



Univerzitet u Novom Sadu  
Fakultet tehničkih nauka  
Trg Dositeja Obradovića 6  
21000 Novi Sad  
[www.ftn.uns.ac.rs](http://www.ftn.uns.ac.rs)

DEPARTMAN ZA  
INŽENJERSTVO  
ZASTITE ŽIVOTNE  
SREDINE  
[www.izzs.uns.ac.rs](http://www.izzs.uns.ac.rs)  
Tel: + 381 21 485 24 39  
Fax: + 381 21 455 672



# **Analiza mogućnosti odlaganja pepela i šljake na jalovište kopova**

*Novi Sad, Novembar 2016.*

## Sadržaj:

|     |                                                                                                                  |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Uvodna razmatranja i cilj studije .....                                                                          | 3  |
| 1.1 | Generalno stanje u oblasti u Srbiji .....                                                                        | 4  |
| 1.2 | Opšte o pepelu, šljaci i jalovini .....                                                                          | 6  |
| 1.3 | Problematika deponovanja pepela i šljake.....                                                                    | 7  |
| 2   | Opšte informacije o DP „Kolubara – prerada“ – Vreoci .....                                                       | 8  |
| 2.1 | Makro i mikro lokacija .....                                                                                     | 8  |
| 2.2 | Tehnološke jedinice unutar pogona "Kolubara - Prerada" .....                                                     | 9  |
| 2.3 | Karakteristike pepela i šljake .....                                                                             | 13 |
| 2.4 | Fizičko-hemijske karakteristike pepela i šljake sa deponije u Medoševcu.....                                     | 14 |
| 2.5 | Eksperimentalno utvrđivanje karakteristika <i>pepela, šljake, i jalovine</i> .....                               | 18 |
| 3   | Trenutna praksa odlaganja pepela i šljake .....                                                                  | 24 |
| 3.1 | Priprema pepela i šljake .....                                                                                   | 25 |
| 3.2 | Priprema i skladištenje elektrofilterskog pepela.....                                                            | 25 |
| 3.3 | Hidrotransport pepela i šljake od toplane do deponije .....                                                      | 25 |
| 3.4 | Odlaganje pepela i šljake na deponiji u Medoševcu .....                                                          | 27 |
| 3.5 | Opis deponije pepela i šljake u Medoševcu .....                                                                  | 28 |
| 4   | Opšte karakteristike jalovišta .....                                                                             | 31 |
| 4.1 | Karakteristike ležišta polja „D“ .....                                                                           | 31 |
| 4.2 | Procene rezervi uglja .....                                                                                      | 32 |
| 4.3 | Proračun zapremine povlatne i intraslojne jalovine .....                                                         | 32 |
| 4.4 | Analiza stabilnosti projektovane radne i završne kosine na odlagalištu .....                                     | 33 |
| 5   | Model verifikacije najpogodnijeg odnosa mešanja pepela i šljake sa jalovinom.....                                | 34 |
| 5.1 | Ulazni parametri za model verifikacije .....                                                                     | 35 |
| 5.2 | Najoptimalniji odnosi mešanja pepela i šljake sa jalovinom .....                                                 | 40 |
| 5.3 | Rezultati merenja mešavine šljake i pepela sa jalovinom u skladu sa preporučenim odnosima za rekultivaciju ..... | 41 |
| 6   | Homogenizacija .....                                                                                             | 48 |
| 6.1 | Vrste mešalica .....                                                                                             | 49 |
| 6.2 | Predložene metode za mešanje pepela i šljake sa jalovinom .....                                                  | 50 |
| 8.  | ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....                                                                                       | 58 |
| 7   | Literatura .....                                                                                                 | 59 |

## Opšti podaci o projektu

|                                 |                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Naručilac projekta:</b>      | JP EPS Beograd – Ogranak RB Kolubara,<br>Carice Milice 2, 11000 Beograd                                                                                                                                             |
| <b>Izvršilac projekta:</b>      | Fakultet tehničkih nauka<br>Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu<br>Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad<br>telefon: 021/485-2439<br>website: www.ftn.uns.ac.rs, izzs.uns.ac.rs |
| <b>Projektni zadatak:</b>       | Analiza mogućnosti odlaganja pepela i šljake na jalovište kopova (Javna nabavka broj: JN/4000/1052/2015) prema Programskom zadatku br. 04.08-92517/1-15 od 29.12.2015. godine                                       |
| <b>Učesnici u izradi:</b>       | Doc. dr Nemanja Stanisavljević – Koordinator projekta<br>Dr. Vladimir Mrkajić<br>MSc Miodrag Živančev, dipl. ing                                                                                                    |
| <b>Fakultet tehničkih nauka</b> | Doc. dr Bojan Batinić<br>Doc. dr Dejan Ubavin<br>Prof. dr Goran Vujić<br>Doc. dr Branka Gvozdenac-Urošević                                                                                                          |
| <b>Institut Vatrogas d.o.o.</b> | Milorad Bijelić, dipl. hem.<br>mr Zoran Nikolić, dipl. Inž.<br>Goran Bogojević, dipl. inž. tehn.<br>Vladimir Stjepanović, prof. hem.                                                                                |

Direktor departmana

Dekan Fakulteta tehničkih nauka

M.P.

Doc. dr Dejan Ubavin

Prof. dr Rade Doroslovački

# 1 Uvodna razmatranja i cilj studije

Cilj izrade studije je rešavanje problema trajnog deponovanja pepela i šljake iz Organizacione celine „Prerada“, RJ „Toplana“ Vreoci na jalovište površinskog kopa Ogranka RB „Kolubara“ gde bi se vršila rekultivacija. U skladu sa datim ciljem, potrebno je bilo ispitati mogućnosti mešanja pepela i šljake sa jalovinom zarad određivanja najoptimalnijeg odnosa za rekultivaciju.

U sklopu izrade studije je izvršeno uzorkovanje:

- Pepela i šljake sa deponije u Medoševcu (6 uzoraka);
- Jalovine sa površinskog kopa Ogranka RB Kolubara (6 uzoraka);
- Mešavine pepela, šljake i jalovine (6 uzoraka).

U navedenim uzorcima analizirani su sledeći parametri:

- Sadržaj ukupnih i pristupačnih formi teških metala i to: hrom, nikl, olovo, bakar, cink, kadijum, živa, bor, arsen i gvožđe;
- Agrohemijski parametri i to: pH vrednost u KCl-u, ukupni N, organski C, lakopristupačne forme  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ;
- Fizičko-hemijske osobine – granulometrijski sastav i teksturna klasa.

Uzorkovanje i Izveštaj o uzorkovanju (1907/16-240 GB) je sačinio Institut Vatrogas, Bulevar vojvode Stepe 66, 21000 Novi Sad, u svojoj akreditovanoj laboratoriji prema predviđenim standardima.

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja dat je predlog rešenja odlaganja pepela i šljake iz RJ „Toplana“ sa jalovinom na površinskim kopovima Ogranka RB „Kolubara“ i to:

- najoptimalniji odnos mešavine pepela, šljake i jalovine za rekultivaciju
- optimalan vid mešanja i homogenizacije pepela i šljake sa jalovinom

Studija je urađena u skladu sa tehničkim standardima i zakonskim propisima u ovoj oblasti:

- Zakona o zaštiti životne sredine (Sl. Glasnik RS, br. 135/04, 36/09 i 43/11);
- Zakona o upravljanju otpadom (Sl. Glasnik RS, br. 36/09 i 88/10);

- Pravilnika o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja (Sl. Glasnik RS, br. 24/94),
- Zakona i propisa Republike Srbije u vezi sa predmetom ispitivanja i
- Važećih SRPS, ISO i EN standarda.

Kao podloge za izradu Studije su korišćeni sledeći dokumenti:

- Izveštaj o ispitivanju otpada – elektrofilterski pepeo i šljaka – deponija u Medoševcu, koju je uradio Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor (30.05.2011. godine);
- Sva raspoloživa tehnička dokumentacija investitora;
- Upoznavanje sa datom situacijom na licu mesta;
- Adekvatna stručna literatura.

## 1.1 Generalno stanje u oblasti u Srbiji<sup>1</sup>

U Srbiji se većina električne i toplotne energije dobija sagorevanjem uglja u ložištima termoelektrana, što za posledicu ima emisiju štetnih materija iz procesa, te nastanak otpadnih voda, letećeg pepela i šljake. U Srbiji se proizvodi oko 5,5 milona tona pepela i šljake godišnje, dok najveći udeo u eksploataciji uglja ima površinski kop Kolubara (Tabela 1.1). Budući da dolazi do sve veće potrošnje uglja i do rasta količina svih otpadnih materija, sve veća pažnja se usmerava i na pitanja smanjenja, odlaganja i/ili mogućnosti korišćenja datog otpada.

RJ „Toplana“ je termoenergetski objekat namenjen za proizvodnju toplotne energije, koja se koristi kako za sušenje uglja u Sušari tako i za grejanje industrijskih objekata i objekata u sistemu daljinskog grejanja opštine Lazarevac. Sagorevanjem u proseku od oko 205.000 t uglja godišnje u Toplani, produkuje se prosečno oko 31.142 t pepela i šljake (uzimajući u obzir vrednosti iz poslednje 3 godine, Tabela 1.2). Ukupna količina pepela i šljake transportuje se hidrauličnim sistemom do deponije – taložnika u Medoševcu, gde se vrši njihovo deponovanje.

