

Primjena suvremenih tehnologija u gospodarenju građevinskim otpadom

Tomić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:235:345146>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-09**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Josip Tomić

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Josip Tomić

Zagreb, 2021.

ZADATAK

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Josip Tomić**

Mat. br.: 0035210872

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena suvremenih tehnologija u gospodarenju građevinskim otpadom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Application of modern technologies in construction waste management**

Opis zadatka:

Građevinarstvo je jedna od istaknutih ljudskih djelatnosti, pa je razumljivo da je i udio te djelatnosti u stvaranju otpada vrlo velik.

U radu je potrebno:

1. opisati djelatnost gospodarenja otpadom, posebno građevinskog otpada
2. istražiti i opisati tehnologije tretiranja građevinskog otpada, posebno mogućnosti automatskog sortiranja građevinskog otpada
3. opisati situaciju u vezi nastanka i zbrinjavanja građevinskog otpada u Republici Hrvatskoj
4. ponuditi nova rješenja za gospodarenje građevinskim otpadom u Republici Hrvatskoj.

Zadatak zadan:
30. studenoga 2020.

Datum predaje rada:
1. rok: 18 veljače 2021.
2. rok (izvanredni): 5. srpnja 2021.
3. rok: 23. rujna 2021.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 22.2. – 26.2.2021.
2. rok (izvanredni): 9.7.2021.
3. rok: 27.9. – 1.10.2021.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Prof. dr. sc. Branko Bauer

IZJAVA

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

Zahvaljujem prof. dr.sc. Zoranu Kunici na pomoći i stručnim savjetima tijekom izrade završnog rada. Također zahvaljujem svojim roditeljima Bernandu i Ružici, sestri Anamariji, salezijancima, cimerima i svim ostalim prijateljima koji su bili uz mene tijekom studija.

U Zagrebu, 18. veljače 2021.

Josip Tomić

SAŽETAK

Republika Hrvatska ulaže značajna sredstva za gospodarenje otpadom i tako slijedi upute Europske Unije čija se strategija razvoja temelji na kružnom gospodarstvu. Jedna od važnijih kategorija otpada jest građevinski otpad čije ispravno zbrinjavanje ili ponovno korištenje zahtjeva specifične metode i velike napore. Stoga je za podizanje kvalitete gospodarenja građevinskim otpadom nužno koristiti suvremene tehnologije, a povećanjem automatizacije procesi mogu postati brži dok su reciklirani materijali čišći. Važnost postrojenja za recikliranje građevinskog otpada posebno se aktualizira u slučaju potresa. U radu je dan osvrt na postojeće stanje u Republici Hrvatskoj te predložen i opisan koncept automatiziranog postrojenja za recikliranje građevinskog otpada.

Ključne riječi: gospodarenje otpadom, građevinski otpad, kružno gospodarstvo, recikliranje, sortiranje

SUMMARY

The Republic of Croatia invests significant funds for waste management. It follows the directives of the European Union that assumes its development strategy based on the circular economy. A significant category of waste is construction waste, whose proper disposal or reuse requires specific methods and great efforts. Thus it is necessary to use modern technologies to raise the quality of construction waste management. By increasing automation, processes can become faster while recycled materials are cleaner. The importance of construction waste recycling facilities is especially relevant in case of damage caused by earthquakes. The paper provides an overview of the current situation in the Republic of Croatia, which proposes and describes the concept of an automated plant for construction waste recycling.

Key words: waste management, construction waste, circular economy, recycling, sorting

SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| ZADATAK..... | I |
| IZJAVA..... | II |
| SAŽETAK..... | III |
| SUMMARY | IV |
| POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA | VII |
| POPIS SLIKA | VIII |
| POPIS TABLICA..... | IX |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. DJELATNOST GOSPODARENJA OTPADOM..... | 2 |
| 2.1. OTPAD..... | 2 |
| 2.1.1. VRSTE OTPADA | 4 |
| 2.1.2. ODLAGALIŠTA OTPADA | 4 |
| 2.1.3. RECIKLAŽNA DVORIŠTA | 5 |
| 2.2. GOSPODARENJE OTPADOM..... | 6 |
| 2.2.1. RED PRVENSTVA GOSPODARENJA OTPADOM | 8 |
| 2.2.2. NAČELA GOSPODARENJA OTPADOM..... | 9 |
| 2.2.3. CENTRI ZA GOSPODARENJE OTPADOM | 9 |
| 3. GRAĐEVINSKI OTPAD..... | 11 |
| 3.1. SASTAV I SVOJSTVA GRAĐEVINSKOG OTPADA | 12 |
| 3.2. OPASNE TVARI..... | 14 |
| 3.3. GOSPODARENJE GRAĐEVINSKIM OTPADOM | 15 |
| 3.4. POSTUPAK RECIKLIRANJA | 16 |
| 3.4.1. ODVAJANJE SITNOG OTPADA | 18 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.2. DROBLJENJE OTPADA | 19 |
| 3.4.3. ODSTRANJIVANJE METALA..... | 20 |
| 3.4.4. ODJELJIVANJE FRAKCIJA | 22 |
| 3.4.5. DEPONIRANJE I PONOVDNA UPORABA FRAKCIJA..... | 23 |
| 4. STANJE U REPUBLICI HRVATSKOJ..... | 24 |
| 5. MOGUĆNOSTI UNAPRJEĐENJA SUSTAVA GOSPODARENJA GRAĐEVINSKIM OTPADOM..... | 27 |
| 5.1. POTRESI U REPUBLICI HRVATSKOJ..... | 27 |
| 5.2. UNAPRJEĐENJE POSTUPKA RECIKLIRANJA | 28 |
| 5.2.1. POSTROJENJE ZA RECIKLIRANJE S AUTOMATIZIRANIM SORTIRANJEM..... | 29 |
| 5.2.2. SHEMA NOVOG POSTROJENJA ZA RECIKLIRANJE | 32 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 36 |
| 7. LITERATURA..... | 38 |

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

| Oznaka | Značenje |
|---------------|--|
| eng. | engleski |
| CGO | Centar za Gospodarenje Otpadom |
| NIR | eng. <i>near infra-red</i> – blisko infracrveno |
| PCB | eng. <i>printed circuit board</i> – tiskana elektronička pločica |
| RGO | postrojenje za recikliranje građevinskog otpada |
| VIS | eng. <i>visible light</i> – vidljivi spektar boja |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Razgradnja proizvoda u prirodi..... | 3 |
| Slika 2. Sortiranje komunalnog otpada | 3 |
| Slika 3. Brtveni slojevi u odlagalištu otpada [6] | 5 |
| Slika 4. Mobilno reciklažno dvorište u Karlovcu | 6 |
| Slika 5. Kružno gospodarstvo [7]..... | 7 |
| Slika 6. Red prvenstva gospodarenja otpadom | 8 |
| Slika 7. Regionalni centar za gospodarenje otpadom „Piškornica“ [9] | 10 |
| Slika 8. Shema recikliranja [2]..... | 17 |
| Slika 9. Rotirajuće sito [20]..... | 18 |
| Slika 10. Čeljusna drobilica Blake [21] | 19 |
| Slika 11. Drobilica s valjcima [22]..... | 20 |
| Slika 12. Magnetni separator: crvenim naznačen tok magnetičnog otpada, a crnim nemagnetičnog [23]..... | 21 |
| Slika 13. Separator <i>eddy current</i> [24] | 21 |
| Slika 14. Ravno vibrirajuće sito [25] | 22 |
| Slika 15. Udio pojedine vrste otpada u ukupnom otpadu | 26 |
| Slika 16. Koncept recikliranja sličan RGO Prudinec [25] | 29 |
| Slika 17. Primjena senzora NIR [31] | 31 |
| Slika 18. Shema unaprjeđenog procesa postrojenja za recikliranje građevinskog otpada..... | 33 |
| Slika 19. NIR s tri razine odvajanja [32]..... | 34 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Kategorizacija građevinskog otpada | 12 |
| Tablica 2. Količine kategoriziranog građevinskog otpada u republici Hrvatskoj..... | 25 |

1. UVOD

Čovjek u svom privatnom i poslovnom životu koristi različite predmete koji nakon nekog vremena postanu nepotrebni ili nekorisni što ima za posljedicu odbacivanje takvih predmeta. S povećanjem populacije i s rastom industrije rastu i količine otpada. S vremenom su količine otpada postale toliko velike da sve znatnije štete okolišu. Stoga su države donosile i donose zakone kojima propisuju procedure za odlaganje otpada. Otpad se sve više prepoznaje i kao prilika za ekonomski rast jer se može reciklirati i ponovno koristiti.

Postoje različite vrste otpada, a jedna od njih je i građevinski otpad. Građevinarstvo je široka i sa strane korištenih materijala složena ljudska djelatnost. Stoga je razumljivo što je i udio građevinskog otpada u ukupnom otpadu velik. Predmeti koji se koriste u građevinarstvu često su velikih dimenzija, težina i količina što dodatno otežava ispravno gospodarenje građevinskim otpadom. Zbog svega navedenog jasno je kako bez kvalitetnih strojeva nema ni ispunjenja suvremenih zahtjeva vezanih uz gospodarenje građevinskim otpadom. Strojevi koji se koriste za obradu građevinskog otpada često su velikih dimenzija, dok su sustavi automatizirani.

Osnovna motivacija za izradu ovog završnog rada bila je istražiti procese koji su potrebni za uspješno recikliranje i zbrinjavanje građevinskog otpada posebno sa strane automatskog sortiranja. Tako će u radu biti opisan proces gospodarenja otpadom s naglaskom na građevinski otpad, prikazat će se strojevi koji se pri tome koriste i njihov način rada te ponuditi novo rješenje na osnovi istraživanja stanja trenutačne tehnologije i stanja s građevinskim otpadom u Republici Hrvatskoj.

2. DJELATNOST GOSPODARENJA OTPADOM

2.1. OTPAD

Otpad je svaka tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti [1]. Otpad nije isto što i smeće. Smeće je onaj otpad koji ne može biti koristan zbog lošeg razvrstavanja ili odlaganja. Smeće se ne može ponovno upotrijebiti i štetno je za okoliš u kojem se dugotrajno nalazi.

U razvoju proizvoda mogu se definirati faze u kojima može nastati otpad:

- izrada materijala za proizvodnju
- izrada proizvoda
- eksploatacija proizvoda
- nakon eksploatacije proizvoda.

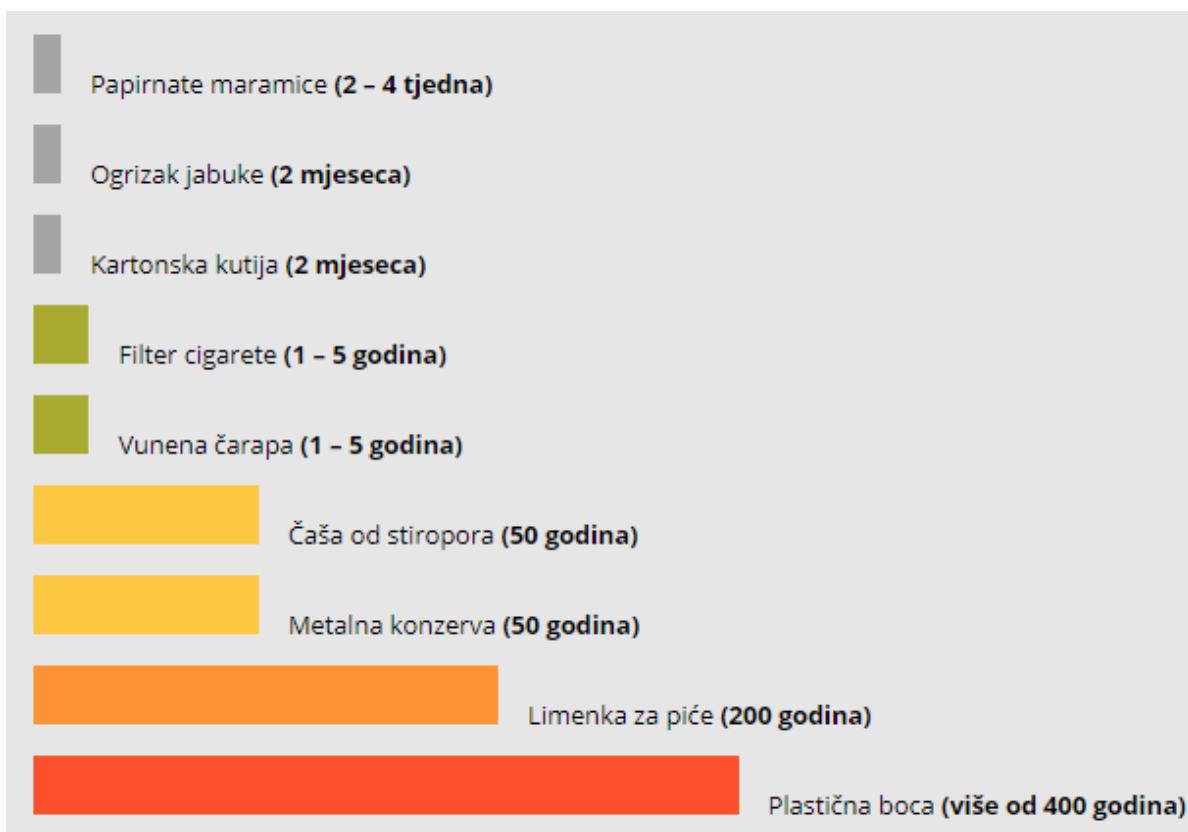
Na slici 1. prikazano je vrijeme potrebno nekom proizvodu za razgradnju u prirodi.

