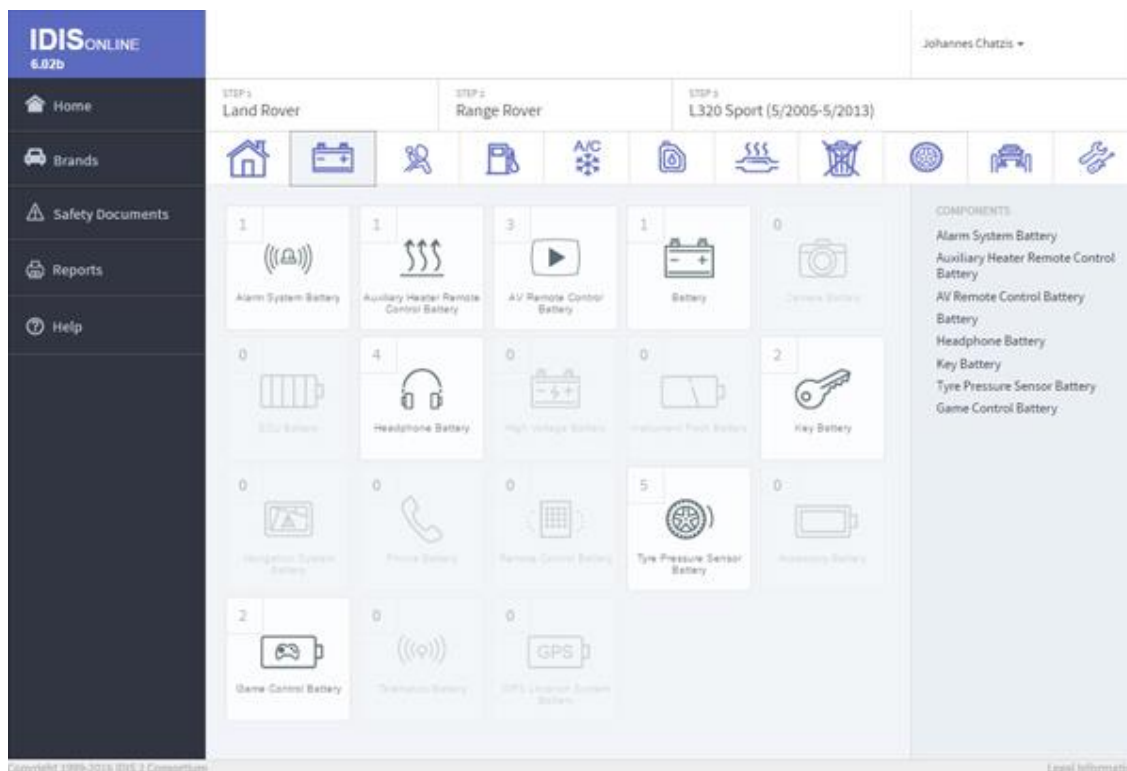
Slika 3.1 Prikaz dostupnih proizvođača automobila u IDIS sustavu [9]

Odabirom jednog proizvođača automobila dobiva se mogućnost izbora varijante vozila prema godini proizvodnje ili specifičnom modelu.



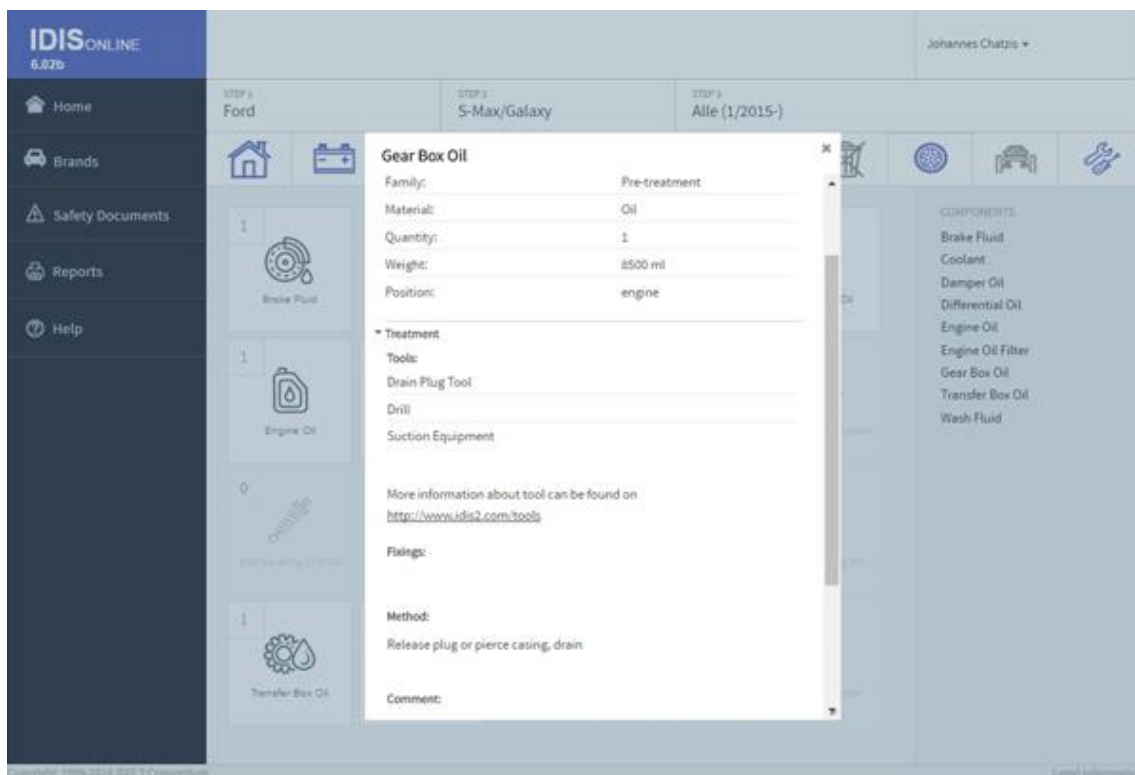
Slika 3.2 Odabrani model automobila [9]

Unutar aplikacije moguće je odabrati jedno od deset ponuđenih područja koja su prethodno navedena. Za svako područje navedeni su podaci o dijelovima vozila i otpadnim tekućinama.



**Slika 3.3** Raspoloživi elementi vozila koji sadrže baterije [9]

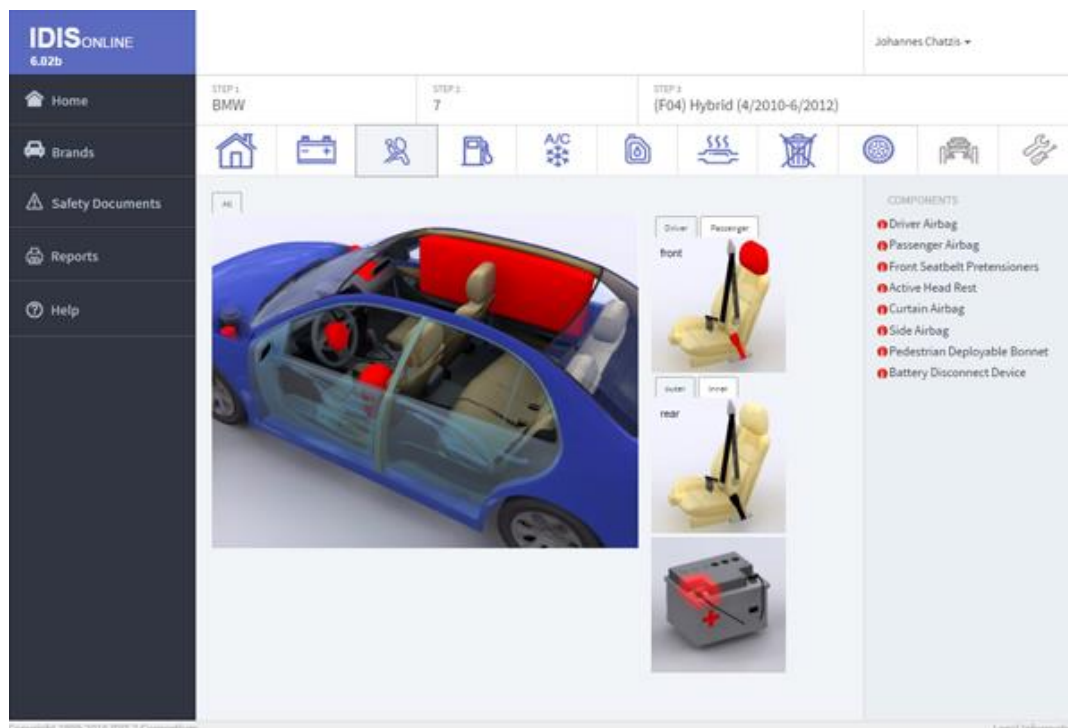
Odabirom pojedinog područja, dobiva se popis svih dijelova u vozilu koji sadrže baterijske komponente. Kada se odabere jedna komponenta dobiva se ispis informacija kako je prikazano u nastavku:



Slika 3.4 Popis osnovnih informacija o odabranom dijelu [9]