---

<sup>1</sup> Za predstavljanje generalnih definicija koje se odnose na opšte definicije pepela i šljake je korišćeni su neki podaci iz publikovanog naučnog rada: Životić M.M., Stojiljković D. D., Jovović A.M., Čudić V. V. (2012). *Mogućnost korišćenja pepela i šljake sa deponije termoelektrane „Nikola Tesla“ kao otpada sa upotrebnom vrednošću*. Hem. Ind. 66 (3) 403–412

*Tabela 1.1: Rezultati površinske eksploatacije uglja u Kolubarskom basenu, po godinama<sup>2</sup>*

| Godina      | Otkopana jalovina, m <sup>3</sup> |            |               | Otkopani ugalj, t |
|-------------|-----------------------------------|------------|---------------|-------------------|
|             | otkrivka                          | proslojci  | ukupno        |                   |
| 1952        | 90.342                            | 0          | 90.342        |                   |
| 1953        | 348.490                           | 0          | 348.490       |                   |
| 1954        | 369.558                           | 0          | 369.558       |                   |
| 1955        | 1.072.180                         | 0          | 1.072.180     |                   |
| 1956        | 2.309.189                         | 0          | 2.309.189     | 5.853             |
| 1957        | 2.480.560                         | 0          | 2.480.560     | 3.743             |
| 1958        | 2.023.395                         | 0          | 2.023.395     | 265.680           |
| 1959        | 2.914.585                         | 0          | 2.914.585     | 609.417           |
| 1960        | 3.568.272                         | 0          | 3.568.272     | 895.286           |
| 1961        | 4.257.764                         | 0          | 4.257.764     | 1.541.693         |
| 1962        | 4.782.533                         | 0          | 4.782.533     | 2.091.123         |
| 1963        | 5.324.443                         | 0          | 5.324.443     | 2.567.658         |
| 1964        | 5.639.882                         | 0          | 5.639.882     | 2.752.374         |
| 1965        | 6.739.703                         | 0          | 6.739.703     | 2.916.015         |
| 1966        | 7.384.184                         | 0          | 7.384.184     | 3.265.972         |
| 1967        | 7.831.456                         | 0          | 7.831.456     | 2.900.218         |
| 1968        | 11.005.059                        | 0          | 11.005.059    | 2.623.520         |
| 1969        | 16.431.198                        | 0          | 16.431.198    | 2.332.536         |
| 1970        | 17.685.471                        | 0          | 17.685.471    | 4.072.066         |
| 1971        | 17.907.527                        | 0          | 17.907.527    | 5.585.790         |
| 1972        | 15.818.316                        | 0          | 15.818.316    | 5.214.713         |
| 1973        | 20.467.899                        | 0          | 20.467.899    | 6.538.330         |
| 1974        | 18.633.072                        | 0          | 18.633.072    | 6.861.247         |
| 1975        | 17.795.274                        | 0          | 17.795.274    | 7.177.640         |
| 1976        | 30.598.597                        | 0          | 30.598.597    | 8.027.229         |
| 1977        | 37.015.124                        | 0          | 37.015.124    | 9.619.016         |
| 1978        | 39.122.565                        | 0          | 39.122.565    | 10.312.372        |
| 1979        | 41.526.987                        | 0          | 41.526.987    | 13.008.797        |
| 1980        | 40.495.351                        | 0          | 40.495.351    | 16.504.611        |
| 1981        | 40.325.491                        | 0          | 40.325.491    | 18.550.870        |
| 1982        | 41.610.246                        | 0          | 41.610.246    | 19.657.498        |
| 1983        | 44.737.593                        | 0          | 44.737.593    | 20.550.051        |
| 1984        | 45.517.299                        | 0          | 45.517.299    | 23.393.383        |
| 1985        | 46.674.896                        | 0          | 46.674.896    | 24.797.130        |
| 1986        | 47.374.393                        | 0          | 47.374.393    | 24.270.974        |
| 1987        | 53.327.187                        | 0          | 53.327.187    | 26.050.038        |
| 1988        | 60.045.467                        | 0          | 60.045.467    | 25.821.177        |
| 1989        | 62.925.927                        | 0          | 62.925.927    | 26.298.155        |
| 1990        | 55.202.723                        | 0          | 55.202.723    | 29.114.949        |
| 1991        | 58.053.422                        | 0          | 58.053.422    | 26.150.090        |
| 1992        | 46.023.423                        | 0          | 46.023.423    | 24.526.014        |
| 1993        | 37.840.441                        | 0          | 37.840.441    | 24.552.297        |
| 1994        | 34.210.252                        | 0          | 34.210.252    | 24.873.000        |
| 1995        | 34.608.003                        | 0          | 34.608.003    | 26.567.656        |
| 1996        | 33.926.924                        | 2.432.654  | 36.359.578    | 24.130.000        |
| 1997        | 40.295.716                        | 847.064    | 41.142.780    | 26.773.000        |
| 1998        | 34.742.220                        | 800.655    | 35.542.875    | 27.179.000        |
| 1999        | 34.208.430                        | 1.608.146  | 35.816.576    | 22.683.000        |
| 2000        | 34.652.623                        | 1.717.426  | 36.370.049    | 26.585.700        |
| 2001        | 36.691.492                        | 1.480.186  | 38.171.678    | 25.334.450        |
| 2002        | 57.528.290                        | 945.450    | 58.473.740    | 25.667.338        |
| 2003        | 71.057.174                        | 1.391.669  | 72.448.843    | 26.443.999        |
| 2004        | 64.770.700                        | 2.963.232  | 67.733.932    | 27.155.471        |
| 2005        | 62.667.708                        | 3.150.372  | 65.818.080    | 27.587.469        |
| Sve ukupno: | 1.560.657.016                     | 17.336.854 | 1.577.993.870 | 742.405.608       |

<sup>2</sup> *Elaborat o rezervama uglja u ležištu "Polje E" – Kolubarski basen, sa stanjem rezervi na dan 31. decembar, 2005. godine* (2007). Elaborat urađen od strane PD RB "Kolubara" d.o.o., DP "Kolubara – površinski kopovi", Sektor za proizvodno tehničke poslove, Geološka služba.

Tabela 1.2: Potrošnja uglja u Organizacionoj celini „Prerada“ RJ „Toplana“ Vreoci

|        | Potrošnja uglja<br>(t) | Pros. sadržaj pepela<br>(%) | Ukupno šljake i pepela<br>na godišnjem nivou (t) |
|--------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| 2013   | 217004                 | 15,7                        | 34070                                            |
| 2014   | 188059                 | 15                          | 28209                                            |
| 2015   | 211197                 | 16,4                        | 31147                                            |
| Prosek | 205420                 | 15,7                        | 31142                                            |

## 1.2 Opšte o pepelu, šljaci i jalovini

Leteći pepeo<sup>3</sup> predstavljaju fine čestice koje, nakon sagorevanja uglja, ostaju u suspenziji sa dimnim gasom (dimenzije finih čestica pepela su uglavnom ispod 100 µm) i koje očvršćavaju pri sniženju temperature. Pepeo se uglavnom sastoji od neorganske i nesagorive materije prisutne u uglju, čiji se deo prilikom sagorevanja pretvara u staklastu, amorfnu strukturu. Za uklanjanje letećeg pepela iz dimnog gasa putem sistema prečišćavanja u velikim termoenergetskim objektima najčešće se koriste elektrofilteri.

Pod šljakom se podrazumevaju čestice koje padaju na dno ložišta budući da sadrže najviše peska i šljunka te ne bivaju povučene strujom dimnog gasa. Čestice šljake su krupnije od čestica pepela, a sama šljaka je manje-više inertan materijal. Maksimalni prečnik čestica šljake je 2,4 mm, dok više od 50% čestica šljake ima dimenziju prečnika manju od 250 µm.

Fizičke i hemijske karakteristike pepela i šljake, kao i njihove količine, zavise prvenstveno od sastava uglja, a potom od tipa ložišta i tehnologije sagorevanja, te sistema za odvođenje pepela i šljake na deponiju. Po transportovanju na deponiju, pepeo i šljaka se mogu zajedno ili odvojeno skladištiti, dok sam način odlaganja i veličina deponije zavisi od količine i karakteristika letećeg pepela i šljake.

Jalovina predstavlja nusproizvod koji se dobija prilikom procesa prečišćavanja i prerade rude ili drugih baznih materijala u rudarskim i/ili industrijskim postrojenjima. Jalovina tipično sadrži čestice sa prečnikom u rasponu od veličine zrna pesaka (6 mm) do veličine zrna gline (<0,002mm). Prilikom izlaska iz proizvodnog procesa, jalovina se nalazi u obliku tekućeg mulja, i to prvenstveno zbog velike količine vode koja se koristi u rudarskom ili industrijskom procesu.

<sup>3</sup> Ili kako se još naziva „elektrofilterski pepeo“ ili samo „pepeo“.

Fizičke karakteristike jalovine zavise o njenoj konzistentnosti – na koju se može uticati pre odlaganja (npr. aktivima za koagulaciju ili zgušnjavanje ) i za vreme odlaganja jalovine.

### 1.3 Problematika deponovanja pepelja i šljake

Otpad iz rudarstva nastaje istraživanjem, iskopavanjem, preradom i skladištenjem mineralnih sirovina. U sklopu integralnog sistema upravljanja otpadom veoma važno mesto zauzima trajno i sigurno zbrinjavanje ovog otpada na deponiji. Deponovanje pepelja, šljake i jalovine se po pravilu locira u uvalama koje su zaklonjene bočnim reljefom, ravnim terenima bez tekućih i stagnirajućih voda. Prema podacima Privredne komore Srbije<sup>4</sup> iz 2011. godine, ukupna površina deponija pepela i šljake u Srbiji zauzima prostor veći od 1500 hektara, gde je do sada odloženo preko 200 miliona tona ovog otpada.

Deponije pepela i šljake imaju izrazito negativan uticaj na kvalitet životne sredine, i to zbog:

- izazivanja zagađenja vazduha suspendovanim česticama i delovanja eolske erozije;
- zagađenja podzemnih voda;
- negativnog uticaja na floru, faunu i eko-sisteme;
- degradiranja poljoprivrednog zemljišta.

---

<sup>4</sup> Prezentovani na 2. sednici odbora Privredne komore Srbije 23.12. 2011. godine od strane Ljiljane Tanasijević (projekt menadžera); naziv prezentacije: "Upotreba elektrofilterskog pepela i šljake proizvedenih iz termoenergetskih postrojenja"



## 2 Opšte informacije o DP „Kolubara – prerada“ – Vreoci

### 2.1 Makro i mikro lokacija

Kolubarski ugljonosni basen zahvata prostor od oko 600 km<sup>2</sup>, pri čemu je njegova osa zapad-istok duga 55 km a jug-sever 15 km. Kolubarski ugljonosni basen se nalazi oko 50 km jugozapadno od Beograda i prostire se u srednjem i donjem toku reke Kolubare i njenih pritoka, Tamnave sa leve i Peštana sa desne strane. Prema teritorijalno-administrativnoj podeli zahvata prostor tri opštine: Lazarevac, Lajkovac i Ub. Reka Kolubara deli basen na zapadni i istočni deo.



*Slika 2.1: Geografski položaj Kolubarskog ugljonosnog basena i sela Vreoci*

U okviru Rudarskog basena "Kolubara" nalazi se i DP "Kolubara - Prerada" locirana u selu Vreoci. Selo Vreoci se nalazi na udaljenosti od oko 6 km u severozapadnom delu opštine Lazarevac, koje pripada šumadijskoj Kolubari. Oslanja se na Podrinsko - Kolubarski region koga osim visokog stepena industrijalizacije odlikuje i razvijena poljoprivreda i šumarstvo. Valjevo se nalazi jugozapadno od preduzeća "Kolubara - Prerada" Vreoci, na udaljenosti od oko 35 km, dok se Arandjelovac nalazi jugoistočno, na udaljenosti od oko 30 km. Sa severne strane je otvorena prema panonskoj niziji, a sa zapada, juga i istoka, okružena je brdovitim predelima male visine, u proseku

200 do 300m. Kolubara Prerada je takođe locirana neposredno uz površinske kopove "Tamnava Istočno", polje "B" i polje "D". U neposrednoj zoni uticaja nalaze se i TE "Kolubara - A" i "TE Kolubara - B". TE "Kolubara - A" se nalazi severno od Preduzeća "Kolubara - Prerade", na udaljenosti od oko 6 km, dok se "TE Kolubara - B" nalazi severozapadno, na udaljenosti od oko 28 km.