Rješenje problema dugotrajne razgradnje u prirodi je recikliranje kojim se otpad ponovno vraća u upotrebu. Kako bi se recikliralo potrebno je:

- prikupljanje otpada
- selektiranje otpada (na mjestu prikupljanja i na odlagalištima)
- prerada otpada.

Prema važećim zakonima davatelj usluge (naprimjer komunalno poduzeće) dužan je osigurati prikupljanje [2] (Slika 2.):

- miješanog komunalnog otpada
- biorazgradivog komunalnog otpada
- reciklabilnog komunalnog otpada (plastika, metal, staklo)
- papira
- glomaznog otpada.



Slika 1. Razgradnja proizvoda u prirodi



Slika 2. Sortiranje komunalnog otpada

Dužnost svakog građanina je brinuti o otpadu ovisno o propisima. Posebnu pažnju brizi trebaju posvetiti poduzeća koja proizvode velike količine otpada kao i opasan otpad. Takva poduzeća trebaju imati i svoj poseban plan sigurnog zbrinjavanja otpada.

2.1.1. VRSTE OTPADA

Razlikovanje otpada je važno zbog toga što se ne može sav otpad jednako tretirati. Ovdje je napravljena podjela po mjestu nastanka otpada [3]:

- komunalni – nastao u kućanstvima ili se nalazi u prirodi i po svom sastavu je sličan otpadu iz kućanstva,
- industrijski – nastao odbacivanjem iz proizvodnog procesa,
- ambalažni – nastao prilikom osiguravanja sigurnog transporta proizvoda od proizvođača do potrošača,
- građevinski – nastao prilikom izgradnje, rekonstrukcije ili rušenja objekata,
- električni i elektronički – nastao odbacivanjem svih uređaja koji u sebi sadrže električne i elektroničke komponente,
- otpadna vozila i pneumatici – nastao odbacivanjem automobila koji više nisu u funkciji.

2.1.2. ODLAGALIŠTA OTPADA

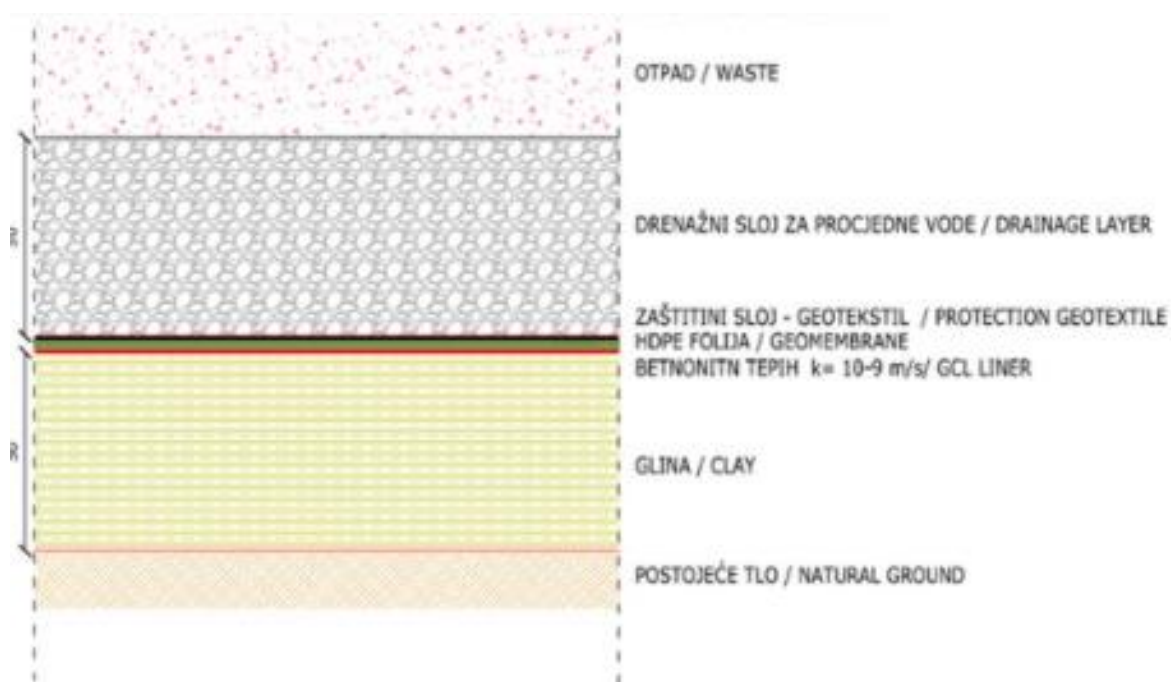
Svaki otpad koji nije razvrstan i dalje se neće prerađivati, odlaže se na zato predviđeno odlagalište. Odlagališta mogu biti: legalna (službena) i divlja. [4]

Divlja odlagališta otpada nastaju nekontroliranim odbacivanjem otpada od strane građana na mjestima koja su lako dostupna i donekle skrivena od javnosti. Takva mjesta često su u blizini naselja čiji se neugodni miris može osjetiti. Također, vjetrom čestice otpada mogu doći blizu ljudima i biti uzrokom različitih bolesti, a osim toga ako je otpad u blizini rijeka ili izvora, može ozbiljno onečistiti vodu ugrožavajući pritom biljni i životinjski svijet.

Rješenje koje propisuju zakoni je legalno odlagalište otpada koje je uređeno kako bi se spriječilo onečišćenje okoliša. Postoje planska odlagališta na koja se počinje odlagati od samog početka i ona koja su preuređena iz divljih odlagališta nekom od metoda [5]:

- Metoda EX SITU– koristi se kada je otpad potrebno premjestiti na novu lokaciju zbog negativnog utjecaja koji ima na okoliš u kojemu se nalazi. Pri premještanju se može napraviti i dodatna selekcija otpada koji je nepotrebno odbačen.
- Metoda IN SITU– uređenje nesređenog odlagališta odvija se na istoj lokaciji. Otpad koji je razbacan se skuplja i sabija. Potrebno je osigurati određeni brtveni sloj kako bi se spriječilo ispuštanje podzemnih voda i plinova.

Na slici 3. nalazi se prikaz brtvenih slojeva koji sprječavaju onečišćenje tla prilikom razgradnje otpada koji se nalazi na odlagalištu.



Slika 3. Brtveni slojevi u odlagalištu otpada [6]

2.1.3. RECIKLAŽNA DVORIŠTA

Sortiranje otpada iz domaćinstva u velikoj mjeri odvija se u samim domaćinstvima ili u neposrednoj blizini domova. Ipak postoje one kategorije otpada koje se ne mogu odložiti u spremnike koji su dani slici 2. Rješenje za takav otpad je reciklažno dvorište. Reciklažno dvorište sastoji se od velikog broja različitih spremnika ovisno o kategorijama otpada. U reciklažnom dvorištu otpad boravi samo privremeno dok se ne uputi na obradu.

Sav otpad koji se ne može sortirati u domaćinstvima završio bi najvjerojatnije u miješanom komunalnom otpadu i kasnije u odlagalištima. Na ovaj način otpad se može lako reciklirati.

Postoje fiksna i mobilna reciklažna dvorišta. Mobilna reciklažna dvorišta su pokretne jedinice opremljene spremnicima za različite kategorije otpada u kojima se mogu odložiti manje količine otpada. Sadržaj se povremeno prevozi do fiksnog reciklažnog dvorišta. Primjer mobilnog reciklažnog dvorišta iz Karlovca nalazi se na slici 4.



Slika 4. Mobilno reciklažno dvorište u Karlovcu

2.2. GOSPODARENJE OTPADOM

Gospodarenje otpadom je zajednički naziv za sve aktivnosti u procesu prikupljanja, selektiranja, zbrinjavanja, uporabe i prijevoza otpada. Osim toga uključuje i djelatnosti vezane

uz trgovinu otpadom, održavanje lokacija zbrinjavanja, istraživanja o utjecaju na okoliš, i drugo.

Neki od ciljeva gospodarenja otpadom jesu:

- smanjenje količina otpada
- sprječavanje nastanka otpada
- smanjenje štetnog djelovanja otpada na okoliš
- zakonska kontrola svih poslova s otpadom
- briga za odlagališta.

Ciljevi se postižu zajedničkim djelovanjem svih grana ljudskih djelatnosti. Važnu ulogu pri tome ima tehnički razvoj proizvoda s tzv. čistim tehnologijama, promocija važnosti brige o otpadu, jačanje metoda zbrinjavanja, podrška jedinica lokalne samouprave, recikliranje i energetska iskorištenje otpada.

Za gospodarenje otpadom koriste se značajna financijska sredstva. Republika Hrvatska uložiti će u razdoblju od 2015. do 2021. godine ukupno 211,5 milijardi HRK [7], a cijela Europska Unija u svojim strategijama kroz dugi niz godina nastoji prijeći na kružno gospodarstvo koje ima za cilj otpad koristiti kao vrijedan resurs (Slika 5.).



Slika 5. Kružno gospodarstvo [7]

2.2.1. RED PRVENSTVA GOSPODARENJA OTPADOM

Red prvenstva gospodarenja otpadom [1] definira polazišnu točku za planove gospodarenja otpadom (Slika 6.).

Uspostavom reda prvenstva postižu se prednosti:

- 1) sprječavanje nastanka otpada – produljenjem životnog vijeka proizvoda i mjerama kojima otpad dobiva novu svrhu
- 2) priprema za ponovnu uporabu – čišćenje i popravak predmeta
- 3) recikliranje – potrebno je ranije osigurati odvojeno sakupljanje otpada prema vrsti i svojstvima
- 4) drugi postupci oporabe – naprimjer energetska oporaba i kompostiranje
- 5) zbrinjavanje otpada – posljednja mjera sprječavanja onečišćenja okoliša.



Slika 6. Red prvenstva gospodarenja otpadom

2.2.2. NAČELA GOSPODARENJA OTPADOM

Na temelju pravne stečevine i pravila struke, a s ciljem zaštite okoliša dana su načela po kojima se treba voditi briga o pravilnom gospodarenju otpadom [1]:

- načelo onečišćivač plaća – proizvođač snosi troškove gospodarenja otpadom kojeg je proizveo kao i troškove koji mogu nastati štetnim utjecajem toga otpada
- načelo blizine – proces gospodarenja otpadom treba obavljati na lokaciji koja je najbliža mjestu nastanka otpada i koja je za to prikladna
- načelo samodostatnosti – gospodarenje otpadom će se obavljati na samodostatan način omogućavajući neovisno ostvarivanje prikladnih ciljeva na razini države
- načelo sljedivosti – potrebno je utvrditi porijeklo otpada s obzirom na proizvod, ambalažu i proizvođača kao i posjed tog otpada uključujući i uporabu.