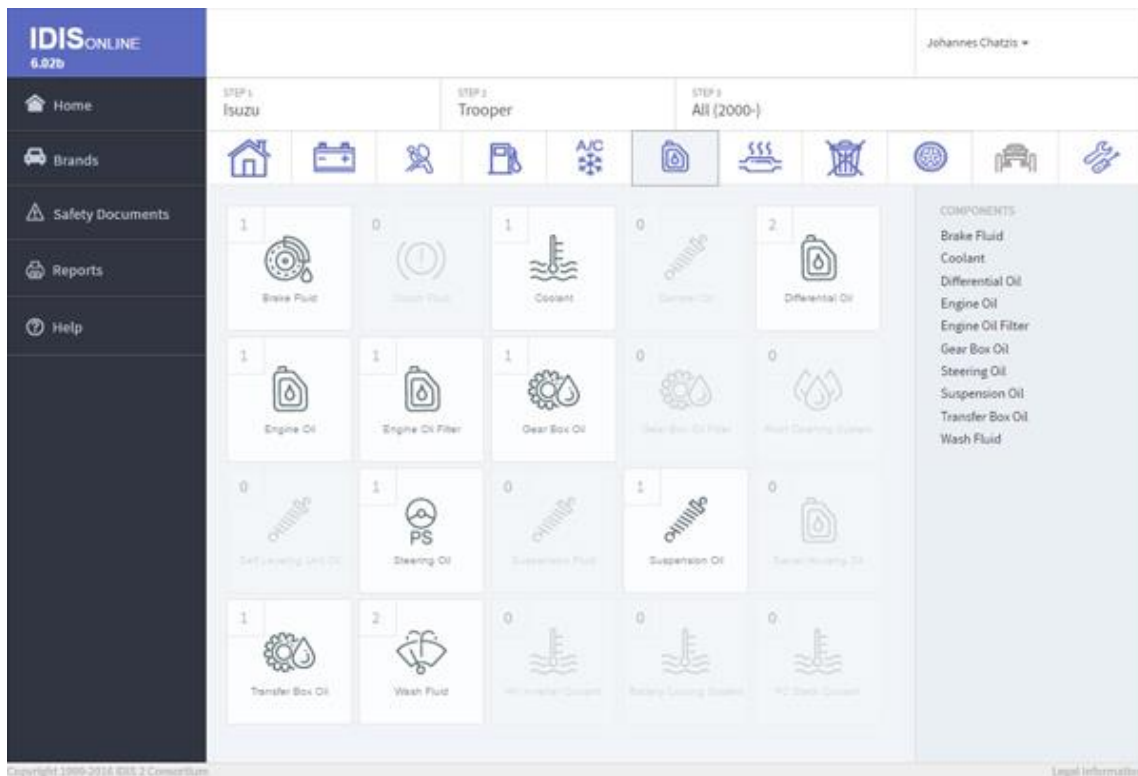
Time su dobiveni podaci o korištenim materijalima, količini, masi i poziciji dijelova unutar vozila. Nadalje, dostupan je naputak o preporučenom alatu za rastavljanje, metodama demontaže i dodatnim informacijama. Za određene elemente automobila moguće je dobiti i vizualni prikaz na generičkom modelu automobila, kao što je prikazano na sljedećoj slici:





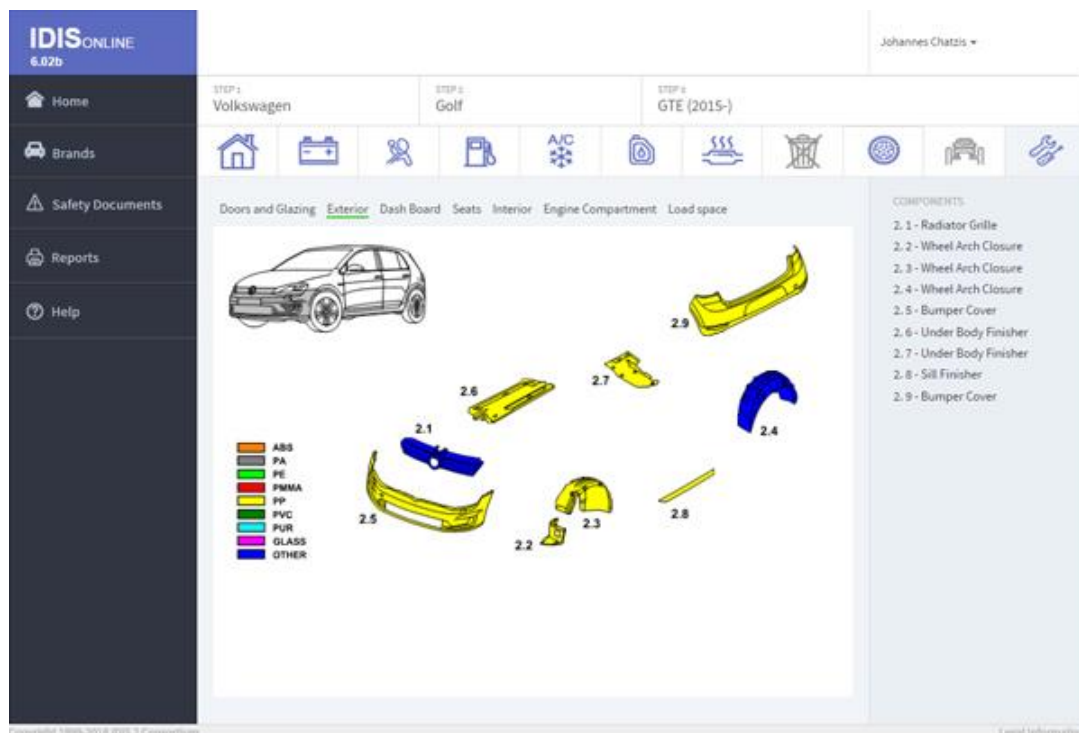
**Slika 3.5** Generički prikaz vozila za odabrane pirotehničke naprave [9]

Uz slikovni prikaz, uočljivom crvenom bojom, dan je i popis prikazanih elemenata. Za područje vozila koje se tiče opasnih tekućina i plinskih spremnika poput spremnika za ukapljeni plin (propan, metan) te otpadnih ulja dostupan je sljedeći izbor. Brojevi uz ikonu pojedinih elemenata naznačuju učestalost pojave komponente u vozilu.



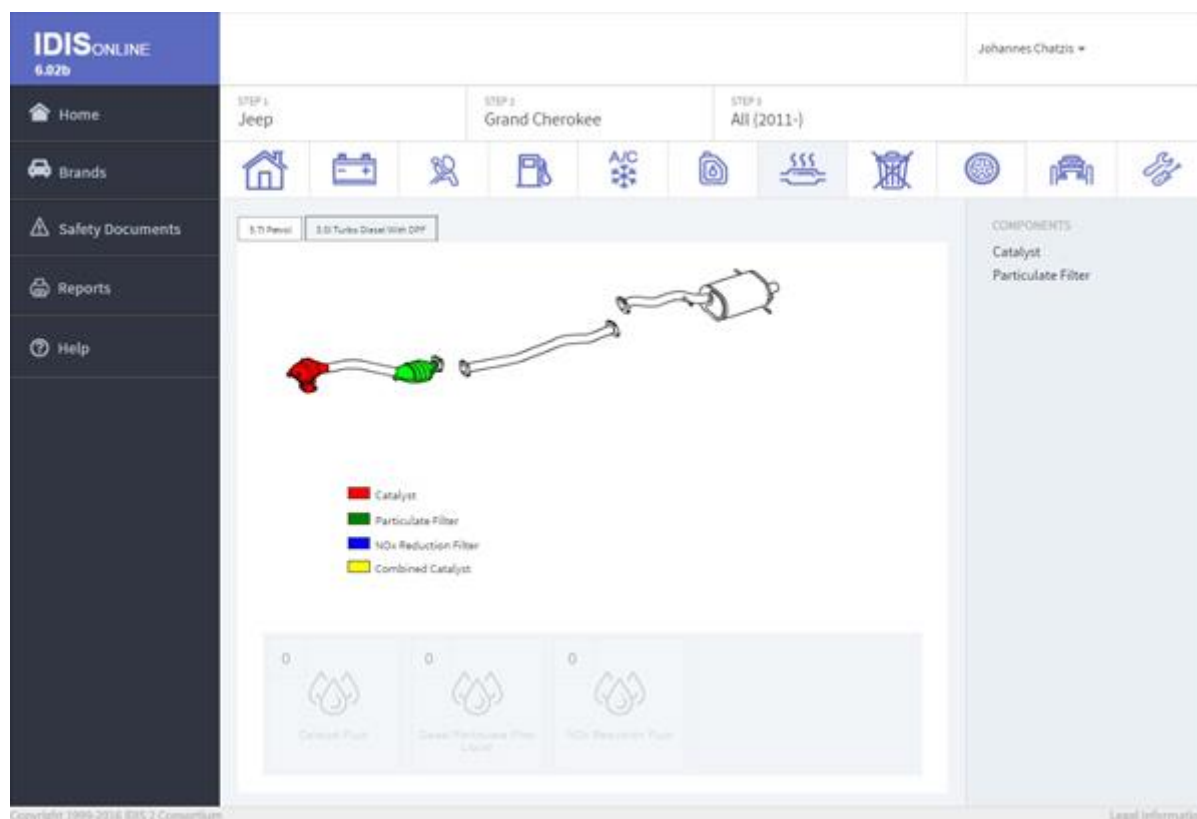
Slika 3.6 Otpadne tekućine u vozilu [9]

Polimerni dijelovi automobila poput branika i kućišta retrovizora podijeljeni su prema prikazanoj legendi:



Slika 3.7 Prikaz polimernih dijelova automobila [9]

Konačno, bojom označene dijelove moguće je odabrati pojedinačno na prikazu i direktno dobiti detaljnije informacije o svojstvima dijela i točnoj poziciji čestičnog filtra (označeno zeleno) unutar vozila.