Kada je u pitanju saobraćajna infrastruktura "Kolubara - Prerada" Vreoci je povezana sa sledećim saobraćajnicama:

- Regionalnim putem Beograd - Lazarevac koji prolazi zapadno od kompleksa;
- Zapadno od kompleksa na oko 1 km nalazi se međunarodni put E-763, sa kojim je "Kolubara - Prerada" povezana regionalnim putem Beograd - Lazarevac, kao i lokalnim putevima;
- Kroz sam kompleks u pravcu zapad - istok pruža se lokalni put Stepoevac – Veliki Crljeni - Vreoci - Lazarevac - Arandelovac i dalje u pravcu istoka do Markovca i autoputa Beograd - Niš;
- Sa prugom Beograd - Bar (i lukom Bar) povezana je pomoću lokalnog industrijskog koloseka;
- Sa Ibarskom magistralom povezana je sa južnim delovima Srbije.

## 2.2 Tehnološke jedinice unutar pogona "Kolubara - Prerada"

U okviru pogona "Kolubara - Prerada" u Vreocima vrši se prerada i oplemenjivanje rovnog uglja sa površinskih kopova "B" i "D", proizvodnja tehnološke pare, tehnološke i pitke vode.

Dobijeni ugalj se koristi za snabdevanje industrije i za široku potrošnju. Postrojenje za preradu uglja obuhvata Oplemenjivanje koje čini Moku separaciju, Sušaru i Klasirnicu, Toplanu i Održavanje. U okviru "Kolubare-Prerade" nalazi se i Suva separacija i Železnički transport. Pogon Suve separacije je u funkciji pripreme uglja za TENT Obrenovac.

Mokra Separacija ima zadatak da izvrši pripremu rovnog uglja za sušenje po pitanju kvaliteta i krupnoće.

U Sušari procesom sušenja pranog uglja po postupku „Flaissner“, dobija se oplemenjeno gorivo-sušeni ugalj, ujednačenog kvaliteta, zadovoljavajuće mehaničke čvrstine, niskog sadržaja sumpora, otporno prema vodi, podesno za skladištenje i bez prirodne sklonosti ka samozapaljenju.

Klasiranje je poslednja faza u procesu prerade uglja i ima ulogu da osušeni ugalj iz bunkera razvrstava prema klasama krupnoće.

Toplana je termoenergetski objekat namenjen za proizvodnju toplotne energije, na sledećoj slici prikazan je objekat toplane u Vreocima.



*Slika 2.2: Toplana u Vreocima*

Zadatak R.J. „Toplana“ je da proizvede potrebnu količinu vodene pare, određenog pritiska i temperature i da je isporuči potrošačima. Ovo podrazumeva pripremu određene količine napojne kotlovske, kao i rashladne vode; obezbeđivanje dovoljne količine svežeg vazduha; dovođenje dovoljno uglja krupnoće -30+0mm za sagorevanje i mazuta za potpaljivanje kotlova; kao i odvođenje dimnih gasova iz kotla i transport ostataka sagorevanja.

Radna jedinica Toplana se sastoji iz pet međusobno povezanih proizvodnih celina:

- a) Kotlarnica
- b) Sistem dopreme čvrstog i tečnog goriva
- c) HPV - postrojenje za hemijsku pripremu vode
- d) HPT - sistem hidropneumatskog transporta pepela i šljake
- e) TPS - toplotna podstanica sistema daljinskog grejanja Lazarevca

Kotlarnica-kotlovsko postrojenje sastoji se iz 2 identična kotla, proizvodnje 2x70t/h pregrejane pare pritiska  $p=59$  bar i temperature  $t=450^{\circ}\text{C}$ . Napojna voda je temperature  $t=160^{\circ}\text{C}$  i pritiska  $p=80\text{bar}$ .

Kotao je parni, ozračeni sa prirodnom cirkulacijom vode, a viseće je konstrukcije, tako da celokupno opterećenje prenosi preko stubova čelične konstrukcije na temelj kotla.

Parni kotao je izveden kao jednodobošni, ozračeni, viseći, sa prirodnom cirkulacijom vode. Kotlovi su jako ekranisani sa velikom zapreminom ložišnog prostora. Visina ložišta kao i položaj osi gorionika ugljenog praha omogućava dobro sagorevanje čestica uglja u letu. U samom ložištu kotla predviđen je topli pojas. Na dnu ložišta kotla smeštena je rešetka za dogorevanje onih čestica uglja koje nisu sagorele u prostoru ložišta. Kotao ima dva pregrejača pare, predisparivač (dva paketa), zagrejač vode (dva paketa), cevni zagrejač vazduha. Hladnjak pare sa direktnim ubrizgavanjem postavljen je na vrhu kotla. U bubnju kotla je smešten separacioni uređaj za odvajanje kapi vode iz sveže pare. Cirkulaciono kolo ložišta je izvedeno posebnim padnim cevima, koje su van kotla, čime je dobijen maksimalan efekat prirodne cirkulacije vode.

Kotao je snabdeven svom potrebnom finom i grubom armaturom, kao i potrebnom armaturom. Prostorom kotla uvek postoji recirkulacija toplih gasova iz ložišta kotla, koji se uvode u mlinove radi sušenje vlažnog uglja.

Za regulaciju temperature pregrejane pare služi hladnjak sa direktnim ubrizgavanjem napojne kotlovske vode. Pregrejana para iz pregrejača 1 u hladnjaku pare se hladi sa napojnom kotlovskom vodom i takva para ulazi u pregrejač 2 iz kojeg odlazi u izlaznu flašu i dalje ka potrošaču.

Ložište kotla je tako ekranisano da omogućava dobro sagorevanje uglja bez dodatnog sagorevanja mazuta čak i pri tehničkom minimumu. Cirkulaciono kolo ložišta izvedeno je negrejanim spusnim cevima, čime je ostvarena prirodna cirkulacija. Na dnu ložišta je postavljena rešetka za dogorevanje nesagorelih čestica uglja, a ispod ove smešten je mokri odšljakivač. Na kraju ložišta nalazi se cevna mreža I, a iza nje pregrejač pare I. Idući dalje u smeru kretanja gasova nalazi se cevna mreža II i pregrejač pare II.

Regulacija temperature pregrejane pare vrši se automatski, ubrizgavanjem napojne vode u hladnjak pare smešten između prvog i drugog stepena pregrejača.

Svež vazduh uzima se ispod tavanice kotlarnice i pomoću ventilatora ubacuje u zagrejač vazduha, preko parnog predgrejača vazduha. Topao vazduh raspoređuje se na kanale tople recirkulacije, gorionike ugljene prašine i ložnog ulja i na rešetku za dogorevanje.

Čišćenje kotla od čađi u zoni predgrejača vrši se parnim rotacionim duvačima čađi a zadnji trakt čisti se metalnom sačmom, koja se pneumatski transportuje iz prihvatnog levka sa dna zadnjeg trakta na vrh kotla, gde je smešten ejektorski uređaj.

Dimne gasove iz kotla isisavaju dva ventilatora dimnih gasova i transportuju ih preko elektrofiltera kroz dimnjak u okolinu.

Ugalj se doprema iz pogona Mokre separacije i Suve separacije i skladišti u bunkere zapremine 1000 m<sup>3</sup>, granulacije -30+0 mm.

Ispred kotla postavljena su dva ventilatorska mlina za ugalj. Mlin se sastoji iz oklopljenog limenog kućišta u kome se vrti udarno kolo snabdeveno udarnim pločama. Mlin preko zaletne spojnice dobija pogon od elektromotora sa kratko-spojenim rotorom. Mlinovi tipa „N” su namenjeni vlažnim ugljevima. Rade sa usisnim vrelin gasovima i sa velikim učešćem nosećeg gasa u odnosu na masu goriva. Prethodno, u kanalu tople recirkulacije delimično osušen ugalj zajedno sa vrelin gasovima pada u mlin. Temperatura ove mešavine kreće se u granicama od 600-700°C. U mlinu, pri mlevenju ugalj se dalje suši. Iz mlina izlazi aero smeša čija se temperatura reguliše na 180°C, dodavanjem toplog vazduha ispred mlina, u kanalu tople recirkulacije.

Sistem dopreme čvrstog i tečnog goriva. Ugalj se doprema iz pogona mokre separacije ili suve separacije (T-331;T-332; T-307) trakom T-308, T-335, T-336 (reverzibilni) i skladišti u bunkere (ukupno V= 1000m<sup>3</sup>) granulacije -30–0mm.

Pokretanje kotla se vrši pomoću potpornog goriva srednje teškog mazuta. Iz hladnog stanja do stanja distribucije pare potrebno je oko 2,5h. U mazutnoj stanici nalazi se cisterna za skladištenje mazuta (V= 100m<sup>3</sup>) i sistem za pripremu tečnog goriva za potpalu kotla.

HPV - vrši pripremu napojne kotlovske vode (demineralizovane) kao i pripremu rashladne vode (dekarbonizovane). Kapacitet HPV-a je 3 x 60m<sup>3</sup>/h napojne vode. Tokovi vode: ulaz vode sa vodozahvata (reka Kolubara), preko grubog taložnika (akcelatora), pešćanih filtera i najzad preko jonoizmenjivačkih kolona (anjonski + katjonski + mešoviti jono filteri) biva pripremljena za upotrebu.

HPT - sistem hidropneumatskog transporta pepela i šljake

Ostaci sagorevanja su: pepeo 19%, šljaka i pesak 13%. Odvajanje pepela iz dimnih gasova na izlasku iz kotla vrši se sa 99% prečišćavanja preko el. filtera (eleks).

Pepeo i šljaka se transportuju hidrosistemom i sistemom cevovoda dugim 6km, pomoću bager pumpi (-6 m). Bager pumpe su centrifugalne pumpe sa izuzetnom otpornošću radnog kola i statora na abraziju ( $Q = 2 \times 60\text{m}^3/\text{h}$  pri radu oba kotla).

TPS - Toplotna podstanica služi za predaju toplotne energije pare sistemima grejanja Lazarevca preko izmenjivača toplote para – voda. Sastoji se iz 4 izmenjivača kapaciteta 29075kW, cirkulacionih pumpi i sistema za održavanje pritiska, tzv. diktir pumpi.

## 2.3 Karakteristike pepela i šljake

Sagorevanjem oko 220 000 tona uglja godišnje u toplani, produkuje se prosečno oko 28 820 tona pepela, za koji je na godišnjem nivou potrebno oko 40 000 m<sup>3</sup> akumulacionog prostora.