2.2.3. CENTRI ZA GOSPODARENJE OTPADOM

Nakon što je Republika Hrvatska pristupila Europskoj uniji trebala je ispuniti određene zahtjeve kao što je gospodarenje otpadom po najmodernijim standardima. Jedan od zahtjeva bili su centri za gospodarenje otpadom. Danas ih u Hrvatskoj ima nekoliko i raspoređeni su po cijeloj državi kako bi bili pristupačni svim jedinicama lokalne samouprave. Imaju vijek trajanja od 20 do 30 godina nakon kojih se zatvaraju ili im se dodatno proširuju kapaciteti. Za udaljenija mjesta postoje pretovarne stanice kako bi se smanjili troškovi i ubrzao proces zbrinjavanja otpada.

U centru za gospodarenje otpadom obavlja se [8]:

- prihvata i obrada otpada (sortiranog i nesortiranog)
- trajno odlaganje neiskorištenog dijela otpada
- proizvodnja krutog goriva
- proizvodnja bioplina
- praćenje utjecaja otpada na okoliš.

Na primjeru Regionalnog centra za gospodarenje otpadom „Piškornica“ (Slika 7.) čija će izgradnja uskoro početi, razmotrit će se elementi, funkcije i postrojenja svojstveni centrima za gospodarenje otpadom (CGO).



Slika 7. Regionalni centar za gospodarenje otpadom „Piškornica“ [9]

CGO se uobičajeno sastoji od [10]:

- Postrojenja za mehaničko-biološku obradu otpada – omogućuje smanjenje količine biorazgradivog otpada i iskorištavanje korisnih sirovina. Također nastaju kompost, bioplin ili kruto gorivo.
- Odlagališta – sav otpad koji se ne može iskoristiti se odlaže na zato uređeno mjesto. Otpad je biostabiliziran što znači da nema negativnih utjecaja na okoliš.
- Reciklažnog dvorišta – u nekim centrima postoji i mogućnost recikliranja.
- Površina za obradu građevinskog otpada.
- Sustava za obradu otpadnih voda.
- Sustava za obradu odlagališnog plina.
- Pomoćnih objekata – trafostanica, prostora za radnike, skladišta.

3. GRAĐEVINSKI OTPAD

U ovome radu posebno će se razmotriti građevinski otpad. Građevinska industrija proizvodi velike količine otpada. Otpad se proizvodi tj. nastaje prilikom: proizvodnje građevinskog materijala, izgradnjom prometnica, novogradnjom, rušenjem i obnavljanjem građevina.

Postupak recikliranja je složeniji nego kod komunalnog otpada. Postoje određeni koraci koje je potrebno napraviti [2]:

- 1) rešetkom **odvojiti sitan otpad**
- 2) **drobiti ostatak** u drobilici
- 3) pomoću magneta **odvojiti čelične materijale**
- 4) na vibracijskom situ **odvajaju se frakcije** (različite veličine otpadnih materijala)
- 5) u sekundarnoj drobilici **stvaranje još manjih frakcija** ako je potrebno.

Reciklirani materijali mogu se upotrijebiti za betone manjih čvrstoća, nasipanje, drenažu, nosive slojeve cesta, kao dodatak za asfaltne mješavine i druge svrhe. Ako se građevinski materijal skuplja na odlagališta, a ne reciklira, prostor odlagališta će se brzo devastirati zbog velikih količina i spore razgradnje. Također u proizvodnji novih građevinskih materijala koristit će se neobnovljivi izvori. Naprimjer za proizvodnju betona potrebno je iskopati vapnenac, a za proizvodnju metalnih dijelova i druge rude kao što su rude željeza.

Dobar primjer iskorištenja građevinskog otpada je cigla „K-briq“ tvrtke Kenoteq [11]: ispunjavajući potrebne standarde gradnje, za njenu se proizvodnju koristi 90 % građevinskog otpada koji nije potrebno zagrijavati na visoke temperature. Na taj način nema ni dodatnog onečišćenja okoliša.

Građevinski otpad se može obrađivati na mjestu proizvodnje ako postoje za to prikladni uređaji, ili odvoziti na zato predviđena odlagališta odnosno reciklažna dvorišta ili centre za gospodarenje otpadom.

Naprimjer, u Gradu Zagrebu fizičke osobe mogu jednom u šest mjeseci (u količini ne većoj od 200 kg) besplatno odložiti građevinski otpad u reciklažna dvorišta. U slučaju potrebe za većim količinama mogu zatražiti sanduk u najam. Pravne osobe nemaju pravo na besplatan odvoz već samo pravo na najam spremnika po cijeni od 777,84 kn (odvoz) + 6,83 kn/dan (najam). [12]

3.1. SASTAV I SVOJSTVA GRAĐEVINSKOG OTPADA

Prema Pravilniku o katalogu otpada [13] kategoriziran je građevinski otpad – Tablica 1.

Tablica 1. Kategorizacija građevinskog otpada

| Kategorija | Vrsta građevinskog otpada |
|------------|--|
| 17 01 | Beton, cigle, crijep/pločice i keramika |
| 17 02 | Drvo, staklo i plastika |
| 17 03 | Mješavine bitumena, ugljeni katran i proizvodi koji sadrže katran |
| 17 04 | Metali (uključujući i njihove legure) |
| 17 05 | Zemlja, kamenje i otpad od jaružanja |
| 17 06 | Izolacijski materijali i građevinski materijali koji sadrže azbest |
| 17 08 | Građevinski materijal na bazi gipsa |
| 17 09 | Ostali građevinski otpad i otpad od rušenja objekata |

Osim materijala koji se nalaze u tablici 1. mogu se pojaviti i drugi materijali štetni za okoliš poput: ljepila, boja, premaza, elektroničke opreme.

Veliki dio građevinskog otpada je inertan otpad. Takav otpad nije podložan značajnim fizikalnim, biološkim ili kemijskim promjenama koje su izazvane okolišem u kojemu se nalazi. Zbog toga ne zagađuje okoliš.

Beton [14] je građevni materijal nastao stvrdnjavanjem smjese nekog vezivnog materijala s agregatom uz prisutnost vode. Do očvršćenja dolazi kroz dulji period pri čemu se oslobađanja velika količina topline (hidratacija). Vezivni materijal je najčešće cement, dok agregat može biti pijesak, šljunak i troska. Beton ima veliku čvrstoću koja se dodatno popravljiva čeličnom armaturom. Ekonomski je isplativo kao agregat koristiti i reciklirani

beton. Takav beton potrebno je usitniti i odvojiti od metalnih dijelova. Reciklirani beton može se koristiti kao drenažni sloj ili nasip ispod asfalta.

Opeka [15] je građevni materijal nastao sušenjem smjese glinenog materijala, pijeska i vode. Sušenje se odvija na zraku nakon čega slijedi pečenje na temperaturi oko 1000°C. Opeka se često koristi pri gradnji zbog povoljne čvrstoće, otpora prolasku topline i lakoće upotrebe. Najčešće kao otpad nastaje zbog rušenja starijih stambenih i gospodarskih objekata (štale, šupe i slično). Ako se opeka reciklira, potrebno je njezino zagrijavanje i usitnjavanje, a ako se ponovno upotrebljava, zagrijavanje i čišćenje od betona. Odluka o tome hoće li se reciklirati ili ponovno koristiti, ovisi o svojstvima same opeke tj. mrvi li se (osnovni pokazatelj).

Drvo je obnovljiv i lako dostupan materijal koji se može koristiti za gradnju. Posebnost drveta je u tome što stvara ugodnu atmosferu i ima dobru zvučnu izolaciju. Nedostatak je slaba toplinska izolacija i slaba otpornost na djelovanje vlage. Može se koristiti ne samo u estetske svrhe već i kao nosiva konstrukcija zbog svoje velike čvrstoće u odnosu na masu. Drvo se koristi najvećim dijelom za proizvodnju namještaja, stepeništa i podova. Reciklirano drvo pretvara se u biomasu, kompost, materijal za nasipanje, ivericu ali u većoj mjeri i kao ogrjevni materijal.

Staklo je anorganska, amorfn, uglavnom prozirna tvar koja se dobiva taljenjem sirovina i brzim hlađenjem taline do velike viskoznosti, tj. do očvršćivanja u uvjetima u kojima ne nastaje kristalizacija, nego se zadržava zatečena struktura tekućine; zato je staklo termički nestabilno [14]. U posljednje vrijeme staklo postaje sve važniji građevinski materijal koji se ne koristi samo za prozore, namještaj ili izolaciju nego i kao dio konstrukcije. Otpadno staklo (stakleni lom) koristi se kao važna sirovina za proizvodnju novog stakla zamjenjujući tako sirovine koje treba vaditi iz zemlje.

Plastika (polimer) je materijal koji se također koristi u građevinarstvu ali ne kao konstrukcijski materijal. Plastika nastaje kemijskom reakcijom polimerizacije. Sirovina za proizvodnju velikim dijelom su fosilna goriva koja su neobnovljiv izvor, a osim toga i štetan za okoliš. Svoju primjenu nalazi u važnim dijelovima građevine kao što su instalacije i izolacija. Posebna pažnja posvećena je PVC-u zbog njegove otpornosti na atmosferilije. Prema novim uredbama Europske Unije posebna pažnja posvećena je recikliranju plastike više nego i jednom drugom materijalu.

Metali se u građevinarstvu koriste kao konstrukcijski materijali zbog izrazito velike čvrstoće. Osim za konstrukciju nalaze se i u betonu kao armatura. Metal se nalazi prilikom rušenja u namještaju i kućanskim uređajima koji su ostali u objektima. Važnost recikliranja metala je velika ušteda neobnovljivih izvora kao što su rude iz kojih potječu. Također prednost recikliranja metala je i u uštedi energije, transportu i proizvodnji, a postiže se i učinkovitija zaštita okoliša. Materijali koji se najviše koriste su čelik i aluminij koji se još zove i „zeleni materijal“.

3.2. OPASNE TVARI

Opasan otpad koji se može pojaviti na gradilištu jest [16]:

- azbestni otpad
- otpad koji sadrži PCB tj. tiskane elektroničke pločice
- otpadni električni i elektronički uređaji i oprema koja nosi opasan otpad (naprimjer: fluorescentne žarulje i štedne žarulje)
- elementi koji sadrže katran (naprimjer katranska izolacija)
- ostali opasan otpad.

Azbest je zajedničko ime za vlaknaste vrste nekih silikatnih minerala koji se zbog posebnih svojstava (savitljivost, nesagorivost, otpornost prema višim temperaturama, slaba vodljivost topline, zvuka i elektriciteta) mnogo upotrebljava u tehnici. [14] Primjena azbesta je najvećim dijelom u građevinarstvu (naprimjer za ploče za zidove, crijepove i cijevi). Pri proizvodnji, obradi ili mehaničkim trošenjem azbestnih predmeta nastaje prašina koja izaziva azbestozu tj. bolest koja povećava rizik za zloćudni tumor pluća. Zbog toga je u Republici Hrvatskoj zabranjena proizvodnja, promet i upotreba azbesta. Stoga azbest koji je preostao treba ukloniti. Postoje kvalificirane službe za obavljanje ovog posla po posebnim pravilnicima. Prilikom prikupljanja otpada koji sadrži azbest potrebno je:

- spriječiti ispuštanje azbestnih vlakana u zrak
- spriječiti miješanje azbestnog otpada s drugim vrstama otpada
- sigurno odvoziti otpad u zatvorenim spremnicima
- sigurno odložiti azbest na odlagalištu [16].

Katran je crn do smeđ proizvod suhe destilacije prirodnih goriva (naprimjer drva i kamenog ugljena) i nekih drugih organskih tvari; po kemijskom sastavu to je smjesa ugljikovodika i njihovih derivata. Koristi se kao vezivo, naprimjer za proizvodnju hidroizolacijskih materijala. U posljednje se vrijeme klasični katran koji se dobiva suhom destilacijom kamenog ugljena više ne koristi. Zamjenjuje ga bitumen koji se lakše reciklira i ne predstavlja opasnost za okoliš. [17]

3.3. GOSPODARENJE GRAĐEVINSKIM OTPADOM

Europska komisija izdala je protokol [18] po kojemu je potrebno gospodariti građevinskim otpadom. Cilj protokola je vratiti povjerenje u kvalitetu recikliranog materijala i povećati kvalitetu života. Protokol je usklađen s ostalim propisima, a u njegovoj izradi sudjelovali su stručnjaci iz svih djelatnosti koje su povezane s gospodarenjem otpadom.