Slika 3.8 Interaktivni prikaz katalizatora vozila [9]

Završetkom rada na odabranom modelu automobila, omogućena je izrada konačnog izvješća u kojem su dati svi prikazani podaci uključujući naziv dijela, materijala izrade te masu dijela.

#### 4. POSTUPAK RECIKLIRANJA OTPADNOG VOZILA

Kako je navedeno u poglavlju koje se odnosi na odrednice Pravilnika o gospodarenju otpadom, otpadna vozila dolaze iz tri izvora [7]:

1. fizička osoba
2. sakupljač (koncesionar)
3. privatna osoba.

Postupak se odvija u sljedećim koracima:

- preuzimanje otpadnog vozila (I. stupanj obrade)
- uklanjanje katalizatora, pneumatika, akumulatora
- uklanjanje radnih tekućina
- uklanjanje staklenih stijenki i polimernih dijelova
- usitnjavanje (šrederiranje) (II. stupanj obrade)
- sortiranje (III. stupanj obrade).

Nakon odsluženja životnog vijeka vozila obrađivač zaprima vozilo uz svu prateću dokumentaciju. Otpadno vozilo se zatim transportira na privremeno skladište na otvorenom što uključuje skladištenje otpadnih vozila, necjelovitih vozila s ili bez opasnih komponenti te komponenti vozila s ili bez opasnih tvari. Slijedi transport na liniju za demontažu vozila gdje se formira zapisnik o demontaži te odvija odstranjivanje rezervnih dijelova, limova, polimernih materijala, gume, stakla te otpadnih i opasnih tekućina poput ulja, antifrizi i drugo. Odvojene sirovine se skladište te se formira zapisnik o demontaži nakon čega odvojeni dijelovi bivaju pohranjeni u skladištu, a ostatak vozila transportira se na obradu usitnjavanjem. [10]

#### 4.1. Preuzimanje otpadnog vozila

Prvi korak u obradi jest osiguravanje ispravnosti tehničke i vlasničke dokumentacije vozila što uključuje registriranje, ispitivanje razine dotrajalosti, određivanje vrste i modela vozila te postavljanje podloge za daljnje korake. Pri tome je potrebno predati otpadno vozilo u cijelosti što uključuje osnovne dijelove poput:

- motora
- mjenjača
- kotača s gumama
- akumulatora
- staklenih stijenki.

Od fizičke osobe ili sakupljača očekuje se odgovarajuća prateća dokumentacija: vlasnički list, vozačka dozvola, kopija bankovnog računa i osobna iskaznica. Izrađuje se slikovni zapis vozila u trenutku primitka kako bi se osigurala sljedivost. Ovisno o masi vozila vlasnik dobiva naknadu te se vozilo do početka obrade transportira na pohranu u skladište. Iz vozila se uklanjaju akumulatori i katalizatori. Recikliranje katalizatora zauzima bitno mjesto u obradi dijelova otpadnih vozila zbog visokih udjela tzv. platinskih elemenata, koji uključuju platinu, paladij i rodij. Kemijska reakcija ispušnih plinova i metalne ćelijaste strukture katalizatora dovodi do pretvorbe štetnih plinova, poput ugljikovog monoksida, ugljikovodika i dušikovih oksida u ugljikov dioksid, vodu i dušik. Obrada katalizatora uključuje složene metalurške procese kojima je moguće povratiti velik postotak platinskih metala. Time se smanjuje potreba za obradom većih količina ruda. [11]

S vozila se zatim uklanjaju kotači i nastavno na to gume na posebnom uređaju. Čelični naplatci se sabijaju i deformiraju za olakšano odvajanje gume, dok aluminijski naplatci zahtijevaju obradu s posebnim mjerama zaštite.

#### 4.2. Uklanjanje radnih tekućina

Ispust radnih tekućina odvija se na demontažnoj postaji koja se sastoji od nekoliko osnovnih dijelova:

- stroj za bušenje spremnika za gorivo
- hidraulička dizalica
- pomoćna ruka za odstranjivanje goriva i ulja
- pumpa
- spremnik za pohranu otpadnih tekućina.

Uređaji su pogonjeni komprimiranim zrakom za filtriranje, isušivanje i istiskivanje ulja. Uklanjati je moguće benzin, otpadno ulje, tekućinu za kočenje, tekućinu za hlađenje i tekućinu za pranje stakla. Za prijenos otpadnih tekućina iz spremnika vozila do spremnika za pohranu koriste se pumpe označene standardiziranim bojama. [10]

#### **4.2.1. Uklanjanje goriva i otpadnog ulja**

Gorivo je moguće ukloniti izradom provrta na najnižoj točki spremnika za gorivo čime se osigurava gotovo cjelovito isušivanje spremnika ili isisavanjem goriva pomoću usisne cijevi. Dodatno, postoji mogućnost uporabe pomoćne ruke drenažne postaje s odgovarajućim nastavkom. Primjenom sustava pumpi gorivo se odvodi u transparentni spremnik što omogućava vizualnu kontrolu čistoće goriva. Zagađeno gorivo zbrinjava se u za to predviđenim spremnicima, dok se gorivo zadovoljavajuće kvalitete pohranjuje u odvojenu posudu. Ulje se izvlači nakon bušenja mjenjača ili amortizera te se sakuplja ili preko najniže točke spremnika ulja lijevkom do posude za sakupljanje ili korištenjem usisne cijevi. Tekućine za kočenje, hlađenje i tekućine za pranje stakla izdvajaju se pomoću odvodnog crijeva ili usisnog pištolja. [10]

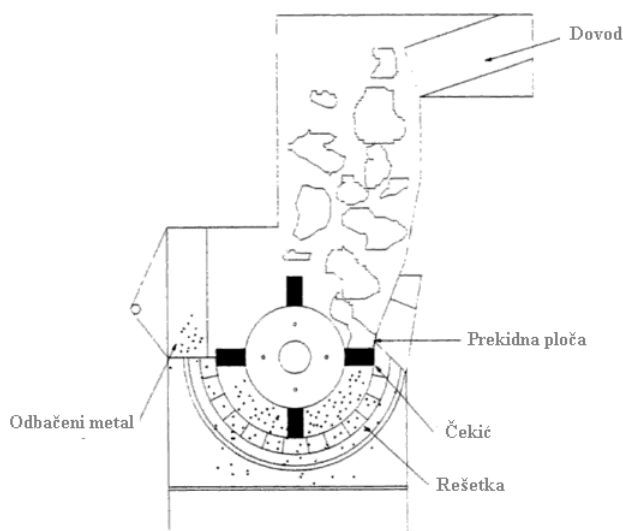
#### **4.3. Usitnjavanje materijala**

Prije nego što se materijal može podvrgnuti postupku recikliranja potrebno je metalne komponente razdvojiti od nemetalnih. Materijali posjeduju širok raspon fizikalnih i kemijskih svojstava od kojih se neka, poput boje, teksture i težine, upotrebljavaju pri ručnom sortiranju, dok druga, poput magnetskih ili električnih svojstava, zahtijevaju uporabu zahtjevnijih metoda. Svaki postupak sortiranja zahtijeva prethodnu identifikaciju objekta pri čemu su dostupne dvije mogućnosti. Prva je sortiranje cijelog otpadnog objekta pomoću optičkih senzora prepoznavanjem boje i oblika objekta, a druga obuhvaća usitnjavanje u finu homogenu smjesu čestica koje se kasnije razvrstavaju. Redukcija veličine otpadnih objekata ostvaruje se pomoću udarnih sila, smičnih sila, trošenja i mljevenja.

##### **4.3.1. Podjela strojeva za usitnjavanje**

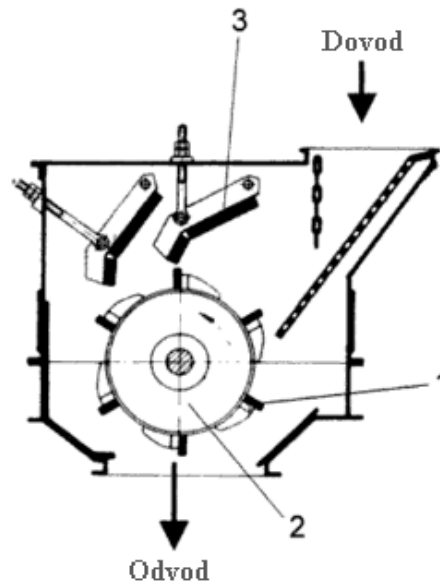
Stroj za usitnjavanje (tzv. šreder) se sastoji od rotora s glavama ili čekićima koji mehanički djeluju na otpadni materijal pomoću fiksiranih pregradnih ploča ili rešetki. Veličina i dimenzije materijala nakon obrade ovise o gustoći rešetke, brzini čekića i energiji potrebnoj za pogon stroja. Za usitnjavanje se primarno koriste vlačne, tlačne i smične sile, s ciljem što manjeg utroška energije. Sve vrste strojeva za redukciju dimenzija i veličine, posebice strojevi koji koriste udarne sile, podložni su abrazivnom trošenju te zahtijevaju redovito održavanje.