*Tabela 2.1: Podaci o radu Toplane na godišnjem nivou*

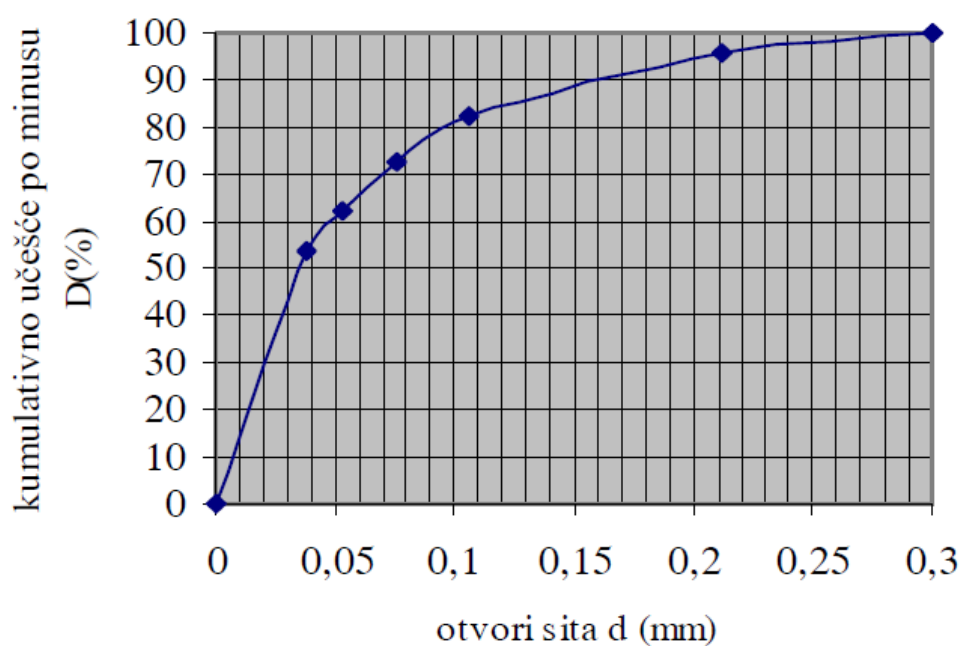
| Godina                                                                                            | 2010  | 2011  | 2012  | 2013   | 2014   | 2015   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Potrošnja uglja (t/god)                                                                           |       |       |       | 217004 | 188059 | 211197 |
| Potrošnja mazuta (t/god)                                                                          |       |       |       | 139    | 148    | 187    |
| Prosečan sadržaj pepela u uglju                                                                   |       |       |       | 15,7%  | 15,0%  | 16,4%  |
| Donja toplotna moć uglja (kJ/kg)                                                                  |       |       |       | 8073   | 7810   | 7560   |
| Donja toplotna moć mazuta (kJ/kg)                                                                 |       |       |       | 40700  | 40700  | 40750  |
| Elektro-filterski pepeo (t/god)                                                                   | 20966 | 21484 | 24046 | 19082  | 14228  | 18644  |
| Šljaka i pepeo sa rešetke za dogorevanje, ispod levka na dnu II trakta i ispod pregrejača (t/god) | 3343  | 5865  | 4591  | 14988  | 13981  | 12503  |
| Ukupno pepela i šljake na godišnjem nivou (t/god)                                                 | 24309 | 27349 | 28637 | 34070  | 28209  | 31147  |

## 2.4 Fizičko-hemijske karakteristike pepela i šljake sa deponije u Medoševcu

U cilju određivanja sastava pepela i šljake rađena je kompletna fizičko-hemijska karakterizacija pepela i šljake sa deponije u Medoševcu. Na uzetim uzorcima KU1, KU2 i KU3 urađena je granulometrijska analiza, koja je prikazana u narednim tabelama, kao i na slikama. Takođe za navedena tri uzorka određena je nasipna masa i specifična težina.

Tabela 2.2: - Granulo sastav uzorka KU1

| Otvori sita mm | W%    | R%     | D%     |
|----------------|-------|--------|--------|
| -0.300+0.212   | 2.50  | 2.50   | 100.00 |
| -0.212+0.106   | 10.50 | 13.00  | 97.50  |
| -0.106+0.075   | 11.00 | 24.00  | 87.00  |
| -0.075+0.053   | 9.50  | 33.50  | 76.00  |
| -0.053+0.038   | 8.50  | 42.00  | 66.50  |
| -0.038+0.000   | 58.00 | 100.00 | 58.00  |

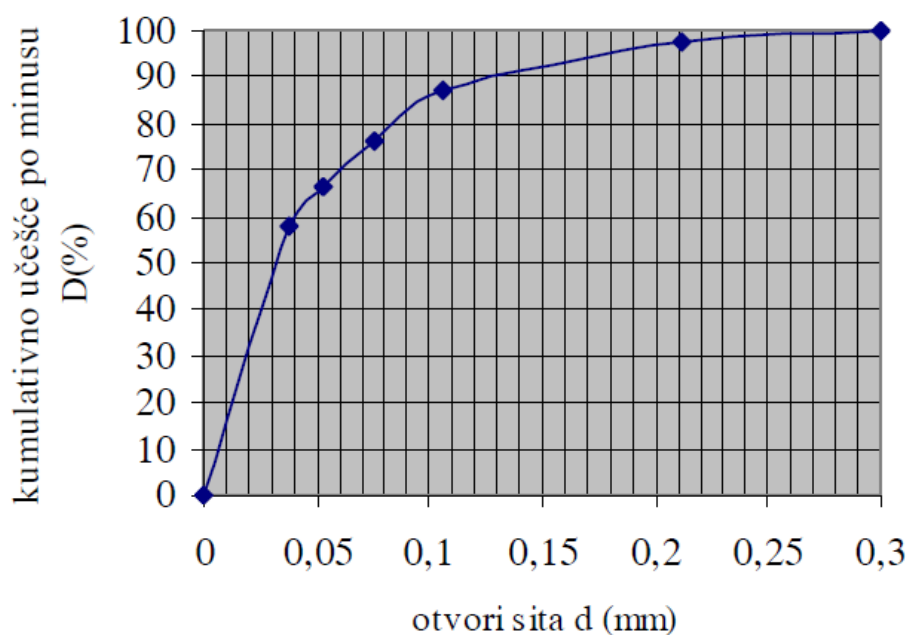


Slika 2.3: Granulometrijski sastav uzorka KU1



Tabela 2.3: Granulo sastav uzorka KU2

| Otvori sita mm | W%   | R%     | D%     |
|----------------|------|--------|--------|
| -0.300+0.212   | 4.00 | 4.00   | 100.00 |
| -0.212+0.106   | 13.5 | 17.5   | 96.0   |
| -0.106+0.075   | 10.0 | 27.5   | 82.0   |
| -0.075+0.053   | 10.0 | 37.5   | 72.5   |
| -0.053+0.038   | 9.00 | 46.5   | 62.5   |
| -0.038+0.000   | 53.5 | 100.00 | 53.5   |

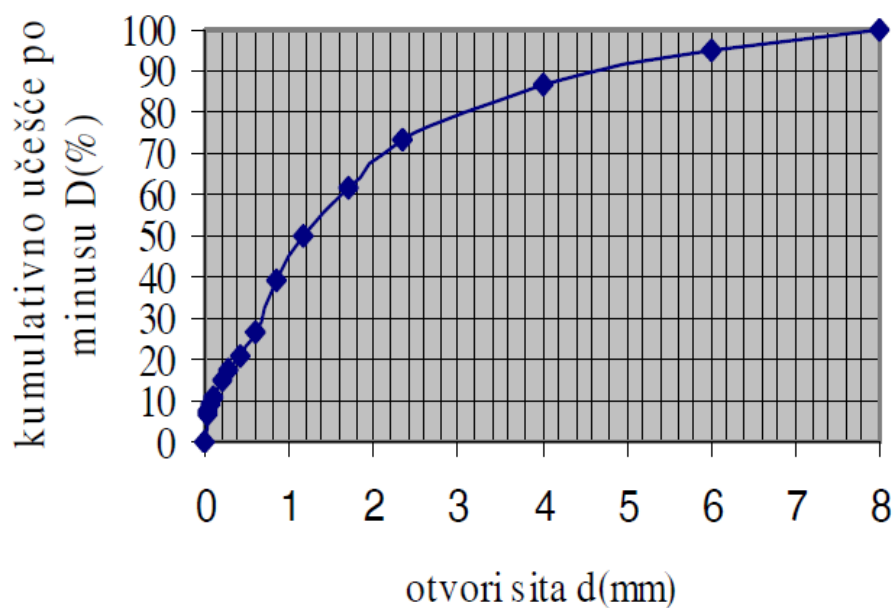


Slika 2.4: Granulometrijski sastav uzorka KU2

Tabela 2.4: Granulo sastav uzorka KU3

| Otvori sita mm | W%    | R%    | D%    |
|----------------|-------|-------|-------|
| -8.00+6.00     | 5.00  | 5.00  | 100.0 |
| -6.00+4.00     | 8.60  | 13.60 | 95.00 |
| -4.00+2.360    | 13.40 | 27.00 | 86.40 |
| -2.360+1.700   | 11.00 | 38.00 | 73.00 |
| -1.700+1.180   | 12.00 | 50.00 | 62.00 |
| -1.180+0.850   | 10.80 | 60.80 | 50.00 |
| -0.850+0.600   | 12.60 | 73.40 | 39.20 |
| -0.600+0.425   | 5.60  | 79.00 | 26.60 |
| -0.425+0.300   | 3.60  | 82.60 | 21.00 |
| -0.300+0.212   | 2.60  | 85.20 | 17.40 |
| -0.212+0.106   | 3.80  | 89.00 | 14.80 |
| -0.106+0.075   | 1.80  | 90.80 | 11.00 |
| -0.075+0.053   | 1.40  | 92.20 | 9.20  |
| -0.053+0.038   | 1.00  | 93.20 | 7.80  |
| -0.038+0.000   | 6.80  | 100.0 | 6.80  |





Slika 2.5: Granulometrijski sastav uzorka KU3

Tabela 2.5: Nasipna masa i specifična težina pepela i šljake

|                                             | KU1   | KU2   | KU3   | Srednja<br>vrednost |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------|
| Nasipna masa uzorka<br>(g/dm <sup>3</sup> ) | 498,4 | 516,0 | 522,4 | 512,3               |
| Specifična težina (kg/dm <sup>3</sup> )     | 2,06  | 2,33  | 1,88  | 2,09                |

Kompletna hemijska karakterizacija čvrstog reprezentativnog uzorka pepela i šljake, prikazana je u narednoj Tabeli.

U pepelu je određen sadržaj sledećih makro i mikro elemenata:

Makro elementi: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P, SO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ZnO;

Mikro elementi: Th, U, Zn, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, B, Sr, Ba, Mn, V, Be, Cd, As, Se, Hg, Cl<sup>-</sup>.