Po protokolu, proces gospodarenja otpadom otpočinje već na gradilištu. Na početku je potrebno identificirati materijale koji se nalaze u građevini. Identifikacija donosi i podatke kao što su: količina materijala, kvaliteta zgrade, lokacija zgrade, materijali koje treba odvojiti na mjestu nastanka i mogućnost recikliranja. Poznavanje navedenih podataka nužno je za određivanje tehnike rušenja. Već prilikom rušenja korisno je selektirati materijale po vrstama za kasnije jednostavnije i kvalitetnije recikliranje.

Proces odvajanja je sve složeniji zbog pojave novih kompozitnih materijala i zbog sve složenijih građevina. Materijali se razlikuju s obzirom na mogućnost njihove obrade:

- čišćenje radi ponovne uporabe (naprimjer tlo)
- ponovna uporaba (naprimjer konstrukcijski čelik i lim)
- recikliranje za istu primjenu (naprimjer metal, papir, staklo, karton i asfalt)
- recikliranje za neku drugu primjenu (naprimjer agregati za proizvodnju cementa, drvo za proizvodnju iverice)
- spaljivanje (drvo, plastika, papirnata ambalaža)
- zbrinjavanje (naprimjer opasan otpad).

Transport otpada treba biti što kraći zbog velikih količina otpada koje nastaju u građevinskoj industriji. Ako nije moguće osigurati kontinuirani kratak transport, poželjno je

koristiti pretovarne stanice. Transportirani otpad potrebno je pravilno skladištiti prije recikliranja. Pravilno skladištenje znači osiguranje širenja različitih emisija u okoliš, a način skladištenja povezan je s vrstama otpada, klimatskim uvjetima, trajanju skladištenja i slično.

Prerada i obrada otpada su koraci koji se poduzimaju nakon skladištenja otpada. Ponovna uporaba bolje je rješenje od recikliranja jer je manji utrošak potrebne energije. Važno je samo ispitati postoji li takva mogućnost za određeni materijal. Recikliranje osim financijskih ima i mnoge druge koristi kao što je otvaranje radnih mjesta, smanjena uporaba primarnih materijala i smanjeno odlaganje otpada što je izravno povezano i sa zaštitom okoliša. Postoji mogućnost recikliranja na samom gradilištu ili u reciklažnom postrojenju na drugoj lokaciji.

U slučaju da neki materijal nije pogodan za recikliranje može se često iskoristiti za nasipavanje ali to treba biti posljednji korak. Postoji također i mogućnost pretvaranja nekih materijala u zamjenska goriva. [16]

3.4. POSTUPAK RECIKLIRANJA

Prije početka recikliranja potrebno je ishoditi sve dozvole vezane uz izgradnju i rad reciklažnog postrojenja. Preporuka je imati postrojenja na lokacijama s gusto naseljenim područjima što često dovodi u sukob tijela javne vlasti, građane i poduzetnike. Zato treba mijenjati svijest ali i pronaći rješenja koja će zadovoljiti sve strane.

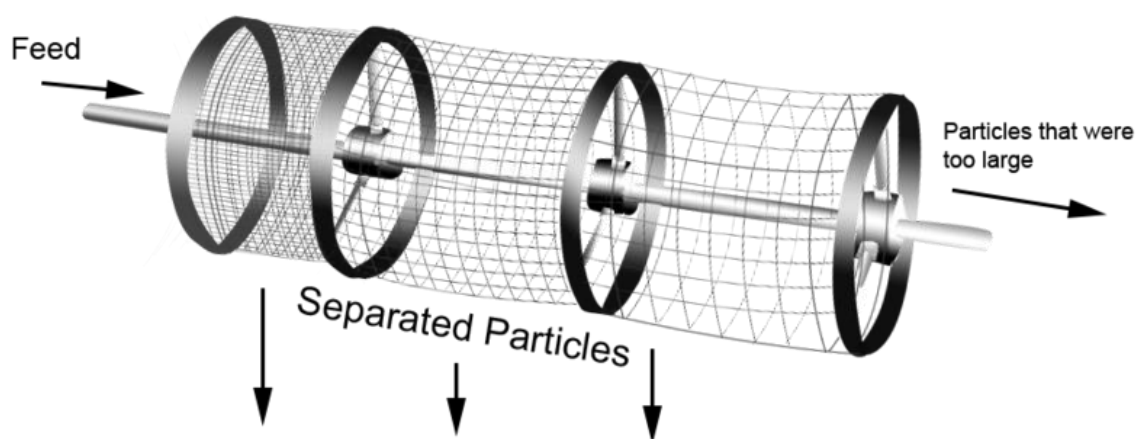
Ovisno o pojedinim slučajevima prvo je potrebno odlučiti između korištenja stacionarnog ili mobilnog reciklažnog postrojenja. Prednosti mobilnog reciklažnog postrojenja su smanjeni troškovi prijevoza i pristup recikliranim materijalima izravno na lokaciji. Nedostaci su naprimjer ograničenost ulaznih materijala (moguće je samo drobljenje i magnetsko odvajanje), buka, vibracije, rizik od nesreće i drugo.

Postupak recikliranja prikazan je na slici 8. Shema se odnosi na osnovni proces recikliranja građevinskog otpada.

3.4.1. ODVAJANJE SITNOG OTPADA

Prvi korak potreban za recikliranje [2 i 19], nakon što su se odvojile opasne tvari i nakon što se napravilo temeljno sortiranje na gradilištu, jest odvajanje sitnog otpada. Sitnim frakcijama nije potrebna daljnja obrada već su odmah spremne za ponovnu upotrebu. Sitne čestice koje se odvajaju su naprimjer zemlja i prašina. Za njihovo odvajanje koriste se rotirajuća sita ili linearna vibrirajuća sita.

Rotirajuće sito ili bubanj (Slika 9.) sadrži mnogo rupa koje određuju veličinu čestica koje će se propustiti prilikom rotacije. Na jednom kraju bubnja ulazi materijal koji se dovodi s gradilišta, a na drugom izlaze komadi koji nisu prošli kroz rupe na bubnju. Čestice koje prolaze kroz rupe mogu se odvoditi transportnim trakama ili odmah sortirati u spremnike (postoji mogućnost različitih promjera rupa po obodu bubnja). Bubanj se nalazi pod određenim kutom prema horizontali kako bi gravitacija usmjeravala komade otpada kroz bubanj. [20]



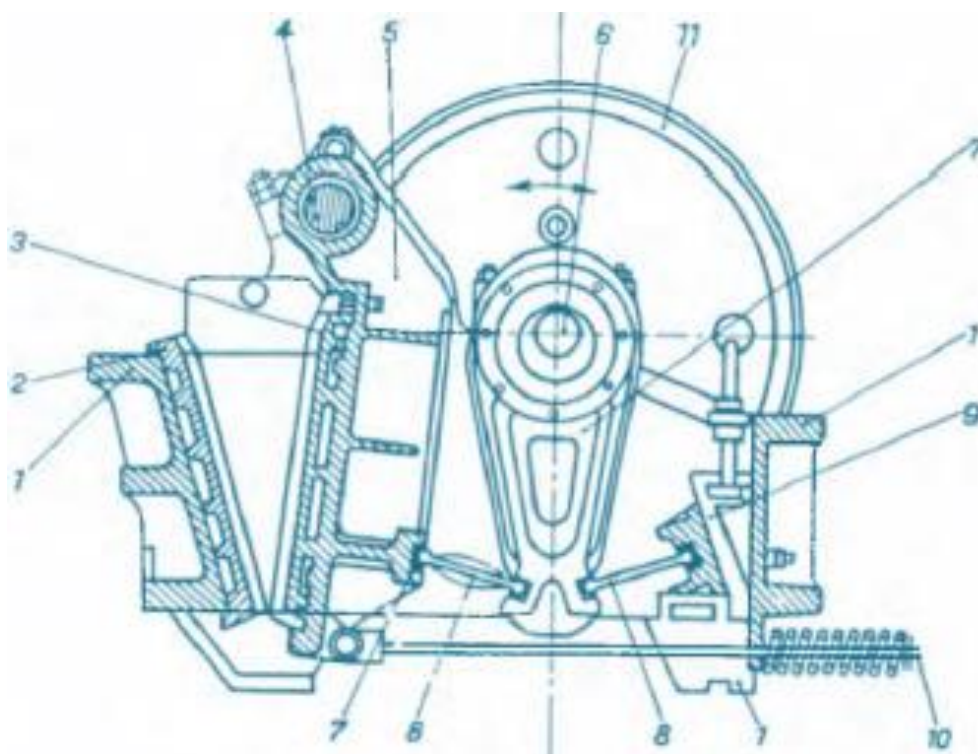
Slika 9. Rotirajuće sito [20]

Linearna vibrirajuća sita ne koriste rotaciju za miješanje tj. podizanje otpada, nego koriste vibracije koje bacaju komade otpada što omogućava prolazak manjih čestica kroz rupe.

3.4.2. DROBLJENJE OTPADA

Komadi koji su većih dimenzija tj. komadi koji se nisu odvojili na sitima, odlaze na drobilice. Tamo ih je potrebno usitniti kako bi ih se kasnije moglo iskoristiti. Najpoznatije drobilice koje se koriste su čeljusne, a postoje još i kružne, udarne, drobilice s valjcima i druge. Ovisno o modelu drobilice, važno je paziti da komadi otpada ne budu preveliki. Primjerena veličina postiže se već prilikom rušenja ili naknadno hidrauličkim čekićem. [21]

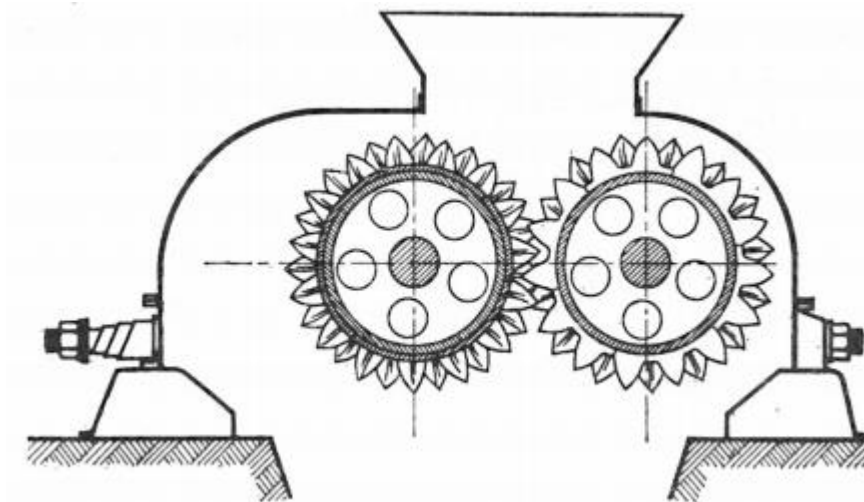
Primjer čeljusne drobilice jest tip Blake (Slika 10.). Osnovni su joj dijelovi: nepokretna čeljust (2), pokretna čeljust (3), njihalo (5) i pogonsko vratilo (6) s ekscentrično učvršćenom glavnom polugom (7). Kad se glavna poluga podiže, razmak između čeljusti postaje manji i materijal (koji se nalazi između pokretne i nepokretne čeljusti) se počinje gnječiti. Kad se glavna poluga pak spusti, tada razmak između čeljusti postaje veći i materijal zbog svoje težine klizi dublje. Ako je materijal dovoljno izdrobljen, ispada kroz ispust i odlazi dalje transportnom trakom.