Mlin čekičar je najčešće korištena izvedba stroja za usitnjavanje koji se sastoji od jednog ili više rotorskih vratila s pričvršćenim čekićima. Čekićaste glave mogu biti krute ili elastične te je sustav zatvoren u robusno kućište. Rotor kružno pokreće čekićaste glave tako da ostvare kontakt s otpadnim materijalom. Na unutrašnjoj površini radnog cilindra smještene su tzv. prepreke u obliku fiksiranih blokova ili ploča koji pružaju otpor kretanju materijala unutar cilindra koji se nalazi u području između glava i prepreka pri čemu dolazi do usitnjavanja. Na slici je prikazana pojednostavljena shema mlina čekičara na kojoj su vidljivi gore opisani elementi. [12]



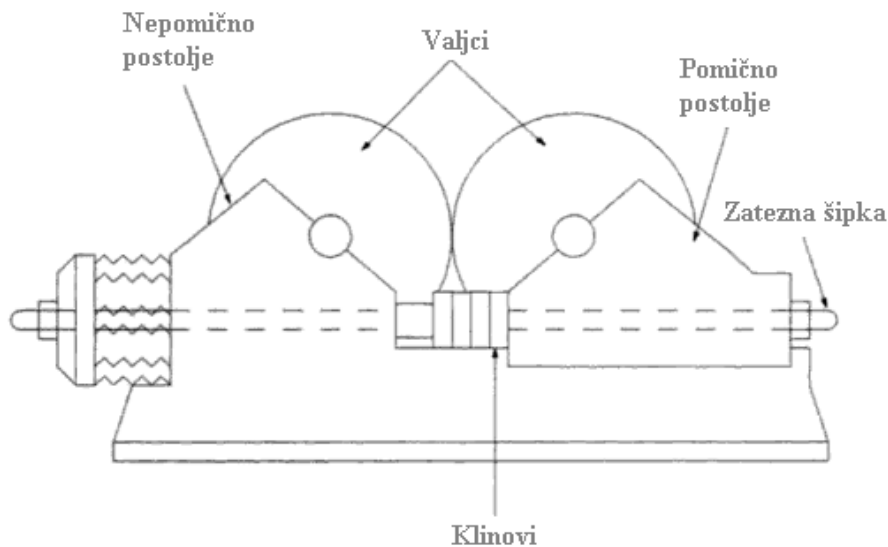
Slika 4.1 Shema mlina čekičara [12]

Horizontalna izvedba stroja za usitnjavanje s čekićima ili oštricama na samo jednom rotoru ili dva međudjelujuća rotorska vratila primarno se koristi kada nije potrebna mala dimenzija obrađenog materijala. Izvedba takvog stroja prikazana je na sljedećoj slici:



Slika 4.2 Shematski prikaz udarnog mlina [13]

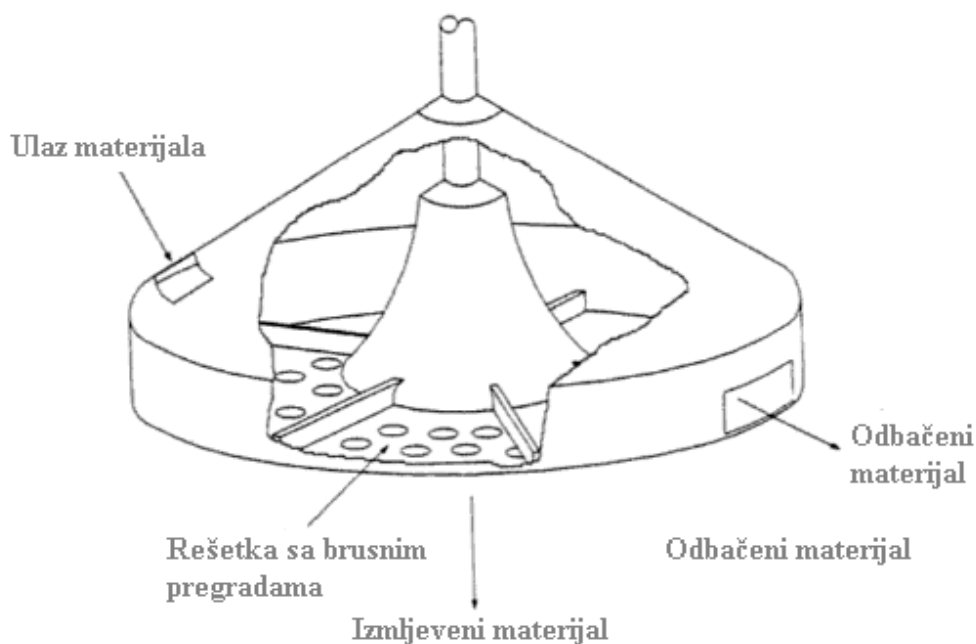
Sustav potpomognut cilindrima za usitnjavanje se sastoji od rotirajućeg cilindra i nepomične površine ili dva cilindra u međudjelovanju. Ulazni materijal podvrgnut je ponavljajućoj udarnoj energiji između dva cilindra.



Slika 4.3 Shema valjcima potpomognutog mlina [12]

Za prevođenje materijala u finu prašinu koriste se mlinovi s brusnim pregradama. Mlin se sastoji se od vertikalnog vratila s rotirajućim pregradama izrađenim od alatnog čelika. Kako je vidljivo na slici, brusne pregrade postupno usitnjavaju materijal o rešetkasto ploču s uzorkom.





Slika 4.4 Shematski prikaz mlina s brusnim pregradama [12]

Strojevi za usitnjavanje za otpadna vozila razvijeni su sredinom dvadesetog stoljeća te su se prvotno koristili za obradu metalnih konzervi. Bazirani su na modelu mlina čekićara te zahtijevaju izuzetno visoke količine energije i visoki početni kapital. Nekoliko je pojava veličina ovakvog stroja te se konstantno razvijaju za što veće količine ulaznog materijala. Budući da ulazni materijal ovdje predstavlja višekomponentno otpadno vozilo, sustav za obrađivanje mora biti dovoljno robustan. Prije obrade nužno je ukloniti zapaljive ili eksplozivne komponente automobila kako je opisano u prethodnim poglavljima.

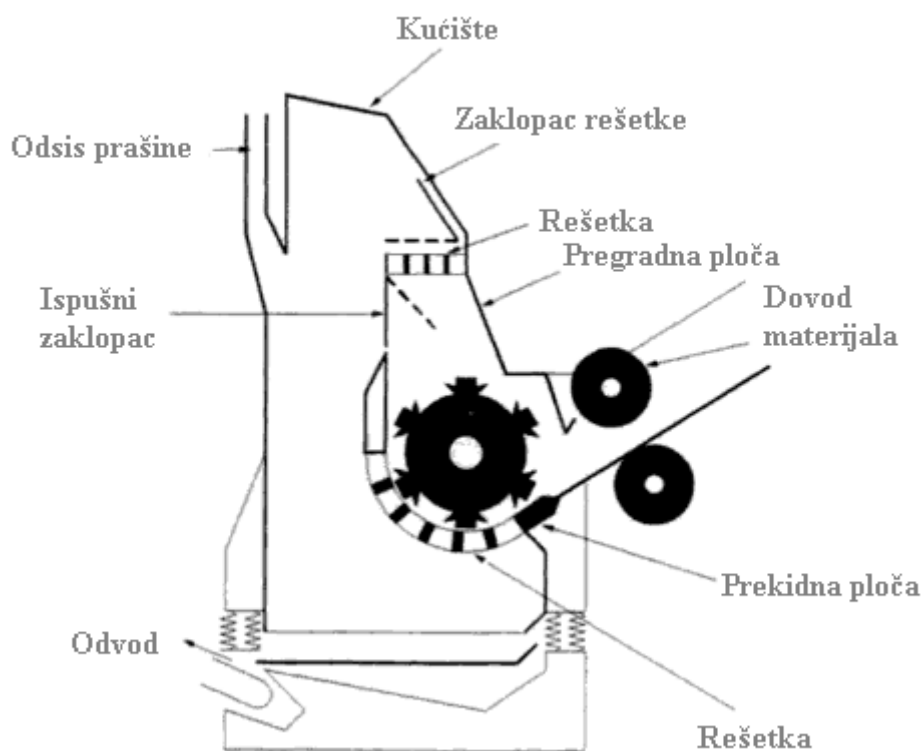
#### 4.3.2. *Industrijsko usitnjavanje otpadnih vozila*

Stroj za usitnjavanje otpadnih vozila na industrijskoj razini omogućuje učinkovitu obradu laganog do srednje teškog miješanog metalnog otpada, uključujući i balirani otpad. Sustav karakteriziraju niski trošci energije, visoka produktivnost i fleksibilnost. Veličina čestica i gustoća otpadnih materijala kontroliraju se radom hidraulički pokretanih elemenata stroja. Pri tome, poduzeti su svi koraci u smanjenju razine buke, vibracija i otpadne prašine u skladu s postojećim zakonskim okvirima.