Osim navedenih određivanja u pepelu i šljaci se još može određivati sadržaj vlage kao i pH vrednost čvrste faze.

Tabela 2.6: Sadržaj makro i mikro elemenata u pepelu i šljaci sa deponije u Medoševcu

| <i>Elementi</i>                | <i>Pepeo</i> | <i>Metode</i> |
|--------------------------------|--------------|---------------|
| <b>Makro (%)</b>               |              |               |
| SiO <sub>2</sub>               | 45.4         | G             |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18.8         | AAS           |
| CaO                            | 8.03         | AAS           |
| MgO                            | 2.30         | AAS           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.85         | AAS           |
| S                              | 0.50         | G             |
| K <sub>2</sub> O               | 1.09         | AES           |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.20         | AES           |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.67         | ICP-AES       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.03         | ICP-AES       |
| Fe                             | 6.20         | AAS           |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.02         | ICP-AES       |
| P                              | 0.01         | R             |
| SO <sub>3</sub>                | 1.25         | R             |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | 1.50         | R             |
| ZnO                            | 0.02         | R             |
| <b>Mikro (ppm)</b>             |              |               |
| Th                             | 38           | XRFA          |
| U                              | 12           | XRFA          |
| Zn                             | 22           | AAS           |
| Cu                             | 17           | AAS           |
| Co                             | 24           | ICP-AES       |
| Cr                             | 17           | ICP-AES       |
| Ni                             | 14           | ICP-AES       |
| Pb                             | 21           | AAS           |
| B                              | 43           | ICP-AES       |
| Sr                             | 29           | ICP-AES       |
| Ba                             | 57           | ICP-AES       |
| Mn                             | 85           | ICP-AES       |
| V                              | 16           | ICP-AES       |
| Be                             | 1            | ICP-AES       |
| Cd                             | < 10         | ICP-AES       |
| As                             | 20           | GF-AAS        |
| Se                             | < 1          | GF-AAS        |
| Hg                             | 0.7          | ASS-Hg        |
| Cl <sup>-</sup>                | < 50         | PO            |

Prethodno prikazane analize pepela i šljake su preuzete iz Plana upravljanja otpadnim pepelom i šljakom u Toplani u Vreocima.

## 2.5 Eksperimentalno utvrđivanje karakteristika pepela, šljake, i jalovine

Predmet ispitivanja je uzorkovanje i ispitivanje pepela i šljake sa deponije u Medoševcu i jalovine sa površinskog kopa.

Pepeo i šljaka se generišu u postupku sagorevanje uglja u RJ Toplana – Vreoci; Organizaciona celina Prerada dok jalovina nastaje u toku eksploatacije uglja na površinskom kopu Ogranka RB Kolubara.

Tabela 2.7: Podaci o uzetim uzorcima

| Red. br.                        | Oznaka uzorka              | Vrsta uzorka                                                                                 | GPS                                         |              |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------|
|                                 |                            |                                                                                              | N                                           | E            |
| 1.                              | 1907/16 240-1              | Pepeo i šljaka                                                                               | 44°25'33,25"                                | 20°17'52,25" |
| 2.                              | 1907/16 240-2              |                                                                                              | 44°25'35,11"                                | 20°17'53,04" |
| 3.                              | 1907/16 240-3              |                                                                                              | 44°25'36,13"                                | 20°17'53,17" |
| 4.                              | 1907/16 240-4              |                                                                                              | 44°25'34,18"                                | 20°17'50,14" |
| 5.                              | 1907/16 240-5              |                                                                                              | 44°25'34,21"                                | 20°17'50,17" |
| 6.                              | 1907/16 240-6              |                                                                                              | 44°25'34,21"                                | 20°17'50,19" |
| 7.                              | 1907/16 240-7              | Jalovina                                                                                     | 44°25'09,71"                                | 20°19'06,31" |
| 8.                              | 1907/16 240-8              |                                                                                              | 44°25'11,13"                                | 20°19'02,16" |
| 9.                              | 1907/16 240-9              |                                                                                              | 44°25'09,26"                                | 20°19'04,88" |
| 10.                             | 1907/16 240-10             |                                                                                              | 44°25'12,04"                                | 20°19'15,23" |
| 11.                             | 1907/16 240-11             |                                                                                              | 44°24'48,36"                                | 20°19'35,56" |
| 12.                             | 1907/16 240-12             |                                                                                              | 44°25'09,96"                                | 20°19'05,93" |
| ATMOSFERSKI USLOVI              | Spoljna temperatura        |                                                                                              | 24 °C                                       |              |
|                                 | Relativna vlažnost vazduha |                                                                                              | 61 %                                        |              |
|                                 | Brzina vetra               |                                                                                              | 5,8 m/s                                     |              |
|                                 | Atmosferski pritisak       |                                                                                              | 1019 mbar                                   |              |
|                                 | Vidljivost                 |                                                                                              | dobra                                       |              |
|                                 | Padavine                   |                                                                                              | nema                                        |              |
| OPIS I STANJE UZORAKA:          |                            |                                                                                              | neporemećeni uzorci sa dubine od cca 30 cm. |              |
| IDENTIFIKACIONI BROJEVI UZORAKA | PEPEO I                    | 1907/16-240-1, 1907/16-240-2, 1907/16-240-3,                                                 |                                             |              |
|                                 | ŠLJAKA                     | 1907/16-240-4, 1907/16-240-5, 1907/16-240-6                                                  |                                             |              |
|                                 | JALOVINA                   | 1907/16-240-7, 1907/16-240-8, 1907/16-240-9, 1907/16-240-10, 1907/16-240-11, 1907/16-240-12. |                                             |              |

*Tabela 2.8: metode uzorkovanja i ispitivanja*

|                             |                                                                                                                                                          |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 10381-1:2002            | Kvalitet zemljišta – Uzimanje uzoraka – Deo 1: Smernice za izradu programa uzimanje uzoraka;                                                             |
| ISO 10381-2:2002            | Kvalitet zemljišta – Uzimanje uzoraka – Deo 2: Smernice za tehnike uzimanja uzoraka;                                                                     |
| ISO 10381-5:2005            | Kvalitete zemljišta – Uzimanje uzoraka – Deo 5: Smernice za proceduru istraživanja urbanih i industrijskih lokacija u odnosu na kontaminaciju zemljišta; |
| ISO 18512:2007              | Kvalitete zemljišta – Smernice za kratkotrajno i dugoročno čuvanje uzoraka zemljišta.                                                                    |
| SRPS ISO 11465:2002         | Kvalitet zemljišta - Određivanje sadržaja suve materije i vode u obliku masene frakcije - gravimetrijska metoda;                                         |
| SRPS EN 13137:2005 metoda B | Određivanje ukupnog organskog ugljenika u otpadu, muljevima i sedimentu;                                                                                 |
| SRPS CEN/TS 16170:2013      | Mulj, tretirani biootpad i zemljište – Određivanje elemenata indukovanom kuplovanom plazmom ICP/OES;                                                     |
| SRPS EN ISO 11885:2011      | Kvalitet vode – Određivanje elemenata indukovanom kuplovanom plazmom ICP/OES;                                                                            |
| EPA 200.7:1994              | Određivanje elemenata indukovanom-kuplovanom plazmom ICP/OES-određivanje žive (Hg)                                                                       |
| DM-34-700                   | Zemljište – Određivanje pH vrednosti – potenciometrijski;                                                                                                |
| DM-34-701                   | Zemljište – Određivanje gubitka žarenjem – gravimetrijski                                                                                                |
| DM-34-702                   | Zemljište – Određivanje sadržaja ukupnog azota – hemiluminescencijski;                                                                                   |
| DM-34-711                   | Zemljište – Određivanje sadržaja lakopristupačnog $P_2O_5$ po Enger i Riehmu – spektrofotometrijski;                                                     |
| DM-34-702                   | Zemljište – Određivanje lakopristupačnog $K_2O$ po Enger i Riehmu – atomska apsorpciona spektrometrija                                                   |
| DM-34-417                   | PPO voda – Određivanje nitrata – spektrofotometrijski                                                                                                    |
| DM-34-416                   | PPO voda – Određivanje nitrita – spektrofotometrijski                                                                                                    |

– Odstupanja, dopuna ili izuzimanja u odnosu na navedene metode uzorkovanja i ispitivanja nije bilo.

– Merna nesigurnost prikazana u tabelama uz izmerene vrednosti je proširena merna nesigurnost izračunata sa nivoom poverenja od 95% (faktor pokrivenosti  $k = 2$ ).



1907/16 240-1



1907/16 240-2



1907/16 240-3



1907/16 240-4



1907/16 240-5



1907/16 240-6

*Slika 2.6: Fotografije sa uzorkovanja pepela i šljake*



1907/16 240-7



1907/16 240-8



1907/16 240-9



1907/16 240-10





1907/16 240-11



1907/16 240-12

Slika 2.7: Fotografije sa uzorkovanja jalovine

Tabela 2.9: Izmerene vrednosti sa mernom nesigurnošću

| Ispitivani parametar     |                 | Jed.  | Izmerena vrednost ± merna nesigurnost |                  |                  |                  |                  |                  |
|--------------------------|-----------------|-------|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                          |                 |       | 1907/16<br>240-1                      | 1907/16<br>240-2 | 1907/16<br>240-3 | 1907/16<br>240-4 | 1907/16<br>240-5 | 1907/16<br>240-6 |
| Glina                    | (≤ 0,002 mm)    | %     | 6                                     |                  |                  |                  |                  |                  |
| Prašina                  | (0,002-0,03 mm) | %     | 68                                    |                  |                  |                  |                  |                  |
| Sitan pesak              | (0,06-0,2 mm)   | %     | 21                                    |                  |                  |                  |                  |                  |
| Srednji pesak            | (0,2-0,6 mm)    | %     | 3                                     |                  |                  |                  |                  |                  |
| Krupan pesak             | (0,6-2 mm)      | %     | 2                                     |                  |                  |                  |                  |                  |
| Sitan šljunak            | (2-6 mm)        | %     | 0                                     |                  |                  |                  |                  |                  |
| Srednji šljunak          | (6-20 mm)       | %     | 0                                     |                  |                  |                  |                  |                  |
| Krupan šljunak           | (20-60 mm)      | %     | 0                                     |                  |                  |                  |                  |                  |
| Drobina                  | (>60 mm)        | %     | 0                                     |                  |                  |                  |                  |                  |
| Suva materija            |                 | %     | 77,6±15,5                             | 84,9±17          | 79,9±16          | 85,2±17          | 86,7±17,3        | 86,6±17,7        |
| Voda                     |                 | %     | 22,4±4,5                              | 15,1±3           | 20,1±4,0         | 14,8±3,0         | 13,3±2,7         | 11,4±2,3         |
| Gubitak žarenjem (550°C) |                 | %     | 7,6±1,5                               | 7,9±1,6          | 8,4±1,7          | 6,5±1,3          | 8,5±1,7          | 7,4±1,5          |
| Ukupan azot              |                 | %     | 0,05±0,01                             | 0,06±0,02        | 0,07±0,02        | 0,06±0,02        | 0,05±0,01        | 0,07±0,02        |
| pH u KCl                 |                 | -     | 8,1±1,2                               | 9,6±1,4          | 10,2±1,5         | 9,2±1,4          | 10,3±1,5         | 9,7±1,5          |
| TOC                      |                 | %     | 5,1±1,5                               | 5,7±1,6          | 5,0±1,4          | 4,4±1,2          | 3,8±1,1          | 4,4±1,2          |
| Ukupani metali           | Cr              | mg/kg | 104,9±29,4                            | 96,7±27,1        | 100,1±28,0       | 86,8±24,3        | 83,1±23,3        | 81,8±22,9        |
|                          | Ni              | mg/kg | 74,3±19,3                             | 69,5±18          | 0,7±0,2          | 65,1±16,9        | 70,8±18,4        | 75,9±19,7        |
|                          | Pb              | mg/kg | <0,7                                  | 2,3±0,7          | 1,7±0,8          | 13,9±4           | 96,8±28,1        | 10,5±3           |
|                          | Cu              | mg/kg | 40,3±11,7                             | 46,4±13,4        | 5,9±1,6          | 46,4±13,4        | 516,2±149,7      | 45,1±13,1        |
|                          | Zn              | mg/kg | 34,5±12,7                             | 31,4±11,6        | 2,5±0,7          | 319,4±118,2      | 1462±541         | 46,3±17,1        |