Slika 10. Čeljusna drobilica Blake [21]

Često se u postrojenjima za recikliranje može naći i drobilica s valjcima koja je prikazana na slici 11. Valjci su često nazubljeni kako bi što bolje usitnili materijal. Valjci su

pričvršćeni na dva paralelna vratila koja se rotiraju u suprotnim smjerovima. Tok materijala je takav da zbog gravitacije materijal pada i drobi se kako bi prošao između valjaka, a zubi pomažu u zahvatu. Brzine ponekad mogu biti i različite što uzrokuje sile trenja i smično opterećenje. Zbog toga se materijal može kvalitetnije drobiti. Ove drobilice su sigurne, jednostavne i neosjetljive. [22]

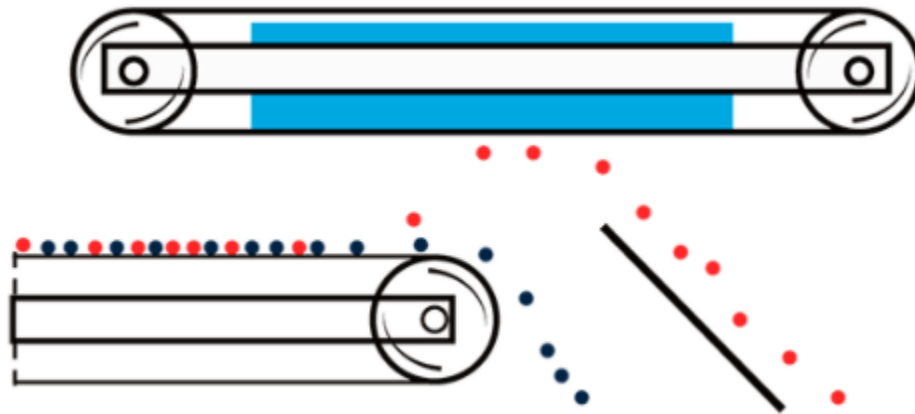


Slika 11. Drobilica s valjcima [22]

3.4.3. ODSTRANJIVANJE METALA

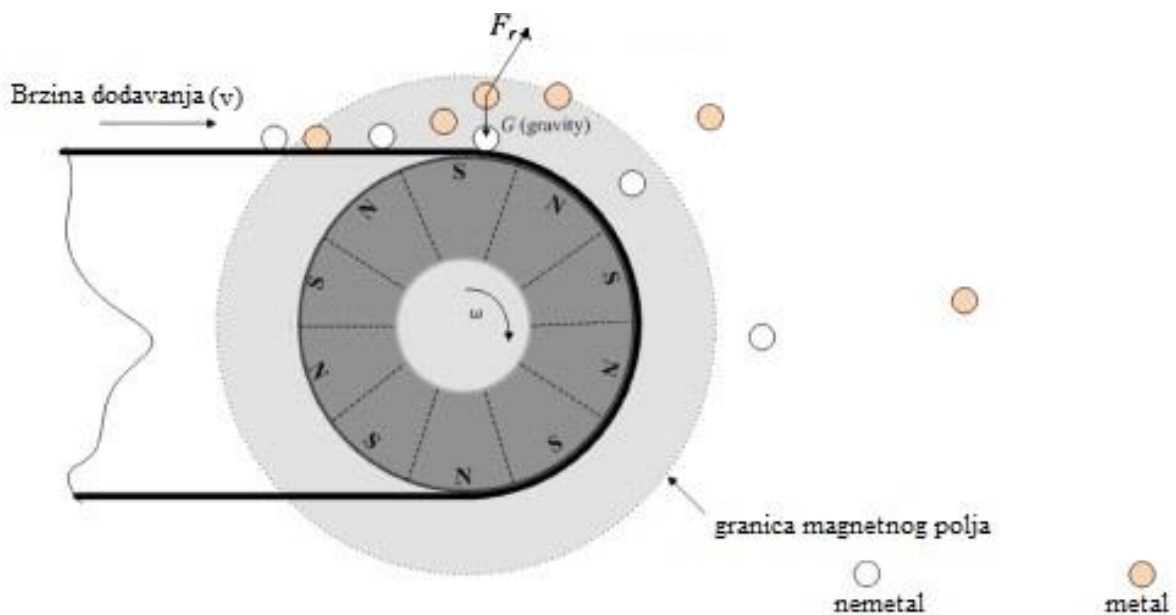
Odstranjivanje metala i odjeljivanje od ostalih komada otpada ovisi o tome jesu li metali magnetični ili nemagnetični.

Magnetični metali (naprimjer: čelik, nikal, kobalt, mangan) odstranjuju se pomoću magnetnog separatora koji je prikazan na slici 12. Princip rada temelji se na jakom magnetu koji se nalazi najčešće iznad pokretne trake na kojoj prolazi otpad. Oni dijelovi u otpadu koji imaju veliku permeabilnost (željezo) ostanu privučeni na novu pokretnu traku koja ih nosi samo do onog trenutka kada prestane djelovanje magneta. U tom trenutku padaju na drugu pokretnu traku ili u spremnike. Ovisno o izvedbi, trajno magnetno polje može se osigurati trajnim magnetom ili elektromagnetom.



Slika 12. Magnetni separator: crvenim naznačen tok magnetičnog otpada, a crnim nemagnetičnog [23]

Za odstranjivanje nemagnetičnih metala najčešće se koristi separator *eddy current* koji je prikazan na slici 13. U svim nemagnetičnim metalima može se inducirati električno polje. Električna struja stvara magnetsko polje. Rotor rotira velikom brzinom te tako u metalnom predmetu inducira električno polje. Inducirano električno polje u metalnom predmetu je suprotnog pola od onog u rotoru. Kad metal prolazi kroz takvo polje on mijenja parametre polja. Tako ovaj separator odbaci metalni predmet dalje od rotora u spremnike. [19]

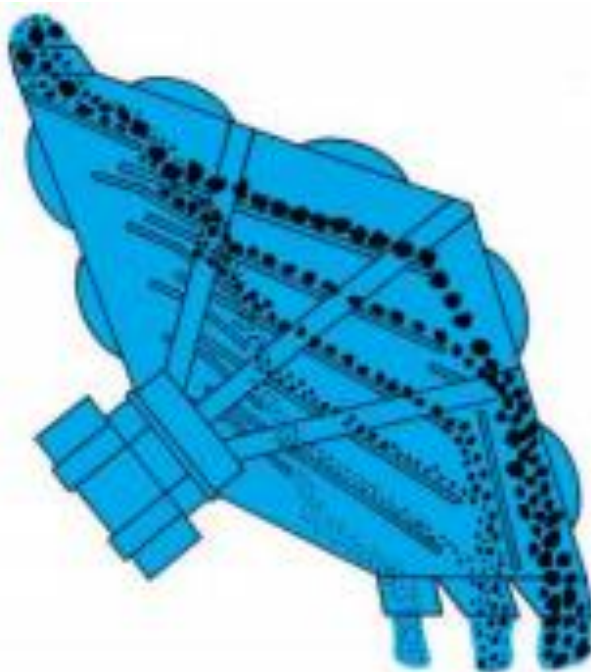


Slika 13. Separator *eddy current* [24]

3.4.4. ODJELJIVANJE FRAKCIJA

Nakon što su odvojeni metalni dijelovi, na pokretnoj traci ostaju različite frakcije otpada koji se može koristiti za različite svrhe, s obzirom na veličine zrna. Stoga se u ovom koraku daje mogućnost dodatne podjele veličina zrna, koja će se odvijati na vibracijskom situ. Ravno vibrirajuće sito prikazano je na slici 14.

Princip rada temelji se na vibracijama koje stvaraju različiti ekscentrično postavljene diskovi koji se nalaze na vratilima. Kretanje otpada po situ usmjereno je prema dolje, a potaknuto je gravitacijom i silama koje su prouzrokovane radom stroja. Ravna sita se, osim što vibriraju, i ljuļaju, kako bi se spriječila eventualna začepljenja. Postoji nekoliko razina podjele za različite veličine frakcija. Dijelovi koji imaju manji promjer padaju na niže razine i na taj način se odjeljuju frakcije ovisno o potrebama.



Slika 14. Ravno vibrirajuće sito [25]

Ako postoji potreba za dodatnim usitnjavanjem frakcija mogu se pojaviti specijalne drobilice koje će usitniti frakcije na manje komade.

3.4.5. DEPONIRANJE I PONOVNA UPORABA FRAKCIJA

Deponiranje [15] treba biti posljednji korak za sigurno zbrinjavanje otpada. Deponira se opasan otpad koji je ranije u procesu odvojen, a ostatak se šalje na ponovnu uporabu.

Prilikom odlaganja opasnog otpada potrebno je:

- spriječiti ispuštanje otrovnih čestica u zrak
- spriječiti izlivanje otrovnih tekućina
- spriječiti miješanje opasnog otpada s drugim otpadom
- onemogućiti istjecanje otpadnih voda.

Što se tiče ponovne uporabe frakcija jest kako slijedi.

Najčešće se usitnjeni otpad sastoji od betona koji je najvećim dijelom prisutan u građevinskom otpadu. Reciklirani otpad može se koristiti za: proizvodnju novog betona, navoz puteva, nasipavanje prije betoniranja, nasipavanje močvarnog tla, sprječavanje erozije i slično.

Reciklirana opeka, koja je također u velikoj mjeri prisutna u građevinskom otpadu, može se koristiti u određenom postotku i za proizvodnju nove opeke, ali i za proizvodnju nenosivih i ukrasnih elemenata. Za takvo korištenje potrebno je odvojiti opeku od betona što, ako ranije na gradilištu nije napravljeno, predstavlja problem za sustav recikliranja.

Drvo se najvećim dijelom treba odvojiti na gradilištu. Reciklirano drvo koristit će se kao nosiva konstrukcija tamo gdje nije bitan estetski izgled. Može se i preraditi tako da bude pogodno za namještaj. Onaj dio otpadnog drva koji se usitnjava, koristi se za proizvodnju iverice, briketa, peleta ili papira. Reciklirano usitnjeno drvo treba se skladištiti na mjestima koja nisu podložna vlazi.

Metali koji se recikliraju imaju slična ili ista svojstva kao i primarna sirovina. Postoji mogućnost sortiranja metala po različitim vrstama za što se koriste senzori. Oni metale mogu razlikovati po vodljivosti, atomskoj gustoći i slično [26]. Prilikom skladištenja recikliranog metala nužno je spriječiti koroziju.

4. STANJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Za stvaranje strategije ili donošenje boljih rješenja nužno je poznavati trenutnu situaciju s terena. Briga o otpadu dužnost je svakog građanina ali na prvom mjestu briga o otpadu pripada lokalnim vlastima. Vlasti donose niz zakona i odredbi koji su usklađeni s dobrim praksama i zakonima Europske Unije i drugih država.

Prema zakonu, proizvođač građevinskog otpada dužan je kupcu i/ili korisniku proizvoda osigurati bez naknade [16]:

- mogućnost povrata uporabljenog proizvoda, što uključuje i višak materijala
- mogućnost preuzimanja otpada koji nastaje od takvog proizvoda
- raspolagati prostorom i odgovarajućim spremnicima za privremeno skladištenje otpada.

Investitor je dužan osigurati da je izvođač radova, prije početka radova rekonstrukcije, održavanja ili uklanjanja građevine, obaviješten o materijalima i tvarima koje se nalaze u odgovarajućoj građevini i koje su opasan otpad odnosno za koje je izvjesno da će tim radovima postati opasan otpad. U fazi projektiranja potrebno je osigurati nastanak manje količine otpada, uporabu otpada na mjestu nastanka i mogućnost ponovne uporabe i uporabe preostalog otpada.

Jedinica lokalne samouprave dužna je na svom području u prostornim planovima odrediti dostatan broj lokacija odnosno najmanje jednu odgovarajuću zonu u kojoj se može izgraditi reciklažno dvorište za građevinski otpad te obavljati djelatnost skupljanja, uporabe i zbrinjavanja građevinskog otpada sukladno Zakonu.

Prema dostupnim podacima [27], izrađena je tablica 2., koja prikazuje količine kategoriziranog građevinskog otpada u Republici Hrvatskoj za 2015. godinu. Kategorizacija je istovjetna onoj u tablici 1.

Tablica 2. Količine kategoriziranog građevinskog otpada u republici Hrvatskoj

| Kategorija (Ključni broj) | Vrsta građevinskog otpada | KOLIČINA, tona |
|------------------------------|--|-------------------|
| 17 01 | Beton, cigle, crijep/pločice i keramika | 20 6913,05 |
| 17 02 | Drvo, staklo i plastika | 9 093,38 |
| 17 03 | Mješavine bitumena, ugljeni katran i proizvodi koji sadrže katran | 41 554,31 |
| 17 04 | Metali (uključujući i njihove legure) | 94 258,23 |
| 17 05 | Zemlja, kamenje i otpad od jaružanja | 585 342,56 |
| 17 06 | Izolacijski materijali i građevinski materijali koji sadrže azbest | 2 256,28 |
| 17 08 | Građevinski materijal na bazi gipsa | 1 269,34 |
| 17 09 | Ostali građevinski otpad i otpad od rušenja objekata | 25 042,10 |

Ukupna količina građevinskog otpada prema tablici 2. iznosi 1 189 316,25 tona.