Stroj za usitnjavanje *Lindemann Zerdirector* raspolaže snagama do gotovo 1000 kW te se koristi za usitnjavanje aluminijskog otpada u čestice ili fragmente. Proces se temelji na udarnom djelovanju rotora i horizontalne osovine s dodanim čekićastim glavama. Materijal se usitjava udarom čekića te kontaktom lomljenih čestica o rešetku i pregradne ploče. Izvedba varira ovisno o veličini i brzini rotora. Element rešetke služi za otpust neobrađenog otpadnog

materijala i usitnjenog proizvoda procesa. Pojedine aluminijske legure, posebice legure dobivene postupkom dubokog vučenja, zbog visokih vrijednosti žilavosti ne mogu se usitniti bez poteškoća. Zbog toga je gornji dio usitnjivača otvoren za odvod neobrađenih dijelova.

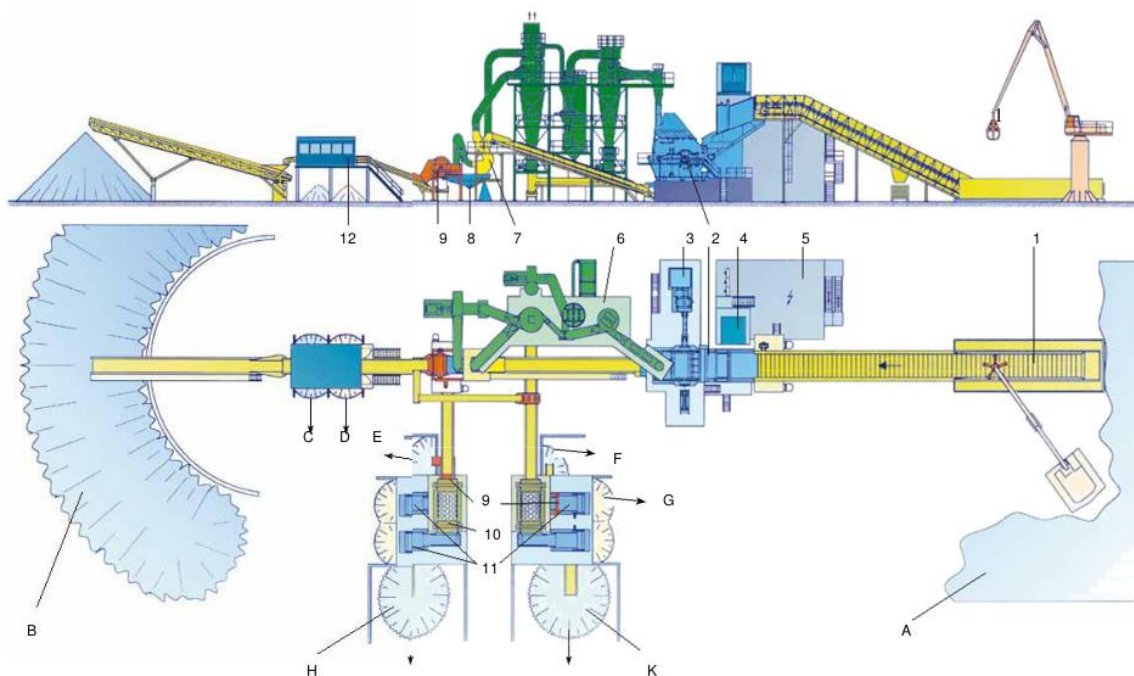
Materijal se dovodi transportnom trakom te prolazi kroz vertikalni tunel do potisnog valjka kojim se ulazni materijal sabija. Potisni valjak može se automatski kontrolirati čime se omogućava zaštita od zagušenja usitnjivača. Poluga za zaustavljanje ili graničnik pri mjestu ulaza materijala razdvaja otpad na količine prikladne za sustav. Materijal i glave čekića prelaze preko donje rešetke te se već u tom koraku otpuštaju manje čestice. Dijelovi koji se ne fragmentiraju do željene veličine sudaraju se s pregradnim pločama gdje dolazi do kompaktiranja materijala. Zajedničko djelovanje pregradne ploče i čekića osigurava željeni stupanj usitnjenosti i kompaktiranosti. [13]



Slika 4.5 Stroj za usitnjavanje *Lindemann Zerdinator* [12]

Većinski tok materijala prolazi kroz gornju rešetku te se dalje otpušta. Kada usitnjeni materijal napusti glavnu komoru prema odvodnom vibracijskom situ, dolazi do ispusta prašine kroz otpusni tunel na vrhu. Potrebna struja zraka stvara se ventiliranjem filtracijskog dijela postrojenja i zračnim strujama uzrokovanim radnim djelovanjem stroja. Potrebno je naglasiti da temperature unutar glavne komore stroja dostižu i vrijednosti od 200 °C do

300 °C zbog visokih vrijednosti narinutih mehaničkih sila. Materijal se odvodi kroz otpusni tunel na dnu sustava. Tijekom procesa odvojeni materijali niže gustoće se otprašuju (tzv. laka frakcija), dok se teška frakcija poput željeznih legura i obojenih metala izdvaja i transportira na daljnje sortiranje. [13]



Slika 4.6 Tok materijala pri procesu usitnjavanja [14]

Tablica 4.1 Tumač znakova za prikaz toka materijala pri procesu usitnjavanja [14]

| Brojčana Oznaka | Naziv dijela           | Slovna oznaka | Naziv materijala            |
|-----------------|------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1               | Transportna traka      | A             | Ulazni materijal            |
| 2               | Drobilica              | B             | Željezna frakcija           |
| 3               | Glavni motor           | C             | Bakrena i željezna frakcija |
| 4               | Kontrolna kabina       | D             | Guma                        |
| 5               | Elektro-ormar          | E             | Željezo/neobojeni metal     |
| 6               | Sustav za otprašivanje | F             | Inertna laka frakcija       |
| 7               | Zračni separator       | G             | Miješani neobojeni metali   |
| 8               | Vibrodozator           | H             | Miješani nemetali           |

|    |                              |   |               |
|----|------------------------------|---|---------------|
| 9  | Magnetski separator          | K | Laka frakcija |
| 10 | Bubnjasto sito               |   |               |
| 11 | Separator vrtložnim strujama |   |               |
| 12 | Kabina za sortiranje         |   |               |

#### 4.4. Usitnjavanje i sortiranje

Otpadna teška i laka frakcija dobivena postupcima navedenim u prethodnom poglavlju skladišti se te se transportira u odvojeno postrojenje gdje dolazi do daljnjeg usitnjavanja i sortiranja. Materijal se pokretnim trakama prenosi do odgovarajućih sita gdje dolazi do razdvajanja različitih vrsta materijala.

Tehnološki proces sortiranja uključuje:

1. pripremu sirovine
2. sortiranje i odvajanje
3. sortiranje sitnije i krupnije frakcije.

Prije unosa lake i teške frakcije u dozirni stroj, sirovina se vizualno provjerava, kontrolira se vlažnost i granulacija materijala. Iz dozirnog stroja pokretnom se trakom mješavina materijala dovodi na prvo sito gdje se frakcija razdvaja s obzirom na dimenzije. Frakcija s dimenzijama većim od 60 mm dovodi se do manjeg mlina čekićara gdje se dodatno usitnjava. Tako usitnjena frakcija, zajedno s dijelom frakcije iz početne smjese dimenzija fragmenata manjih od 60 mm, dovodi se do drugog vibracijskog sita gdje se dobivaju dvije smjese. Prva smjesa sastoji se od fragmenata veličine 16...60 mm, dok je druga u dimenzijskom području 0...16 mm.

Proces sortiranja počinje prolaskom frakcije kroz zračni tunel gdje se lakši dio materijala, tzv. goriva frakcija (tekstil, pjenasti polimerni materijali, prašina i dr.) odvaja u zasebne spremnike. Goriva frakcija se dalje usitnjava zavisno o potrebama kupca. Ostatak materijala provodi se kroz indukcijski separator gdje dolazi do izdvajanja željezne frakcije. Nakon toga izdvajaju se ostali nemagnetični obojeni metalni korištenjem postupka vrtložnih struja. Završne smjese materijala konačno se kontroliraju na ručnoj obradi gdje dolazi od razdvajanja lakih metala i nehrđajućih čelika. Nakon provedenih postupaka, za frakciju dimenzija 0...16 mm, dolazi do prosijavanja i izdvajanja mineralne frakcije. Električni kabeli i ostali polimerni dijelovi odvajaju se naknadno na indukcijskom separatoru te se dodatno kontroliraju ručnim pregledom. [10]

Primjenom vibracijskih stolova, električnim, magnetskim i indukcijskim postupcima separiranja te zračnih stolova dobivaju se sljedeće frakcije:

- magnetični materijali na bazi željeza
- polimerni materijali
- nemagnetični nehrđajući čelici
- aluminij
- inertna frakcija
- Al/Cu legure
- otpadna prašina
- goriva frakcija
- mineralna frakcija (sitniji kamenčići, staklo, zemlja).

Navedeni postupci razvrstavanja temelje se na sljedećim razlikovnim značajkama materijala:

- magnetska svojstva
- mehanička svojstva
- kemijski sastav
- boja površine, boja loma
- gustoća.