|                                  |                               | Izmerena vrednost ± merna nesigurnost |                  |                  |                  |                  |                  |            |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|
| Ispitivani parametar             | Jed.                          | 1907/16<br>240-1                      | 1907/16<br>240-2 | 1907/16<br>240-3 | 1907/16<br>240-4 | 1907/16<br>240-5 | 1907/16<br>240-6 |            |
|                                  | Cd                            | mg/kg                                 | 1,1±0,4          | 0,5±0,16         | 0,08±0,02        | 0,6±0,2          | 3,6±1,2          | 0,5±0,2    |
|                                  | Hg                            | mg/kg                                 | <0,1             | <0,1             | <0,1             | <0,1             | <0,1             | <0,1       |
|                                  | B                             | mg/kg                                 | Napomena         |                  |                  |                  |                  |            |
|                                  | As                            | mg/kg                                 | 31,7±12          | 55,3±21          | 2,2±0,6          | 32,2±12,3        | 62,6±23,8        | 3,3±0,9    |
|                                  | Fe                            | mg/kg                                 | 53               | 42               | 38               | 34               | 32               | 33         |
|                                  |                               |                                       | 869±14006        | 903±11155        | 698±10051        | 297±8917         | 309±8400         | 591±8734   |
| Lakopristupačni oblici elemenata | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | mg/kg                                 | 7,2±1,1          | 7,7±1,2          | 7,7±1,2          | 6,1±0,9          | 8,2±1,2          | 7,2±1,1    |
|                                  | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | mg/kg                                 | 1,7±0,2          | 1,1±0,1          | 1,1±0,1          | 1,1±0,1          | 1,1±0,1          | 0,3±0,03   |
|                                  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | mg/kg                                 | 13,3±1,5         | 6,9±0,8          | 16,9±1,9         | 11,2±1,2         | 12,5±1,4         | 5,8±0,6    |
|                                  | K <sub>2</sub> O              | mg/kg                                 | 92,8±26,9        | 114,9±33,3       | 113,1±32,8       | 87,4±25,4        | 96,2±27,9        | 96,2±27,9  |
|                                  | Cr                            | mg/kg                                 | 3,1±0,8          | 1,5±0,4          | 1,7±0,5          | 3,6±1,0          | 1,7±0,5          | 0,51,7     |
|                                  | Ni                            | mg/kg                                 | 4,0±1,0          | 0,8±0,2          | 0,7±0,2          | 4,9±1,3          | 2,0±0,5          | 2,0±0,5    |
|                                  | Pb                            | mg/kg                                 | 1,7±0,5          | 1,3±0,4          | 1,7±0,5          | 1,6±0,5          | 1,4±0,4          | 1,5±0,5    |
|                                  | Cu                            | mg/kg                                 | 10,6±2,8         | 5,4±1,5          | 5,9±1,6          | 10,3±2,8         | 6,9±1,9          | 6,3±1,7    |
|                                  | Zn                            | mg/kg                                 | 4,8±1,4          | 2,1±0,6          | 2,5±0,7          | 3,5±1,0          | 5,3±1,5          | 2,9±0,8    |
|                                  | Cd                            | mg/kg                                 | 0,3±0,09         | 0,03±0,008       | 0,08±0,02        | 3,0±0,8          | 0,2±0,05         | 0,2±0,1    |
|                                  | Hg                            | mg/kg                                 | <0,009           | <0,009           | <0,009           | <0,009           | <0,009           | <0,009     |
|                                  | B                             | mg/kg                                 | 2,3±0,7          | 2,0±0,6          | 10,0±2,9         | 1,7±0,5          | 1,8±0,5          | <0,05      |
|                                  | As                            | mg/kg                                 | 7,0±2,0          | 2,3±0,6          | 2,2±0,6          | 7,2±2,0          | 3,1±0,8          | 3,3±0,9    |
|                                  | Fe                            | mg/kg                                 | 444,6±106,7      | 135,7±32,6       | 182,4±43,8       | 522,3±125,4      | 93,1±22,4        | 113,1±27,2 |

Tabela 2.10: Izmerene vrednosti sa mernom nesigurnošću

|                            |      | Izmerena vrednost ± merna nesigurnost |                   |                   |                    |                    |                    |
|----------------------------|------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Ispitivani parametar       | Jed. | 1907/16 240-<br>7                     | 1907/16 240-<br>8 | 1907/16 240-<br>9 | 1907/16 240-<br>10 | 1907/16 240-<br>11 | 1907/16 240-<br>12 |
| Glina (≤ 0,002 mm)         | %    | 18                                    |                   |                   |                    |                    |                    |
| Prašina (0,002-0,03 mm)    | %    | 30                                    |                   |                   |                    |                    |                    |
| Sitan pesak (0,06-0,2 mm)  | %    | 25                                    |                   |                   |                    |                    |                    |
| Srednji pesak (0,2-0,6 mm) | %    | 20                                    |                   |                   |                    |                    |                    |
| Krupan pesak (0,6-2 mm)    | %    | 6                                     |                   |                   |                    |                    |                    |
| Sitan šljunak (2-6 mm)     | %    | 1                                     |                   |                   |                    |                    |                    |
| Srednji šljunak (6-20 mm)  | %    | 0                                     |                   |                   |                    |                    |                    |
| Krupan šljunak (20-60 mm)  | %    | 0                                     |                   |                   |                    |                    |                    |
| Drobina (>60 mm)           | %    | 0                                     |                   |                   |                    |                    |                    |
| Suva materija              | %    | 93,9±18,8                             | 88,5±17,7         | 94,4±18,8         | 96,6±19,3          | 89,8±18,0          | 91,9±18,4          |
| Voda                       | %    | 6,1±1,2                               | 11,5±2,3          | 6±1,2             | 3,4±0,7            | 10,2±2,0           | 8,1±1,6            |
| Gubitak žarenjem (550°C)   | %    | 8,0±1,6                               | 4,7±0,9           | 2,6±0,5           | 1,8±0,4            | 8,7±1,7            | 8,5±1,7            |
| Ukupan azot                | %    | 0,01±0,003                            | 0,01±0,003        | 0,03±0,01         | 0,01±0,003         | 0,04±0,01          | 0,04±0,01          |
| pH u KCl                   | -    | 8,8±1,3                               | 8,2±1,6           | 8,2±1,2           | 5,9±0,9            | 5,6±0,8            | 6,6±1,0            |

| Ispitivani parametar             |                               | Jed.  | Izmerena vrednost ± merna nesigurnost |                   |                   |                    |                    |                    |
|----------------------------------|-------------------------------|-------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                  |                               |       | 1907/16 240-<br>7                     | 1907/16 240-<br>8 | 1907/16 240-<br>9 | 1907/16 240-<br>10 | 1907/16 240-<br>11 | 1907/16 240-<br>12 |
| TOC                              |                               | %     | 0,01±0,003                            | 0,15±0,04         | 0,09±0,03         | 0,02±0,005         | 0,5±0,1            | 0,01±0,004         |
| Ukupani metali                   | Cr                            | mg/kg | 10,8±3,0                              | 54,9±15,4         | 12,4±3,5          | 28,3±7,9           | 58,6±16,4          | 20,4±5,7           |
|                                  | Ni                            | mg/kg | <0,45                                 | 23,2±6,0          | <0,45             | 0,4±0,1            | 30,9±8,0           | 6,0±1,5            |
|                                  | Pb                            | mg/kg | 51,1±14,8                             | 18,7±5,4          | 24,4±7,1          | 12,8±3,7           | 22,0±6,4           | 5,7±1,6            |
|                                  | Cu                            | mg/kg | 223,6±64,8                            | 22,6±6,5          | 59,0±17,2         | 2,7±0,8            | 72,9±21,1          | 9,9±2,9            |
|                                  | Zn                            | mg/kg | 819,3±300,9                           | 277,5±102,7       | 230,9±85,4        | 98,0±36,2          | 273,1±101,0        | 343,7±127,2        |
|                                  | Cd                            | mg/kg | 2,6±0,9                               | 0,9±0,3           | 0,9±0,3           | 0,09±0,03          | 1,0±0,3            | 3,2±1,0            |
|                                  | Hg                            | mg/kg | <0,1                                  | <0,1              | <0,1              | <0,1               | <0,1               | <0,1               |
|                                  | B                             | mg/kg | Napomena                              |                   |                   |                    |                    |                    |
|                                  | As                            | mg/kg | 20,7±7,9                              | 20,4±7,7          | 21,1±8,0          | <0,2               | 16,3±0,2           | 53,5±20,3          |
|                                  | Fe                            | mg/kg | 14 949±3887                           | 43 289±11255      | 10 249±2664       | 377,4±98,1         | 45 445±11816       | 65 368±16996       |
| Lakopristupačni oblici elemenata | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | mg/kg | 6,6±1,0                               | 3,8±0,6           | 2,8±0,4           | 0,6±0,1            | 2,2±0,3            | 2,7±0,4            |
|                                  | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | mg/kg | 0,3±0,03                              | <0,2              | <0,2              | <0,2               | <0,2               | <0,2               |
|                                  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | mg/kg | 1,2±0,1                               | 0,9±0,1           | 0,2±0,02          | 0,04±0,004         | 0,08±0,009         | 0,08±0,009         |
|                                  | K <sub>2</sub> O              | mg/kg | 87,3±25,3                             | 66,9±19,4         | 82,8±23,9         | 60,2±17,5          | 25,8±7,5           | 81,2±23,5          |
|                                  | Cr                            | mg/kg | 2,4±0,6                               | 0,5±0,1           | 0,8±0,2           | 0,6±0,2            | 0,8±0,2            | 0,8±0,2            |
|                                  | Ni                            | mg/kg | 0,9±0,2                               | 3,4±0,9           | 0,6±0,1           | 0,5±0,1            | 4,1±1,1            | 1,8±0,5            |
|                                  | Pb                            | mg/kg | 0,6±0,2                               | 3,5±1,1           | 2,1±0,6           | 1,2±0,4            | 3,0±0,9            | 0,5±0,2            |
|                                  | Cu                            | mg/kg | 4,4±1,2                               | 1,4±0,4           | 1,5±0,4           | 0,8±0,2            | 4,1±1,1            | 1,8±0,5            |
|                                  | Zn                            | mg/kg | 2,0±0,6                               | 0,2±0,06          | 0,2±0,04          | <0,039             | 0,1±0,03           | 0,7±0,2            |
|                                  | Cd                            | mg/kg | 0,03±0,007                            | <0,015            | <0,015            | <0,015             | <0,015             | <0,015             |
|                                  | Hg                            | mg/kg | <0,009                                | <0,009            | <0,009            | <0,009             | <0,009             | <0,009             |
|                                  | B                             | mg/kg | 2,8±0,8                               | 1,6±0,4           | 0,9±0,3           | 0,7±0,2            | 0,4±0,1            | 1,6±0,5            |
|                                  | As                            | mg/kg | <0,018                                | <0,018            | <0,018            | <0,018             | <0,018             | <0,018             |
|                                  | Fe                            | mg/kg | 750,8±180,2                           | 41,4±10,2         | 116,8±28,0        | 32,4±7,8           | 208,8±49,4         | 310,1±74,4         |