Udio pojedinih materijala u ukupnom otpadu prikazan je na slici 15. Iz slike se vidi da je uvjerljivo najviše kamena i zemlje što je posljedica različitih iskopa pri gradnji tunela, cesta, temelja zgrada i sličnog. Većinom takav otpad i ne ide na recikliranje već se odmah koristi za druge svrhe poput nasipavanja.

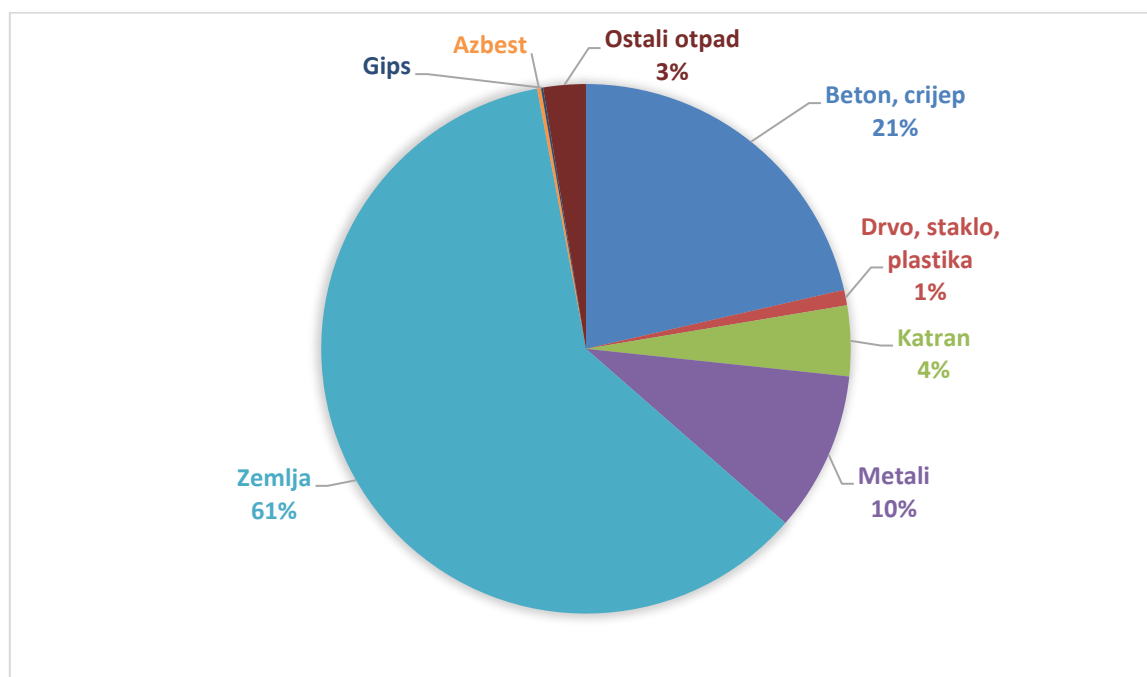
Preuzeta količina otpada – prijavljena i zbrinuta, iznosila je 882 254 tone što čini 74 %. Za ostalu količinu smatra se da je nelegalno odložena ili privremeno stavljena u skladišta.

Ovdje se uočava prostor za poboljšanje. Naime, **velike su količine građevinskog otpada neiskorištene ili odložene u okoliš.** Stoga je potrebno uložiti više napora u promicanju svijesti o ponovnoj iskoristivosti građevinskog otpada temeljenoj, uz ostalo, i na isplativosti recikliranja. Građevinske tvrtke dužne su platiti odlaganje otpada ali i reciklirani materijal ukoliko ga žele kasnije kupiti. Ovdje se može potaknuti tvrtke na recikliranje tako što će im se osigurati neka pogodnost poput niže cijene recikliranog materijala, koji je produkt otpada koji je ta ista tvrtka dostavila postrojenju za recikliranje.

Prema podacima iz [26 i 27] posebno treba istaknuti potrebu za **novim reciklažnim postrojenjima**, kako slijedi.

Iz [26] se može zaključiti da su u Splitsko-dalmatinskoj i Dubrovačko-neretvanskoj županiji potrebni **novi kapaciteti**. Upravo stoga u sklopu CGO „Lećevecica“ i CGO „Lučino Razdolje“ predviđena je obrada građevinskog otpada.

Nadalje, prema dostupnim podacima iz [27] zaključuje se kako je potrebno **povećati kapacitete** u još nekoliko županija: Brodsko-posavska, Istarska, Koprivničko-križevačka, Ličko-senjska, Međimurska i Osječko-baranjska. Povećanje kapaciteta moguće je nadogradnjom već postojećih postrojenja ali i uključivanjem privatnih tvrtki koje bi obavljale poslove recikliranja. Još jedno rješenje može biti udruživanje županija slično onome što je planirano s centrom za gospodarenje otpadom „Piškornica“.



Slika 15. Udio pojedine vrste otpada u ukupnom otpadu

Prema projekcijama se očekuje da će **2030. godine ukupan iznos građevinskog otpada** biti oko **1 500 000 tona**.

Iz [7 i 27] vidljivo je kako zapravo za građevinski otpad ne postoje do kraja pouzdani podaci o količinama građevinskog otpada i o kapacitetima za njegovu oporabu. U ovim istraživanjima predlaže se provedba nove detaljne analize koja će dati jasne podatke koji su neophodni za daljnje planiranje učinkovite brige o građevinskom otpadu.

5. MOGUĆNOSTI UNAPRJEĐENJA SUSTAVA GOSPODARENJA GRAĐEVINSKIM OTPADOM

U ovome poglavlju razmotrit će se neke mogućnosti unaprjeđenja sustava gospodarenje građevinskim otpadom u Republici Hrvatskoj, i to u vezi:

- postrojenja za recikliranje
- specifičnih procesa i strojeva za recikliranje.

Gospodarenje građevinskim otpadom posebno je aktualizirano razornim potresima koji su zadesili Republiku Hrvatsku 2020. i 2021. godine.

5.1. POTRESI U REPUBLICI HRVATSKOJ

U 2020. godini razorni potresi pogodili su zagrebačko područje i područje Sisačko-moslavačke županije. Nanesene su velike materijalne štete, posebno na području gradova Zagreba, Petrinje i Siska. U prvom potresu iz 22. ožujka 2020. godine oštećeno je oko 25 000 objekata na kojima je potrebno izvoditi različite radove kako bi se doveli u normalno stanje, a oko 2000 objekata je neupotrebljivo. [28] Podaci o oštećenjima za potres iz 29. prosinca 2020. godine još nisu sasvim poznati, a očekuje se mnogo veća šteta i da je potrebno rušiti velik broj objekata koji su trajno neupotrebljivi.

Iz svega navedenog očekuju se iz 2020. i 2021. godine velike količine građevinskog otpada koje se svakako treba nastojati uključiti u koncept kružnog gospodarenja otpadom.

Količine građevinskog otpada mogu biti još i veće u slučaju novih potresa čije pojavljivanje se ne smije zanemariti. **Zbog velikog broja oštećenih objekata neće biti moguće brinuti o građevinskom otpadu po prijašnjim procedurama.** Ovo znači prije

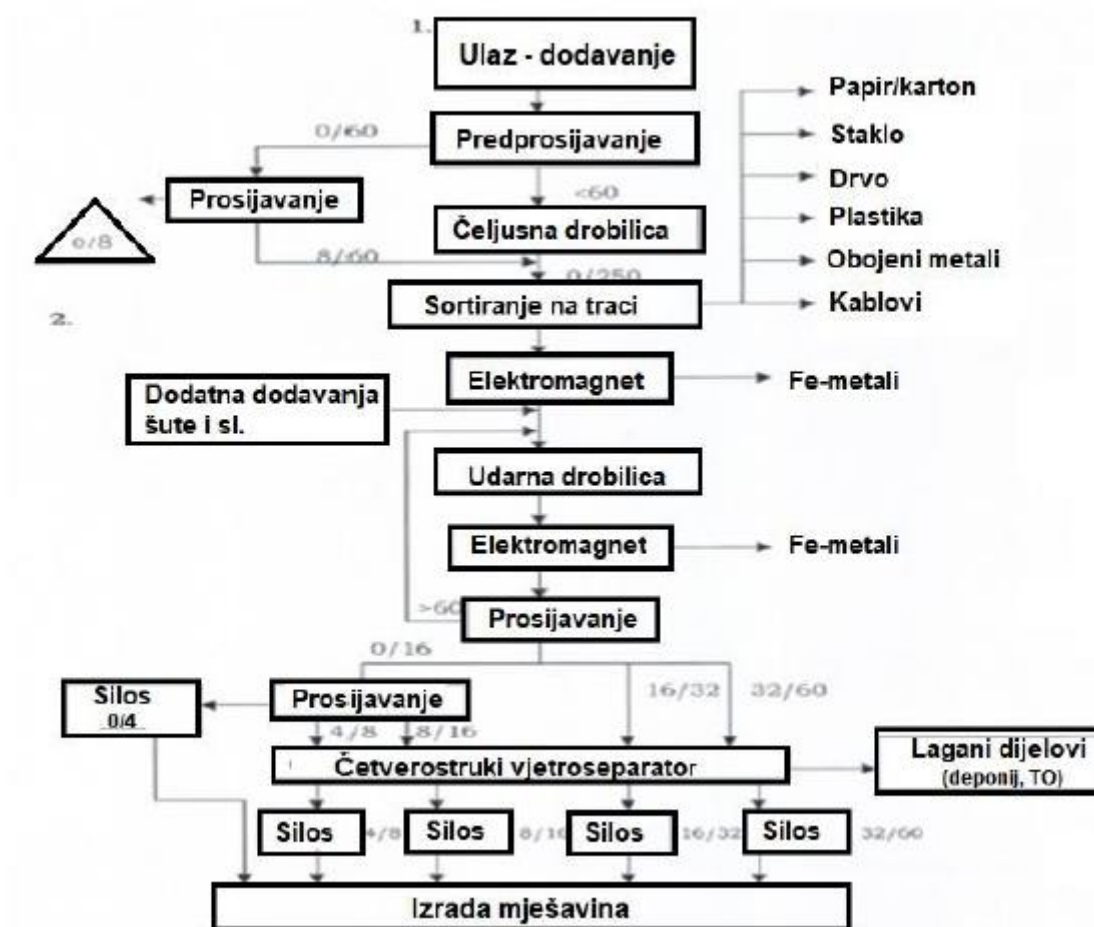
svoga da je nemoguće uvijek plansko rušenje jer je potres većinom srušio objekt ili su nadležne službe srušile objekt ili dio objekta samo tako da spriječe još teže posljedice. Također u užim gradskim područjima ne može se uvijek koristiti mobilno postrojenje koje bi usitnilo otpad jer je često otežan pristup lokaciji zbog gradskih ulica i blizine drugih objekata. U ovoj situaciji postoji mnogo neselektiranog otpada koji treba doći u postrojenja za recikliranje. Postojeći sustav za recikliranje prisutan u Republici Hrvatskoj nije naročito funkcionalan za slučaj potresa. Razlog je taj što sustavi za recikliranje građevinskog otpada većinom zahtijevaju unaprijed selektirane materijale što nije jednostavno napraviti kada je potres već srušio objekt.

Iz [29] je vidljivo kako u Sisačko-moslavačkoj županiji ne postoji niti jedno reciklažno dvorište za građevinski otpad, dok su na tri lokacije (Novska, Kutina i Glina) takva dvorišta tek u planu. Rješenje koje se predlaže u [29] je privremeno odlaganje građevinskog otpada na zemljišta koja su u vlasništvu jedinica lokalne samouprave. Još ne postoji strategija kako kasnije gospodariti otpadom osim što će se izgraditi reciklažna dvorišta građevinskog otpada.

5.2. UNAPRJEĐENJE POSTUPKA RECIKLIRANJA

Slijedeći principe kružnog gospodarstva, za Republiku Hrvatsku bilo bi korisno građevinski otpad nastao u potresima maksimalno iskoristiti za stvaranje novih sirovina. One se mogu iskoristiti za gradnju novih objekata na porušanim područjima. Kružno gospodarstvo je isplativo za sve sudionike procesa. Također, ovo je prilika za moderne sustave recikliranja građevinskog otpada.