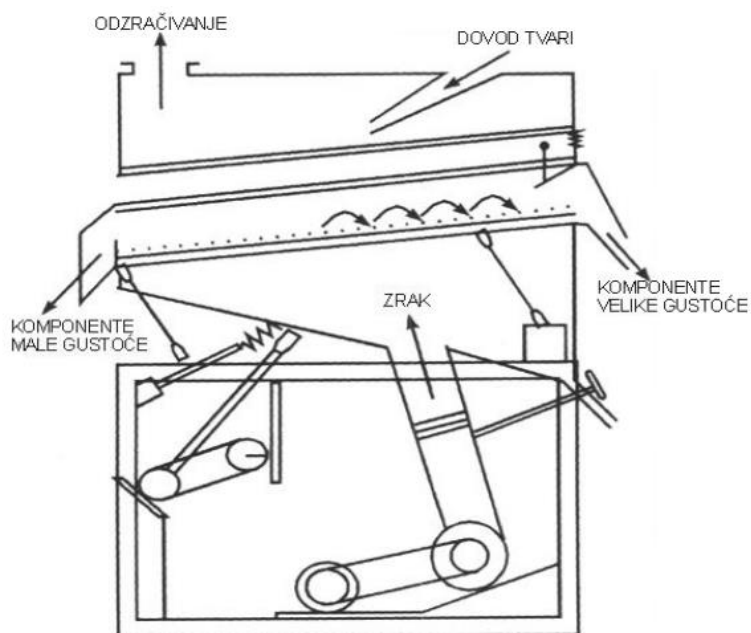
Mehaničko razvrstavanje sastoji se od tri operacije koje uključuju izdvajanje fragmenata poradi pojedinačnog identificiranja, identificiranje fragmenata te odvajanje identificiranih fragmenata u zasebne odvojene spremnike.

#### **4.5. Pregled postupaka razvrstavanja materijala**

U sljedećem potpoglavlju dan je pregled postupaka razvrstavanja materijala pomoću zraka te električnim i magnetskim postupcima s opisanim fizikalnim osnovama pojedinih postupaka.

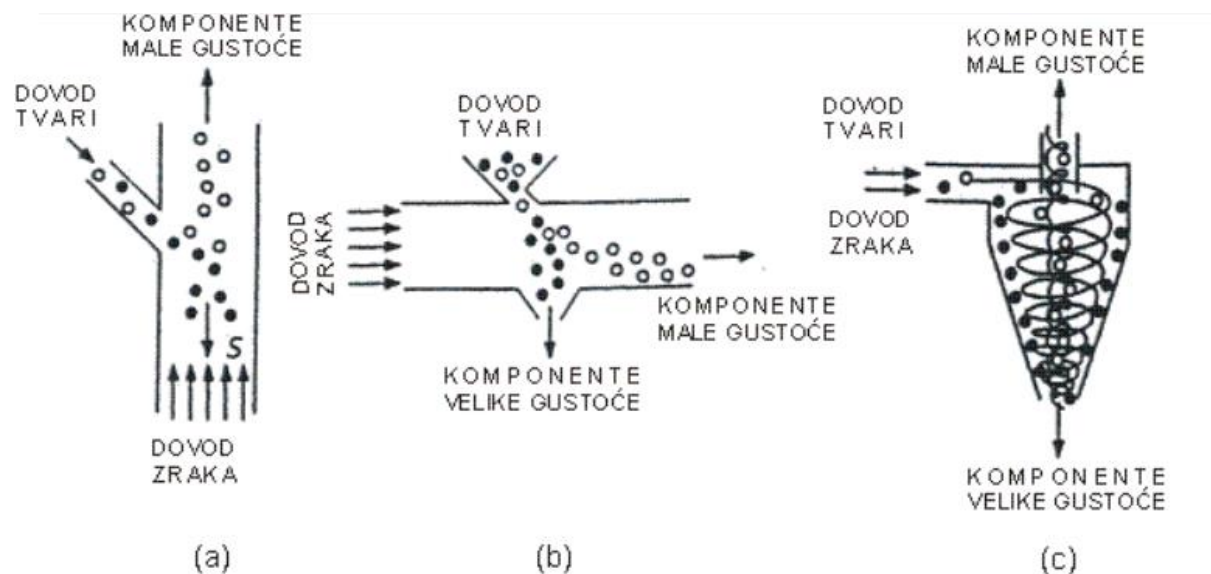
##### **4.5.1. Razvrstavanje pomoću zračnih struja**

Propuhivanje uključuje težinsko odvajanje krutih čestica u zračnoj struji ovisno o dimenzijama, gustoći i obliku čestica pri čemu se lagane čestice odvajaju nošene zrakom, dok teže čestice propadaju na dno spremnika. Druga korištena metoda zračnog razvrstavanja je tzv. ciklon, koji uključuje odvajanje čestica u zračnoj vrtložnoj struji putem djelovanja centrifugalnih sila, koje su različitih vrijednosti ovisno o gustoći ili dimenzijama krutih čestica. Postupak se koristi i za izdvajanje otpadne prašine iz zraka.



Slika 4.7 Shematski prikaz postupka razvrstavanja propuhivanjem [8]

Najčešće korištena metoda zračnog razvrstavanja je zračni vrtlog, gdje se zrak dovodi tangencijalno unutarnjom stijenkom cilindričnog tijela koje je povezano s konusnim dnom. Tangencijalni tok zraka uz stijenku koji izlazi iz sustava pri konusnom dnu, čime se stvara trodimenzionalni protok zraka i čestica otpada, što posljedično uzrokuje stvaranje centrifugalne sile. Budući da je centrifugalna sila usko vezana s masom čestice, a centripetalna sila s površinom čestice, veće čestice će biti pod većim utjecajem centrifugalne sile, dok će finije čestice biti utjecane centripetalnim silama. [15]



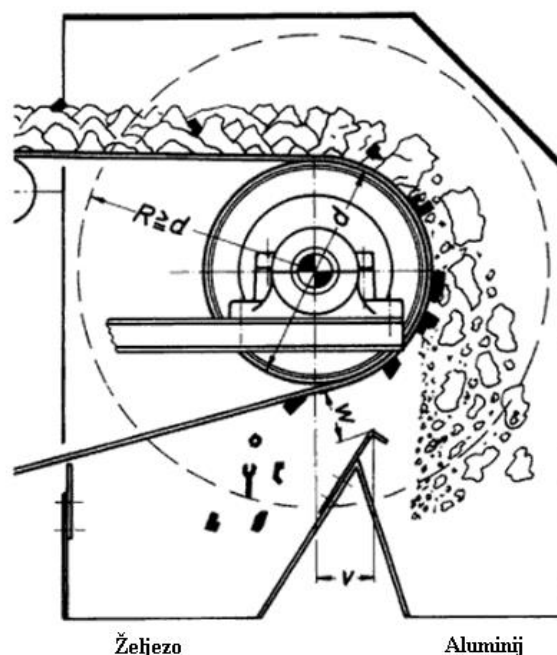
Slika 4.8 Varijante zračnog separatora: protustrujna metoda (a), poprečna metoda (b), centrifugalna metoda (c) [8]

Rezultat razvrstavanja zračnim vrtlogom je akumuliranje grubljih čestica uza stijenke sustava, te finijih uz središnjicu spremnika. Vertikalnim kretanjem čestice će ili izaći na vrhu cilindričnog dijela spremnika (finije čestice) ili se sakupiti u vršku konusnog dijela spremnika (krupnije čestice). Variranjem dimenzija otvora i cilindra te količine dovedenog materijala može se postići zadovoljavajuća kontrola nad postupkom.

#### **4.5.2. Razvrstavanje električnim i magnetskim postupcima**

Električni i magnetski postupci razdvajanja materijala upotrebljavaju se za razdvajanje željeznih i neželjeznih materijala. Magnetski postupci separacije temelje se na vrijednostima magnetske osjetljivosti materijala. Veličina je usko vezana s magnetskom permeabilnosti te se tako materijali dijele na dijamagnetike, paramagnetike i feromagnetike.

Pri tome metali poput titanija, vanadija, kroma, mangana i platine pripadaju u grupu paramagnetika, dok su željezo, kobalt i nikal pretežno feromagnetske prirode. Dijamagnetici uključuju materijale poput polimernih materijala (npr. guma), stakla i prašine. Jačina magnetskog polja unutar feromagnetskih čestica je visoka te time dolazi do stvaranja veće magnetske sile. Feromagnetski postupak uključuje prevođenje usitnjenog otpada na prenosilu (konvejeru) preko bubnja gdje se inducira jako magnetsko polje, što uzrokuje zadržavanje čestica feromagnetskih materijala na pokretnoj traci, a odbacivanje nemagnetičnih čestica materijala s konvejera, slika 4.9. Podvrgavanjem mješavine otpadnih materijala vrlo jakim magnetskom polju moguće je postići jednak učinak kada je potrebno odvojiti paramagnetske i nemagnetične materijale. [15]



Slika 4.9 Razdvajanje materijala magnetskim poljem [13]

Indukcijsko separiranje temelji se na induciranju vrtložnih (tzv. Foucaultovih) električnih struja u metalnim materijalima djelovanjem magnetskog polja promjenjivog toka. Foucaultove struje se nazivaju i vrtložne struje jer teku u zatvorenim petljama poput vrtloga u tekućinama. Time se, prema Lenzovom pravilu, stvara sila okomita na tok i smjer inducirane vrtložne struje. Električki vodljive čestice rotiraju se suprotno od smjera inducirane struje, dok nevodljive čestice ostaju nepomičnima. Omjer električne provodljivosti i gustoće materijala razmjernan je nastaloj sili. Materijali s visokim razmjerom spomenutih veličina poput aluminija i magnezija lako se razdvajaju, dok zlato i cink imaju vrlo niski omjer te se puno teže razdvajaju. Staklo, guma i ostali polimerni materijali nisu podložni utjecaju vrtložnih struja.