Napomena: zbog velikog sadržaja gvožđa u uzorcima, koji stvara smetnje prilikom određivanja, sadržaj bora nije moguće odrediti.



### 3 Trenutna praksa odlaganja pepela i šljake

Ukupna količina pepela i šljake, transportuje se hidrauličnim sistemom do deponije – taložnika kasete u Medoševcu. Na slici ispod je prikazana deponija u Medoševcu, koja se sastoji iz dva polja, međusobno odvojena pregradnom branom.



*Slika 3.1: Izgled deponije u Medoševcu*

Šljaka i pepeo koji nastaju u kotlu transportuju se uz pomoć hidropneumatskog transportnog uređaja i to na deponiju. Hidropneumatski transportni uređaj se sastoji od sledećih glavnih delova:

- Uređaj za sakupljanje pepela ispod E-filtera
- Uređaj za spiranje šljake nastale u ložištu
- Uređaj za sakupljanje krupnijih čestica iz dimnih kanala ispred E-filtera (injektor)
- HP-stanica sa bagerskim pumpama i transportnim rezervoarima
- Kompresorska stanica
- Pumpna hala za vodu za ispiranje
- Transportni vodovi
- Pumpna hala za povratnu vodu i vodovi za povratnu vodu.

### 3.1 Priprema pepela i šljake

Posle rešetke za dogorevanje, na dnu kotlovskog ležišta, šljaka upada u mokri odšljakivač. Lančani podvodni grebač izvlači šljaku i ubacuje je u drobilicu za šljaku. Izdrobljena šljaka, sortirana na krupnoću -10+0 mm, ispira se vodom pod pritiskom.

Izdrobljena šljaka upada direktno u kanal, koji se nalazi na podu kotlarnice. Kanal je otvoren i direktno je vezan sa bazenom za šljaku. Na slici ispod je prikazan početak kanala, odnosno njegov deo ispod drobilice za šljaku gde se dodaje i spirna voda, koja omogućava gravitacijsko kretanje izdrobljene šljake kroz kanal do bager jame. Zapremina bager jame iznosi oko 200m<sup>3</sup>. Betonski kanal za gravitacijski transport izdrobljene šljake je u blagom padu (oko 3%) u pravcu bager jame.



*Slika 3.2: Drobolica za šljaku*



*Slika 3.3: Izlaz iz drobilice za šljaku – početak kanala*

### 3.2 Priprema i skladištenje elektrofilterskog pepela

Pepeo se sakuplja u bunkerima na dnu elektrofiltera. Odatle se dozira u pneumatske kanale preko klapni sa protivtegom. Kanali za transport pepela imaju lažno dno u vidu filcane pregrade. Ispod filcane pregrade struji vazduh iz visokopritisnog ventilatora, a tečenje pepela se odvija sa gornje strane filcanog dna. Pepeo se usmerava u bunkere za pepeo, kojih ima dva. Bunker za pepeo takođe imaju lažno dno od filca.

### 3.3 Hidrotransport pepela i šljake od toplane do deponije

Osnovna koncepcija hidrauličkog transporta elektrofilterskog pepela i šljake iz oba kotla toplane u Vreocima do deponije u Junkovcu, postavljena je još daleke 1977 godine. Pepeo i šljaka se od

2008 godine, više ne deponuju u Junkovcu, već se za to koristi novoizgrađena deponija, locirana u Medoševcu.

Do promene tehnološke šeme transporta i odlaganja pepela i šljake iz toplane u Vreocima je došlo usled širenja površinskog kopa Polja "D", a u skladu sa projektnom dokumentacijom sadržanom u Dopunskom rudarskom projektu PK Polja "D" i Studiji izbora otvaranja PK polja E. Iz navedenih razloga deo trase za transport hidromešavine pepela, šljake i vode do Junkovca je promenjen, tako da se za dalje deponovanje pepela i šljake koristi novoizgrađena deponija. U tu svrhu je projektovana i izgrađena nova privremena lokacija za deponovanje pepela i šljake u Medoševcu.

Mešavina pepela, izdrobljene šljake i vode se iz zajedničkog bazena, potiskuje transportnim pumpama - tzv. bager pumpama (radna + rezervna) u cevovod. Postavljena su dva cevovoda, od kojih su povremeno u radu i oba. Maseni odnos pepela i šljake i vode iznosi 1 : 8, što znači da na jednu masenu jedinicu pepela i šljake dolazi 8 masenih jedinica vode.

Osnovne karakteristike bager pumpi koje se koriste za hidrotransport od toplane u Vreocima do deponije u Medoševcu su:

- Tip pumpe: HSP 412 (KHD);
- Elektromotor tip: RZ 280M-4;
- Snaga EM:  $P_m = 90 \text{ kW}$ ;
- Broj obrtaja EM:  $n_m = 1450 \text{ o/min}$ ;
- Protok:  $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $16,7 \text{ l/s}$ );
- Maksimalni napor pumpe:  $H = 120 \text{ mVs}$ .

Osnovne karakteristike zapornih pumpi koje rade u sprezi sa bager pumpama (svaka bager pumpa ima svoju zapornu pumpu) su:

- Tip pumpe: VPN 40-9 Jastrebac Niš;
- Snaga EM:  $P_m = 11 \text{ kW}$ ;
- Broj obrtaja EM:  $n_m = 2880 \text{ o/min}$ ;
- Protok:  $Q = 156\text{-}300 \text{ l/min}$ ;
- Napor pumpe:  $H = 153\text{-}99 \text{ mVs}$ .

Kako bi se omogućio što fleksibilniji rad i uvećalo vremensko iskorišćenje sistema za hidrotransport i deponovanje jalovine, pomoću račvi na cevovodima i pratećih ventila, moguće je priključiti svaku pumpu na bilo koji od postojeća dva potisna cevovoda.



*Slika 3.4: Bager pumpa sa potisnim cevovodom*



*Slika 3.5: Potisni cevovodi bager pumpi sa račvama i regulacionim ventilima*

### 3.4 Odlaganje pepela i šljake na deponiji u Medoševcu

Istakanje hidromešavine pepela i vode predviđeno je na dva mesta, sa svakog cevovoda nezavisno, kako u prvom polju tako i u polju 2.

Mesto istakanja pepela i šljake je locirano na suprotnoj strani u odnosu na prelivni organ za evakuaciju tehnološke vode. Na taj način je obezbeđeno najduže moguće rastojanje za taloženje pepela i šljake. Kako se sa prethodne slike može uočiti najkrupnije čestice pepela, a pre svega šljake se talože u neposrednoj blizini cevi za istakanje. U drugom delu polja 2 se formira taložno jezero, u kome se vrši taloženje finijih čestica. Taložno jezero je najdublje sa suprotne strane u odnosu na mesto istakanja, oko prelivnog kolektora.

Cevi za istakanje pepela i šljake su ubetonirane u betonsku šahtu, gde se nalaze regulacioni ventili, kojima se reguliše mesto i linija istakanja. Ukoliko su u radu obe bager pumpe moguće je da istakanje bude u jednom istom polju za obe pumpe, ili svaka pojedinačno u različitom polju.

Kada se oba polja napune pristupa se njihovom čišćenju i odvoženju materijala na lokaciju u kopu polja "D", na trajno deponovanje, saglasno važećem URP-u čišćenja kasete.

Hidrotransport povratne vode sa deponije do toplane u Vreocima

Za evakuaciju izbistrene tehnološke vode izgrađen je armirano-betonski vertikalni kolektor Ø500 mm, sa kružnim otvorima od Ø 10 cm, na visinskom među rastojanju od 20 cm. Sa napredovanjem - zapunjavanjem deponije i podizanjem nivoa pepela u njoj, ovi se otvori postepeno zatvaraju odgovarajućim drvenim čepovima.

Za prilaz vertikalnim drenažnim kanalima izgrađena su dva pontona (u svakom polju po jedan), širine oko 800 mm i dužine 2000 mm. Ponton je izrađen od dva čelična bureta ( $\varnothing 600$  mm), čeličnih profila i gazišta od dasaka, sa odgovarajućom ogradom sa obe strane gazišta. U zavisnosti od zapunjavanja i napredovanja deponije pontonski most se visinski podešava za pristup vertikalnim drenažnim kanalima odvoda prelivne vode.

Za prepumpavanje tehnološke vode od deponije u Medoševcu do bazena sirove vode, izgrađena je pumpna stanica sa dve centrifugalne pumpe (radna i rezervna sa EM 7,5 kW), neposredno uz novu deponiju pepela. Za spajanje pumpi za tehnološku vodu i stare trase cevovoda, montiran je novi cvovod  $\varnothing 100$  mm, koji je delom ukopan a delom na novoj čeličnoj konstrukciji, do mesta spajanja sa starom čeličnom konstrukcijom.