Na slici 16. prikazana je shema stabilnog postrojenja za recikliranje građevinskog otpada s drobljenjem u dva stupnja (prema [25] autor navodi da je „koncept sličan RGO Prudinec“ i pritom ne ukazuje na točne razlike). Koncept će poslužiti kao ogledan i primjeren za trenutnu situaciju u Republici Hrvatskoj, uzimajući u obzir da postojeća postrojenja nisu jednako opremljena, a RGO Prudinec je pritom najopremljeniji. Prema [7] u 2015. godini RGO Prudinec je jedini pogon namijenjen isključivo za recikliranje građevinskog otpada. Postoji još sedam mobilnih postrojenja za recikliranje koji su u vlasništvu različitih tvrtki.



Slika 16. Koncept recikliranja sličan RGO Prudinec [25]

5.2.1. POSTROJENJE ZA RECIKLIRANJE S AUTOMATIZIRANIM SORTIRANJEM

Kako je planirano za Sisačko-moslavačku županiju [29] odvoženje otpada u reciklažna dvorišta, sortiranje¹ u njima i kasnije ponovno odvoženje do postrojenja za recikliranje specifičnih materijala, odvija se financijski zahtjevno i dugotrajno te uz velike napore

¹ Nije specificiran stupanj mehanizacije sortiranja

zaposlenika. Stoga se nameće kao bolje rješenje **izgraditi novo integrirano postrojenje na području Sisačko-moslavačke županije** u kojemu neće biti potrebno sortirati građevinski otpad prije dolaska u postrojenje za recikliranje. Isto postrojenje **može poslužiti za Grad Zagreb** koji nije mnogo udaljen, a može služiti i kasnijim potrebama lokalne zajednice.

Što se tiče procesa unutar samog novog integriranog postrojenja, on se može odvijati na sljedeći način.

Na početku procesa odmah nakon što je građevinski otpad dostavljen potrebno je napraviti pregled dostavljenog otpada. Onaj dio otpada koji je velikih dimenzija (poput naprimjer vrata), potrebno je razbiti hidrauličkim čekićem koji je montiran na bager. Ovdje se preporučuje, ako je moguće, koristiti hidraulički čekić ranije – već na mjestu prikupljanja otpada, jer će na taj način biti lakše dizalicom ubaciti otpad u kamion za transport. Za procesiranje u postrojenju komadi trebaju biti razbijeni toliko koliko je potrebno da se zadovolje ulazni parametri drobilica, koji ovise o vrsti same drobilice (naprimjer maksimalni razmak između dvije čeljusti kod čeljusne drobilice).

Pri pregledu ustanovljuje se postoje li veliki komadi otpada koje ipak ne treba razbijati. Naprimjer, velike grede nije potrebno razbijati nego se mogu ponovno upotrijebiti. Za odluku o tome može li se nešto upotrijebiti potrebno je propisati određene parametre s kojima bi bili upoznati radnici koji vrše pregled kako bi donijeli ispravnu odluku. Na kraju onaj otpad koji ide u sami sustav za recikliranje dodaje se pomoću bagera s lopatom.

Iz slike 15. vidljivo je kako se u većim količinama pojavljuju: zemlja, beton, opeka (cigla i crijep), metali, drvo, staklo i plastika. Postoji mogućnost ručnog sortiranja nakon drobljenja kako bi se odvojili plastični materijali, drvo i staklo. No osnovni nedostatak ručnog sortiranja je sporost postupka spram automatiziranih procesa sortiranja. Zato je korisno ovaj dio sustava za recikliranje automatizirati. Zemlja se odvaja pretprosijavanjem nakon čega slijedi drobljenje komada u manje dijelove. Automatizirani sustavi za selektiranje otpada temelje se na sensorima (dani u nastavku) koji precizno i brzo detektiraju vrstu materijala, a materijali se razlikuju na temelju različitih fizičkih svojstava ovisno o vrstama postupka. [30]

Rješenje koje može poslužiti automatiziranom selektiranju plastike, drveta i stakla su optički senzori koji se koriste za čvrst otpad. Postoje dvije osnovne verzije uređaja koji se razlikuju po područjima elektromagnetskog spektra u kojemu rade, a to su [30]:

- 1) blisko infracrveno – NIR (Slika 17.)

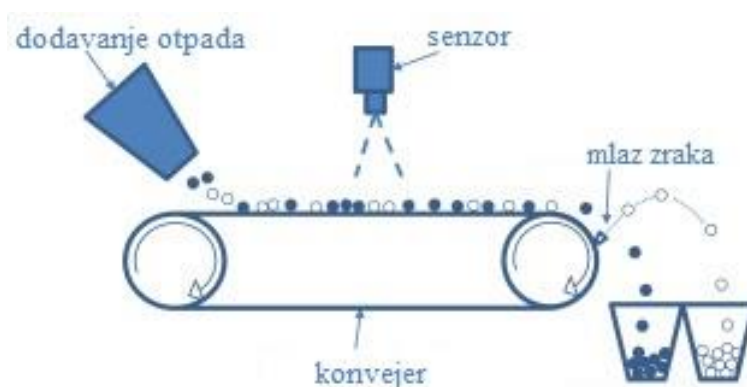
2) vidljivo područje – VIS spektrometrija.

NIR - senzor može raspoznavati:

- 1) različite vrste polimera
- 2) papir
- 3) drvo
- 4) kamen.

NIR — blisko infracrveno područje, temelji se na sensorima infracrvene spektrofotometrije koji prepoznaju materijale prema njihovim jedinstvenim spektralnim svojstvima reflektiranog svjetla u infracrvenom području elektromagnetskog spektra. [30] Ukratko, prepoznaju materijale na temelju njihove kemijske građe. Zrake infracrvenog svjetla usmjeravaju se na objekte koji se nalaze na pokretnoj traci. Zrake se od objekta reflektiraju u sustav koji na temelju dobivenih informacija obrađuje podatke i definira o kojem materijalu se radi.

Odabrani materijal se izbacuje u spremnik ili različitu transportnu traku od ostatka otpada pomoću mlazova komprimiranog zraka. Mlaz se pojavljuje na onom dijelu kraja pokretne trake na kojemu je objekt registriran senzorom, a vrijeme pojavljivanja ovisi o brzini pokretne trake. Druga mogućnost je korištenje robotske ruke koja bi hvatala određeni komad i prebacivala ga na drugu traku ili u spremnik. Ovo zahtijeva kompliciranija rješenja.



Slika 17. Primjena senzora NIR [31]

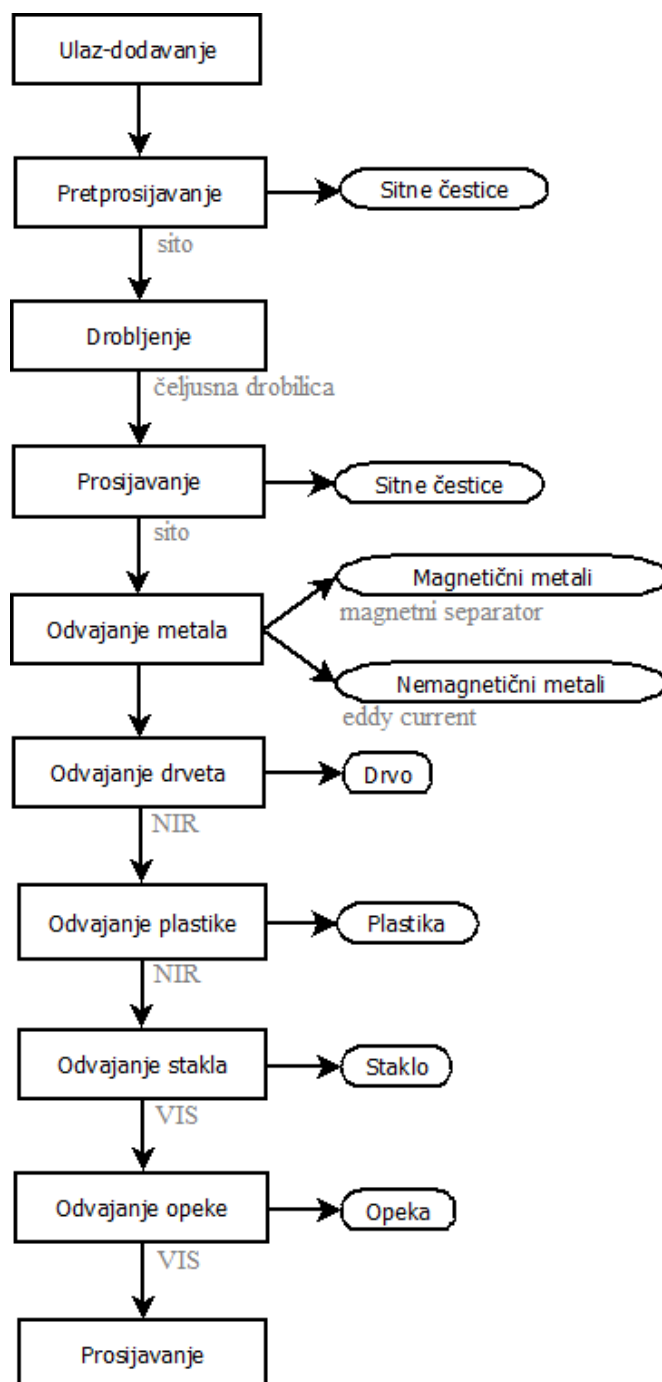
Ranije je navedeno kako se reciklirana opeka može ponovno koristiti za proizvodnju novih elemenata ali pri tome treba biti čista tj. odvojena od ostalih komponenti otpada kao što je beton. Za odvajanje opeke od betona koristi se specifična crvena boja koja razlikuje opeku

od drugih elemenata građevinskog otpada. U trenutku odvajanja opeke od ostalih elemenata prisutni bi trebali biti beton i opeka jer su ostali dijelovi već odvojeni. Ipak se može dogoditi nekoliko materijala koji se iz nekog razloga nisu odvojili ali to je zanemarivo. Takvi komadi odlaze do kraja i koristit će se najvjerojatnije za nasipavanje.

Za razlikovanje crvene boje opeke koristi se VIS spektrometrija. Senzori ove metode imaju mogućnost razlikovanja dijelova u vidljivom dijelu spektra kao i raspoznavanje neprozirnih predmeta. Senzor odašilje valne duljine različitih boja na otpadni materijal, a na temelju razlike primljene valne duljine od poslana saznaje se o kojoj boji (materijalu) se radi. [29]

5.2.2.HEMA NOVOG POSTROJENJA ZA RECIKLIRANJE

Na slici 18. nalazi se prijedlog novog postrojenja za recikliranje. Ovakvo postrojenje trebalo bi sortirati građevinski otpad u spremnike iz kojih bi se kasnije odvezio na daljnju obradu (metali, drvo, plastika, staklo i opeka). Ono što nije moguće sortirati usitnilo bi se i kasnije koristilo za namjene ranije opisane u točki 3.4.5.



Slika 18. Shema unaprjeđenog procesa postrojenja za recikliranje građevinskog otpada

U nastavku su opisani pojedini daljnji dijelovi procesa sustava za recikliranje građevinskog otpada. Način pripreme za dodavanje opisan je ranije u točki 5.2.1.

Dodavanje – potrebno je osigurati prolazak komada kroz bubanj za pretprosijavanje i drobilicu. Komadi trebaju biti isključivo iz kategorije građevinskog otpada, a dodavanje se odvija bagerom s lopatom.

Pretprosijavanje – odvajanje zemlje i sitnih čestica ostalih materijala. Odvojeni materijali odlaze u spremnike ili u slučaju posebnih zahtjeva mogu ići na daljnju obradu.