Elektrostatička separacija također iskorištava električnu vodljivost materijala za postupak razdvajanja. Čestice se nabijaju visokonaponskim poljem te dovode do uzemljenog cilindričnog rotirajućeg elementa (bubnja). Pri tome električki vodljivi materijali gube svoj naboj i odbijaju se od bubnja pomoću centrifugalne sile te odstranjuju u zasebni spremnik. Nabijene čestice se mogu propuštati i između elektrostatički nabijenih ploča. Dovođeni materijal mora biti suh i bez prisutnosti prašine. Razdvajanje se provodi u nekoliko ponavljanja te je prikladno za manje veličine čestica. [15]

#### 4.6. Sastav otpadnih materijala



Nakon obrade provedene usitnjavanjem na mlinu čekićaru provedena je analiza bilance dobivenih materijala. Proces analize bilance tvari temelji se na dva osnovna načela o očuvanju mase i energije u zatvorenom sustavu. Time se postavlja zakon da ukupna masa i energija nekog sustava ostaju nepromijenjene.

Svaki promatrani proces sastoji se od operacije ili niza operacija kojima dolazi do fizikalnih ili kemijskih promjena čistih tvari ili smjesa tvari. Tijekom provedbe procesa veličine koje karakteriziraju proces, a mijenjaju se i mogu se mjeriti nazivaju se procesnim varijablama. Šest je tipova procesnih varijabli kako je navedeno u nastavku:

1. masa tvari
2. vrijeme
3. procesne varijable koje označavaju kemijski sastav tvari (množina tvari, molarni, maseni i volumni udio, odnosno koncentracija)
4. procesne varijable koje se izvode iz mase i volumena (gustoća, relativna gustoća i specifični volumen)
5. procesne varijable koje označavaju tok tvari (maseni, volumni i molarni protok)
6. procesne varijable koje označavaju stanje procesa (temperatura, tlak). [16]

U kontinuiranim procesima materijal se kreće od jedne do druge procesne jedinice. Procesne jedinice su uređaji ili dijelovi postrojenja u kojima se provodi jedna od operacija procesa. Svaka jedinica može imati jedan ili više ulaznih, odnosno izlaznih tokova. Brzina prenošenja materijala u procesnoj liniji naziva se protok. Poznati su maseni protok, volumni protok te molarni protok. [16]

Podjela procesa provodi se zavisno o njihovoj fizikalnoj ili kemijskoj prirodi, o vremenskim promjenama procesnih varijabli (stacionarni i nestacionarni procesi) i o načinu rada. Prema načinu rada, procesi se dijele na kontinuirane i diskontinuirane. Diskontinuirani proces je proces u koji između vremena punjenja sirovina i pražnjenja produkata ne ulazi, odnosno ne izlazi materijal. Na početku diskontinuiranog procesa procesna jedinica se napuni materijalima te se nakon određenog vremena iz procesne jedinice isprazne produkti procesa. Ovakav način rada pretežno se koristi u maloserijskoj proizvodnji. S druge strane, za velike proizvodne procese češći je kontinuirani način rada. U takvom procesu ne postoji period punjenja i pražnjenja na početku, odnosno završetku procesa, već se materijal kontinuirano dobavlja i izlazi iz procesne jedinice. Ako je zadovoljena jednakost ulaznog i izlaznog protoka tvari, za proces se kaže da je stacionaran. Kontinuirani procesi u industriji teže

stacionarnim uvjetima. Moguće nestacionarnosti se pojavljuju prilikom pokretanja procesa ili mijenjanja radnih uvjeta. [16]

Opća jednačba bilance tvari zadana je sljedećom jednačbom: [16]

$$\begin{aligned} ULAZ TVARI - IZLAZ TVARI \pm TVAR PROMIJENJENA REAKCIJOM \\ = AKUMULACIJA TVARI. \end{aligned} \quad (1)$$

U fizikalnim procesima jednačba se pojednostavljuje u sljedeći oblik:

$$ULAZ TVARI - IZLAZ TVARI = AKUMULACIJA TVARI. \quad (2)$$

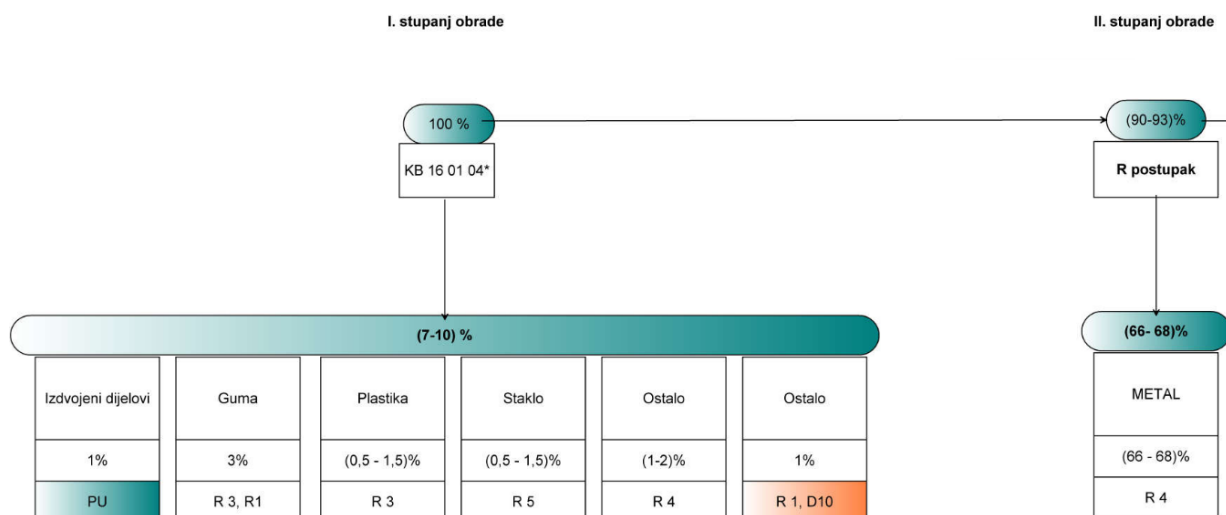
Nadalje, za stacionarne fizikalne procese kakvima teže kontinuirani procesi u industriji vrijedi:

$$ULAZ TVARI - IZLAZ TVARI = 0. \quad (3)$$

Na kontinuirane procese primjenjuje se tzv. diferencijalna bilanca tvari koja pokazuje što se u procesu događa u određenom vremenskom trenutku. Svaki član bilance izražava se protokom (npr. brzinom nastajanja i nestajanja tvari). Pri tome vrijedi jednačba (3). Dodatno razlikujemo bilance tvari pojedinih komponenata te ukupnu bilancu tvari. [16]

Problem rješavanja bilance tvari temelji se na određivanju nepoznatih procesnih varijabli na osnovu zadanih vrijednosti ulaznih i izlaznih procesnih varijabli. Postavljanjem i rješavanjem nezavisnih linearnih matematičkih jednačbi predočava se bilanca tvari, a rješavanjem tih jednačbi dobivaju se prethodno nepoznate tražene varijable. Za pravilno provođenje postupka rješavanja problematike bilance potrebno je provesti detaljnu analizu problema te konstruirati procesnu shemu s naznačenim procesnim jedinicama i tokovima. Za proces se definira jednačba za ukupnu bilancu tvari te ostale jednačbe za bilancu svake pojedine komponente. Zavisno o broju nepoznatih varijabli i postavljenih jednačbi provodi se analiza stupnjeva slobode te se rješava zadani sustav nezavisnih linearnih jednačbi. Pri procesima u kojima se ne odvijaju kemijske reakcije vrijedi pravilo da je broj jednačbi jednak broju komponenata procesa. Za slučaj fizikalnih procesa koji teže stacionarnosti masa tvari na ulazu u proces jednaka je masi tvari na izlazu iz procesa neovisno radi li se o ukupnoj bilanci ili bilanci pojedine komponente. [16]

Kvalitativno i kvantitativno ispitivanje sastava otpadnih materijala provedeno je analizom bilance mase materijala dobivenih nakon mehaničke obrade usitnjavanjem krutih komponenti otpadnog vozila na mlinu čekićaru. Masena bilanca procesa obrade otpadnih vozila prikazana je na sljedećoj slici:



**Slika 4.10** Shematski prikaz masene bilance nakon postupaka demontaže i usitnjavanja [10]

U tablici 4.2 je dan primjer analitičkih podataka prosječnog uzorka obrađenih otpadnih vozila.