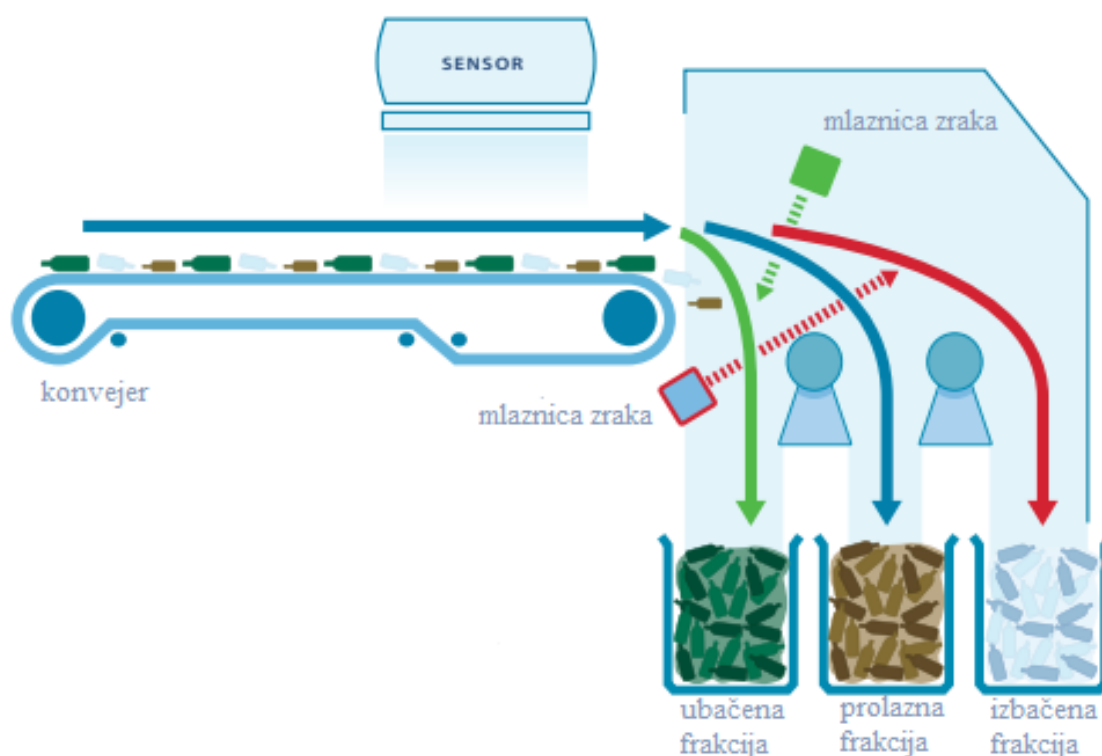
Drobljenje – potrebno je usitniti komade na razinu koja omogućava daljnje sortiranje (ovisno o snazi mlaza komprimiranog zraka).

Prosijavanje – drobljenjem nastaju sitne čestice koje je potrebno odvojiti. Također potrebno je osigurati da komadi koji idu dalje transportnom trakom budu odvojeni jedni od drugih. To se postiže vibriranjem vibrirajućih sita ili posebnim vibrirajućim dodavačima.

Odvajanje metala – metali se odvajaju magnetnim separatorom i separatorom eddy current. Prednost ima odvajanje metala kako bi senzori kasnije lakše prepoznavali ostale materijale.

Odvajanje drveta – za odvajanje drveta koristi se uređaj s NIR senzorom

Odvajanje plastike – za odvajanje plastike koristi se također uređaj s NIR senzorom. Postupak odvajanja drveta i plastike može se izvesti i s jednim uređajem. Tada je potrebno osigurati odvajanje s dvije mlaznice komprimiranog zraka kako je prikazano na slici 19.



Slika 19. NIR s tri razine odvajanja [32]

Odvajanje stakla – za odvajanje stakla koristi se uređaj s VIS spektrometrijom. Osim za prepoznavanje boje ovaj uređaj može prepoznati i prozirni materijal.

Odvajanje opeke – za odvajanje opeke također se koristi uređaj s VIS spektrometrijom koji prepoznaje razine crvene boje specifične za opeku. I ovdje se može odvajati na jednom uređaju i staklo i opeka korištenjem dvije mlaznice.

Završno prosijavanje – na kraju se ovisno o potrebi popunjavaju spremnici s različitim veličinama frakcija preostalog materijala koji nije odvojen. Ako postoji potreba može se i dodatno usitniti posebnim vrstama drobilica

Pretpostavlja se da ranije opisano postrojenje treba najprije Sisačko-moslavačkoj županiji, a neki od prijedloga koji se nalaze u ovom radu mogu pomoći i u unaprjeđenju načina rada ostalih postrojenja ovisno o potrebama svake od ranije navedenih županija.

6. ZAKLJUČAK

U posljednjih nekoliko godina, nakon što je Republika Hrvatska postala članicom Europske Unije procesi gospodarenja otpadom podignuti su na višu razinu. Izdvajaju se veća financijska sredstva, mijenja se svijest građana, otpad se sve više sortira i reciklira. Donesen je niz zakona, uredbi i protokola koji pomažu učinkovitom zbrinjavanju otpada. Otvaraju se reciklažna dvorišta i veliki centri za gospodarenje otpadom. Pažnja je najvećim dijelom usmjerena na komunalni otpad što je i razumljivo jer je najveći broj ljudi povezan s tom vrstom otpada.

Uredbe su donesene i za građevinski otpad. Načini zbrinjavanja građevinskog otpada su mnogo složeniji zbog velikih količina i različitih vrsta materijala. Uspješno gospodarenje građevinskim otpadom iziskuje ozbiljne napore za transport, opremljenost postrojenja za recikliranje, poznavanje pravilnog načina rušenja objekata kao i znanja o iskoristivosti recikliranog materijala. Najviše znanja posjeduju građevinari dok strojari svoj doprinos mogu dati u unapređenju postrojenja za recikliranje.

U Republici Hrvatskoj postrojenja za recikliranje građevinskog otpada sastoje se najvećim dijelom od osnovnog postupka što uključuje drobljenje i odvajanje metalnih dijelova. Reciklirani materijal koji nastaje na takav način ne može se koristiti za širu upotrebu. Za široku upotrebu potrebno je imati i veći asortiman recikliranih materijala. Ovo se postiže unapređenjem postupka recikliranja primjenom suvremenih uređaja i strojeva. Njima je moguće sortirati veće količine, veći broj materijala i dobiti čišći reciklirani materijal. Nadalje, osnovna prednost ovih strojeva je i veća brzina rada uz što se još pojavljuje i humanizacija rada.

Potresi koji su pogodili Republiku Hrvatsku izazvali su velike materijalne štete uz stvaranje velikih količina građevinskog otpada. Tijekom izrade ovog rada nije nađeno da postoji jasna strategija o gospodarenju građevinskim otpadom na potresom pogođenim

područjima. Na području Sisačko-moslavačke županije ne postoji niti postrojenje za recikliranje niti reciklažno dvorište za građevinski otpad.

U ovom radu predložen je koncept procesa postrojenja za recikliranje koje samostalno može sortirati građevinski otpad i u određenoj mjeri ga pripremiti za ponovnu upotrebu. Takav proces sastoji se od drobljenja otpada, prosijavanja otpada i sortiranja po različitim vrstama materijala (metali, opeka, drvo, staklo, plastika) primjenom modernih tehnologija (senzori NIR, VIS spektrofotometrija, separator *eddy current*, roboti/manipulatori). Pretpostavlja se da takvo postrojenje treba najprije Sisačko-moslavačkoj županiji, a neki od prijedloga koji se nalaze u ovom radu mogu biti od koristi za unaprjeđenje načina rada ostalih postrojenja.

Općenito proces gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj zadnjih nekoliko godina sve više odgovara postavljenim zahtjevima Europske Unije. Suradnjom svih grana gospodarstva i ispravnim odnosom prema otpadu tj. primjenom principa kružnog gospodarstva može se ostvariti značajan ekonomski rast, a još važnije i bolji način života građana.

7. LITERATURA

- [1] Narodne novine (2020) *Zakon o održivom gospodarenju otpadom*, Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/657/Zakon-o-odr%C5%BEivom-gospodarenju-otpadom>, posjećeno: 2020-12-08.
- [2] K. Horvatić: *Gospodarenje građevinskim otpadom u Republici Hrvatskoj*. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2018.
- [3] T. Filetin: *Recikliranje materijala*. Podloge za predavanje, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2019.
- [4] Narodne novine (2017) *Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada*. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_10_114_2184.html, posjećeno: 2020-12-14.
- [5] D. Petrović: *Metode sanacija nesaniranih odlagališta otpada*. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2018.
- [6] Regionalni centar za gospodarenje otpadom, <https://rcco.hr/odlagaliste-za-neopasni-i-inertni-otpad/>, posjećeno: 2021-02-05.
- [7] *Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2015.-2021.* Dostupno na: https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/SPUO/nadležno_mzoe/nacrt_plana_gospodarenja_otpadom_republike_hrvatske_za_razdoblje_2015-2021.pdf, posjećeno: 2020-12-16.
- [8] ŽCGO Marišćina, <https://www.ekoplus.hr/mariscina.php>, posjećeno: 2020-12-21.
- [9] RCGO Piškornica, <http://www.rcgo-piskornica.hr/gal-grup.asp?sid=7711>, posjećeno: 2021-02-10.
- [10] D. Križnik: *Regionalni centar za gospodarenje otpadom Piškornica*. Diplomski rad, Stručni studij lovstva i zaštite prirode, Sveučilište u Karlovcu, 2019.

- [11] K-briq, <https://kenoteq.com/>, posjećeno: 2020-12-31.
- [12] Zagrebački holding, <https://www.zgh.hr/usluge-8/komunalne-djelatnosti-23/zbrinjavanje-gradjevinskog-otpada/8606>, posjećeno: 2021-01-30.
- [13] *Pravilnik o katalogu otpada.* Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_08_90_1757.html, posjećeno: 2020-12-23.
- [14] Enciklopedija. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/>, posjećeno: 2020-12-31.
- [15] B. Štirinjić: *Strategija održivog gospodarenja građevinskim otpadom.* Završni rad, Međimursko veleučilište u Čakovcu, 2020.
- [16] *Pravilnik o građevnom otpadu i otpadu koji sadrži azbest.* Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_07_69_1650.html, posjećeno: 2021-01-19.
- [17] Katran, <http://katran.hr/>, posjećeno: 2021-01-30.
- [18] *Protokol EU-a za gospodarenje građevinskim otpadom i otpadom od rušenja.* Dostupno na: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/hr/renditions/native>, posjećeno: 2021-01-20.
- [19] D. Barković: *Automatsko razvrstavanje otpada.* Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [20] Rotirajući bubanj, https://medium.com/@marianna_56839/trommels-working-principle-components-and-advantages-fa79664db15, posjećeno: 2021-01-30.
- [21] Hrvatska tehnička enciklopedija, <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/drobljenje.pdf>, posjećeno: 2021-02-10.
- [22] S. Petrović: *Vibracijska drobilica za kamen.* Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [23] Magnetni separator, <https://www.jkmagnetic.com/wp-content/uploads/2017/06/overband-2.gif>, posjećeno: 2021-02-10.
- [24] *Eddy current*, <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0921344914000846-gr2.jpg>, posjećeno: 2021-02-11.
- [25] Z. Milanović, D. Sinčić: *Mehanička obrada čvrstog otpada.* Tehnix, Zagreb, 2017.

- [26] V. Kaučić: *Nove metode u razvrstavanju otpada*. Završni rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Sveučilište u Osijeku, 2018.
- [27] N. Štrimer, A. Škreb: *Procjena količina građevnog otpada i potencijala za njegovo korištenje*. Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2017.
- [28] Ministarstvo, <https://mgipu.gov.hr/o-ministarstvu-15/djelokrug/graditeljstvo-98/obnova-zgrada-ostecenih-potresom-na-podrucju-grada-zagreba-i-okolice/10668>, posjećeno: 2021-02-01.
- [29] *Plan provedbe mjera gospodarenja otpadom nakon potresa na području Sisačko-moslavačke županije*, http://www.fzoeu.hr/docs/plan_provedbe_mjera_gospodarenja_otpadom_nakon_potresa_na_podrucju_sisackomoslavacke_zupanije_v1.pdf, posjećeno: 2021-02-08.
- [30] K. Stojkov: *Istraživanje mogućnosti unapređenja proizvodnog programa opreme za obradu otpada*. Završni rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2019.
- [31] senzor NIR, <https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B9780081026762000025-f02-09-9780081026762.jpg>, posjećeno: 2021-02-11.
- [32] primjena senzora NIR, <https://www.cpgrp.com/mss-brochure/files/assets/common/downloads/CP%20Group%20Brochure.pdf>, posjećeno: 2021-02-11.