**Tablica 4.2** Podaci dobiveni analizom masene bilance reprezentativnog uzorka [10]

| Faza                                   | Opis artikla                       | JM | Ukupno  | %    |
|--|------------------------------------|----|---------|------|
| Demontaža i isušivanje otpadnog vozila | Katalizatori                       | kg | 111,00  | 0,06 |
|  | Akumulatori                        | kg | 613,00  | 0,31 |
|  | Filtri za otpadno ulje             | kg | 96,00   | 0,05 |
|  | Otpadno motorno ulje               | kg | 374,00  | 0,19 |
|  | Otpadno hidraulično ulje           | kg | 46,64   | 0,02 |
|  | Otpadni antifriz                   | kg | 245,00  | 0,12 |
|  | Otpadno ulje za kočnice            | kg | 15,00   | 0,01 |
|  | Otpadno gorivo-dizel               | kg | 268,80  | 0,13 |
|  | Otpadno gorivo-benzin              | kg | 277,50  | 0,14 |
|  | Otpadno gorivo-tekući plin         | kg | 0,00    | 0,00 |
|  | Komponente vozila s azbestom       | kg | 0,00    | 0,00 |
|  | Komponente vozila koje sadrže živu | kg | 0,00    | 0,00 |
|  | Komponente vozila s PCB-om         | kg | 0,00    | 0,00 |
|  | Otpadno staklo                     | kg | 1495,00 | 0,74 |
|  | Otpadna guma                       | kg | 0,00    | 0,00 |
|  | Otpadna plastika                   | kg | 2001,00 | 1,00 |

|                        |  |    |           |       |
|------------------------|--|----|-----------|-------|
|                        | Otpadni lim  | kg | 0,00      | 0,00  |
|                        | Tekućina za stakla   | kg | 55,00     | 0,03  |
|                        | Al-Cu hladnjaci  | kg | 811,00    | 0,40  |
|                        | Pneumatici s naplaticima                                   | kg | 11245     | 5,60  |
|                        | Komponente za ponovnu uporabu                              | kg | 0,00      | 0,00  |
|                        | Elektropokretač (anlanser)                                 | kg | 130,00    | 0,06  |
|                        | Električni generator (alternator)                          | kg | 169,00    | 0,08  |
|                        | Električni vodovi (kablovi)                                | kg | 863,00    | 0,43  |
| Usitnjivač<br>(šreder) | E40-magnetični željezni materijali                         | kg | 132000,00 | 65,71 |
|                        | Frakcija od usitnjavanja-neželjezna, nemagnetična frakcija | kg | 49708,00  | 24,74 |
|                        | Cu-Fe usitnjeni elektromotori                              | kg | 360,00    | 0,18  |

Iz podataka je vidljivo da najveći udio u otpadnom vozilu zauzimaju magnetični željezni materijali sa 65,71 % ukupne mase otpadnih vozila, što je logično s obzirom da se obrađuju zastarjela otpadna vozila u kojima je prevladava čelik kao materijal karoserije i željezni ljevovi kao materijal bloka motora. Neželjezna, nemagnetična frakcija od usitnjavanja zauzima 24,74 % udjela ukupne mase demontiranog, isušenog i usitnjenog vozila. Ukupno 0,64 % udjela zauzimaju razne tekućine u prikupljenim otpadnim vozilima.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu dan je pregled postupaka recikliranja otpadnih vozila od trenutka preuzimanja cjelovitog vozila do dobivanja pojedinačnih frakcija obrađenih materijala. Otpadna vozila višekomponentni su sustavi koji se izrađuju od različitih materijala. S razvojem automobilske industrije sastav materijala osobnih i komercijalnih vozila podložan je postupnim promjenama. Otpadna vozila u Republici Hrvatskoj pretežno su starije izrade i kao takva izrađena su od težih i robusnijih dijelova. Ne treba zanemariti povećan udio štetnih kemikalija i goriva koji čine sastavni dio pravilnog rada svakog vozila. Obrada otpadnih vozila prema tome uključuje uporabu sredstava i postupaka koji će u skladu s takvim nametnutim zahtjevima biti u mogućnosti obraditi vozilo sa što višim stupnjem učinkovitosti. Postupci obrade odvijaju se u skladu sa svim zakonodavnim okvirima Republike Hrvatske temeljenim na Direktivi 2008/98/EZ kojom se promiče odgovorno i ekološki osviješteno gospodarenje otpadom i otpadnim vozilima, a na način kojim se ne šteti čovjeku i okolišu.

Potrebno je naglasiti da trenutne mogućnosti sakupljača i obrađivača otpada ne uključuju skladištenje otpadnih dijelova automobila koji još posjeduju svoju punu funkcionalnost. Time bi se omogućilo sprečavanje nastajanja dodatnog otpada što predstavlja prvi korak u primjeni hijerarhije gospodarenja otpadom uspostavljene zakonodavnim okvirom Europske unije. Primjenom mrežnih servisa poput Međunarodnog informacijskog sustava za rastavljanje otpadnih vozila čini se korak u pravom smjeru. Takav sustav opremljen je svim potrebnim informacijama koje omogućuju prepoznavanje dijelova otpadnog vozila i njihovo skladištenje za daljnju uporabu u automobilima u voznom stanju.

Osim materijala navedenih u ovom radu, a dobivenih obradom otpadnih vozila, u vozilu su prisutne određene količine plemenitih metala u katalizatorima, dijelovima koji se koriste za smanjenje količina ispušnih plinova. Katalizatori se izrađuju od metala iz skupine platina, te je za izdvajanje platine, paladija i rodija potrebno primijeniti znanja iz područja metalurgije. Navedeni postupci su skupi, no učinkovitost je visoka. Cijena otpadnog katalizatora uvelike ovisi o kretanju tržišta plemenitih metala.

Na stranicama Londonske burze metala (engl. *London metal exchange*, LME) podaci o cijeni platine i paladija mijenjaju se dva puta dnevno, a cijene su približno 44200 eura po kilogramu paladija, te gotovo 24000 eura po kilogramu platine, npr. za sedmi mjesec 2019. godine. Prema podacima iz analize masene bilance, udio iskorištenih katalizatora jest 0,06 % ukupne

mase obrađenih otpadnih vozila. Prema podacima o ukupnoj masi obrađenih otpadnih vozila u Republici Hrvatskoj za period 2009.-2016. i udjela katalizatora u masi vozila, bilježi se rast s 10,67 tona na 11,1 tona obrađenih katalizatora. [17] Također, prema prosječnom godišnjem broju od 51000 otpadnih vozila između 2001. i 2015. u Republici Hrvatskoj [17] i prosječnoj masi platine u katalizatorima različitih vozila, koja iznosi 1,5 g, dolazi se do podatka o 76,5 kg potencijalno reciklirane platine godišnje u Republici Hrvatskoj, vrijednosti više od 1,800,000 eura godišnje. Potencijalno poboljšanje obrade otpadnih vozila jest uvođenje metalurške obrade materijala u katalizatoru s obzirom na mogućnosti ovlaštenih obrađivača u Republici Hrvatskoj, a s obzirom na visoku financijsku isplativost.

## LITERATURA

- [1] United Nations, *Sustainable consumption and production*, URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production>, Citirano: 18.06.2019.
- [2] Narodne novine, *Zakon o održivom gospodarenju otpadom*, Narodne novine d.d., 94/2013, 2013.
- [3] Direktiva 2008/98/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 19. studenoga 2008. o otpadu i stavljanju izvan snage određenih direktiva (SL L 312/3, SL, posebno izdanje na hrvatskom jeziku), pog. I-VIII, 19.11.2008.
- [4] EPA, *The waste hierarchy*, URL: <https://www.epa.nsw.gov.au/your-environment/recycling-and-reuse/warr-strategy/the-waste-hierarchy>, 21.09.2017., Citirano: 18.06.2019.
- [5] European Commission, *Being wise with waste: the EU's approach to waste management*, URL: <https://ec.europa.eu/environment/waste>, 2010, Citirano: 18.06.2019.
- [6] Eurostat, *Waste statistics-Statistics Explained*, URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/>, 2018, Citirano: 18.06.2019.
- [7] Narodne novine, *Pravilnik o gospodarenju otpadnim vozilima*, Narodne novine d.d., 125/2015, 18.11.2015.
- [8] Žmak I., *Recikliranje materijala*, Službena predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Zagreb, 2018.
- [9] IDIS 2 Group, *Discover IDIS*, URL: <https://www.idis2.com>, Citirano: 06.06.2019.
- [10] C.I.O.S. grupa, *Tehnička dokumentacija tvrtke C.I.O.S.*, Citirano: 12.06.2019.
- [11] Formalczyk A., Saternus M., *Removal of platinum group metals from the used auto catalytic converter*, Silesian University of Technology, Katowice, Poland, 2008., 133-136.
- [12] Squires D.M., Veasey T.J., Wilson R.J., *The Physical Separation and Recovery of Metals from Wastes*, Gordon and Breach Science Publishers S.A., 1993., 23-29.

- 
- [13] Schmitz C., *Handbook of Aluminum Recycling*, Deutsche Nationalbibliothek, 2006., 42-56.
- [14] Rukavina T., *Recikliranje otpadnih vozila*, diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb, Zagreb, 2015.
- [15] Reuter M.A., Worrel E., *Handbook of recycling, State-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists*, Elsevier, 2014., 537-543.
- [16] Presečki A.V., *Bilanca tvari i energije, Kemija i inženjerstvo materijala*, službena predavanja, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Zagreb, Zagreb, Citirano: 26.06.2019.
- [17] Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, *Izvešće o otpadnim vozilima i gumama*, 2017., 12-15.



## **PRILOZI**

I. CD-R disk