Za hidrotransport pepela i šljake od toplane do deponije u Medoševcu, potrebno je oko  $58 \text{ m}^3/\text{h}$  vode. Procena je da se nakon izbistrenja oko 90 % vode za ove potrebe vrati sa deponije novoizgrađenim sistemom, što iznosi oko  $52 \text{ m}^3/\text{h}$ . Sa ekološkog aspekta ovo predstavlja pozitivan napor Investitora jer se na taj način čuva i minimalno troši sveža voda iz rečnog vodozahvata.

Sa druge strane, zatvoren sistem i recirkulacija tehnološke vode je u ovom slučaju nužna i potrebna, jer tehnološka voda u sebi nosi rastvorene organske materije kao i teške metale, pa se kao takva i ne sme ispuštati u okolne vodotokove, bez prethodnog prečišćavanja.

### 3.5 Opis deponije pepela i šljake u Medoševcu

Potrošnja uglja u Toplani iznosi oko 220 000 tona godišnje. Nesagorive materije u uglju – pepeo i šljaka, variraju zavisno od kvaliteta uglja u opsegu od 11,5 do 14,7% u vlažnom uglju. Ukupna količina pepela i šljake, koju je potrebno transportovati hidrauličnim sistemom iznosi oko 25 300 do 32 340 tona godišnje.

Zapreminski prostor koji je potreban za odlaganje prosečne količine pepela od 28 820 tona godišnje i prosečne vrednosti nasipne mase pepela u zbijenom stanju od  $0,7 \text{ t/m}^3$ , iznosi oko  $41 000 \text{ m}^3$ . Proizvodnja nesagorivih materija koje nastaju pri radu jednog kotla iznosi 3,5 do 4,5 tona pepela na čas i 200 kg šljake na čas. Za njihov transport se koristi oko  $58 \text{ m}^3$  tehnološke vode na čas.

Imajući u vidu stanje zapunjenosti kasete, javlja se potreba da se istaloženi materijal izveze na novu lokaciju, čime bi se omogućio nastavak procesa deponovanja na ovoj lokaciji. U tom cilju potrebno je čišćenje kompletnog manjeg dela kasete i oko 60% većeg dela kasete. Čišćenje kasete



u Medoševcu se odvija prema važećem URP - Ovaj URP definiše sve faze počevši od čišćenja, utovara, transporta, odlaganja na novu lokaciju u polju D, uključujući i rekultivaciju odloženog materijala.



*Slika 3.6: Stara deponija u Medoševcu*

#### Konstrukcija i prostorni položaj taložnika

Kaseta istaloženog materijala nastalog kao produkt sagorevanja uglja u kotlovima Toplane (pepeo i šljaka), locirana je na obodu završne kosine južnog krila površinskog kopa Polja "D" iza okretene stanice žičare u ataru sela Medoševac. Istočno od taložnika nalazi se pruga Beograd – Bar i industrijska železnička pruga za TE „Nikola Tesla – Obrenovac“. Zapadno od taložnika nalazi se Ibarska magistrala.

Dno kasete je na srednjoj elevaciji K+122 m. Vrh nasipa kasete je na srednjoj elevaciji K+130 m. Dužina deponije je 240 metara, širina 60 metara i kompletno je obložena vodonepropusnom folijom debljine 2 mm.

**СИТУАЦИОННИ ПЛАН ТАЛОЖНИКА**

П. Сербия  
Град Београд  
К.О. Младеновац

Записи жирога српске

|   |            |            |
|---|------------|------------|
| 1 | 7444150.45 | 4023555.79 |
| 2 | 7444191.79 | 4023669.70 |
| 3 | 7444249.38 | 4023521.60 |
| 4 | 7444308.97 | 4023481.46 |
| 5 | 7444318.52 | 4023443.17 |
| 6 | 7444278.83 | 4023449.27 |
| 7 | 7444221.04 | 4023473.89 |
| 8 | 7444163.45 | 4023513.51 |

РАЗМЕР 1:2500

БЕОГРАД, фебруар 2014.  
П.Б. "Косовица" - дотација  
Својим пројектом - технички планови  
Томислав Милошевић Београд

## 4 Opšte karakteristike jalovišta

### 4.1 Karakteristike ležišta polja „D“

Ležište polje "D" je nepravilnog oblika. Duža osa ležišta je pravca pružanja istok- zapad i prosečno ima vrednost od oko 5,2 km, dok je kraća osa pravca pružanja jug- sever i prosečno ima vrednost od oko 1 km. Površina istražnog prostora ležišta polje "D" iznosi oko 5,2 km<sup>2</sup>.

Ugljeni sloj polja "D" predstavlja deo jedinstvene složene ugljonosne serije Kolubarskog ugljonosnog basena. Severna granica polja je prirodna granica isklinjenja ugljenog sloja i neproduktivnog dela "Volujak-Vreoci". Na zapadu se graniči sa poljem "G", jugu sa poljem "E" i na jugoistoku sa poljem "C". Posmatrano područje ležišta ravnomerno je istraženo u geološkom pogledu, kako u zoni kopa tako i u zoni projektovanih završnih kosina, i po gustini mreže i po dubini u terenu. Ležište je pokriveno mrežom istražnih radova 250 x 250 m, dok je istočni deo u mreži 125x125 m, a u severnom delu (granica isklinjenja) 62.5 x 62.5 m.

Ugljonosnu seriju izgrađuju sedimenti pliocenske starosti (gorwi pont). Podinski deo produktivne ugljonosne formacije predstavljen je klastičnim sedimentima (uglavnom peskovima), dok krovinu čine glinovito peskoviti alevritski sedimenti gorweg pontu i sedimenti kvartara - šljunkovi, peskovi i gline. Na prostoru polja "D" ugalj se javlja u vidu jedinstvenog ugljenog sloja - glavni ugljeni sloj, dok je gornji ugljeni sloj na ovom prostoru redovan i javlja se jedino u završnoj jugo-zapadnoj kosini prema polju "E", a podinski ima znatno manje rasprostranjenje i debljinu.

Na osnovu analize dosadašnjih rezultata može se zaključiti da je debljina ugljenog sloja promenljive vrednosti, u severnom obodnom delu polja ugljeni sloj je zahvaćen erozijom i isklinjenjava tako da mu se debljina kreće od 1-10 m. Prema centralnom delu polja ugljeni sloj je skoro ujednačene debljine i iznosi u proseku oko 37 m, dok se u južnom delu polja raslojava proslojcima sivo-zelene gline i peska, a njegova moćnost dostiže i do 75 m

Kolubarsko ležište uglja, odnosno polje "D" prema genetskom tipu pripada sedimentnim organogenim ležištima, nastalim po obodu panonskog basena u kojima se smenjuju slatkovodne i morske facije.

U podini ugljenog sloja nalaze se litološki članovi koji predstavljaju hidrogeološki kolektor koji ima najviše uticaja na površinsku eksploataciju. Predstavljen je zaglinjenim sitnozrnim do srednjezrnim i prašinastim peskovima gde je koeficijent filtracije  $K_f = n \cdot 10^{-7} - 10^{-8} \text{ cm/s}$  i kvarcnim peskovima, srednjezrnim do sitnozrnim sa koeficijentom filtracije  $K_f = n \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$ .



U krovini ugljenog sloja na celom prostoru polja "D" nalaze se litološki članovi koji predstavljaju krovinski hidrogeološki kolektor koji je zastupljen peskovima, sivožutim, sitnozrnim do prašinastim, zaglinjenim u kojima je koeficijent filtracije  $K_f = n \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$ .

## 4.2 Procene rezervi uglja

Metoda paralelnih vertikalnih profila primenjena je kao glavna metoda za proračun geoloških rezervi uglja na ležištu polja "D". Ova metoda je primenjena zbog postojanja pravilno postavljene mreže istražnih bušotina, kao i zbog visoke tačnosti i realnog prikaza morfologije slojeva uglja. Za njenu primenu poslužili su postojeći geološki profili jug-sever.

Za proračun rezervi uglja među osnovnim elementima proračuna figuriše i zapreminska masa uglja, faktor kojim se (množenjem sa dobijenim zapreminama) dobijaju rezerve (količine) uglja u tonama.

Određivanje srednje vrednosti zapreminske mase uglja za ugljeni sloj izvršeno je obradom rezultata pojedinačnih analiza i izračunavanjem srednje vrednosti - aritmetičke sredine.

Proračunski blokovi su formirani idući od zapada ka istoku i od juga ka severu između istih profilskih linija. Imena proračunskih blokova ovom metodom su označena rimskim brojevima.

Rezerve uglja na istražnom ležištu Polje "D" istražene su sa 30 preseka-profila u orijentaciji jug-sever između kojih je izdvojeno 24 proračunskih blokova "A"-kategorije, odnosno 9 proračunskih blokova "B"-kategorije.

*Tabela 4.1: Tabelarni prikaz rekapitulacije rezervi uglja polja "D" metodom paralelnih vertikalnih profila (stanje radova 31.12.2009.g.)*

| Kategorija rezervi | Geološke rezerve (t) | Bilansne rezerve (t) | Vanbilansne rezerve (t) |
|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| A                  | 136.781.063          | 65.619.968           | 71.161.601              |
| B                  | 24.053.506           | /                    | 24.053.506              |
| <b>Ukupno A+B</b>  | <b>160.834.569</b>   | <b>65.619.968</b>    | <b>95.214.601</b>       |

## 4.3 Proračun zapremine povlatne i intraslojne jalovine

Zapremina povlate (otkrivke) ugljenog sloja je važan činilac sa aspekta tehničko- ekonomske ocene, a i za buduću površinsku eksploataciju. Proračun povlate (otkrivke) izvršen je bez uzimanja

u obzir njene zapreminske mase, pa su proračunate samo zapremine koje treba otkopati da bi se došlo do uglja. Proračun je rađen osnovnom metodom paralelnih vertikalnih profila.

Proračun zapremine jalovih proslojaka u ugljenom sloju u ležišta Polja "D", debljine veće od 1 m rađena je takođe osnovnom metodom proračuna.

*Tabela 4.2: Rekapitulacija povlatne i intraslojne jalovine ležišta Polja "D" (min. debljina uglja 1 m i max. debljina intraslojne jalovine 1 m)*

| Zapremine jalovskih masa                          |                                        |                                                      |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Povlatna jalovina (otkrivka)<br>(m <sup>3</sup> ) | Intraslojna jalovina (m <sup>3</sup> ) | Otkrivka + intraslojna<br>jalovina (m <sup>3</sup> ) |
| <b>149.766.046</b>                                | <b>10.283.105</b>                      | <b>160.049.151</b>                                   |

#### 4.4 Analiza stabilnosti projektovane radne i završne kosine na odlagalištu

Jalovinske mase koje se odlažu, posmatrano na čitavom prostoru p.k. "Polje D" su pretežno prašinasto-peskovito-glinoviti sedimenti, odnosno alevriti, kvartarne gline i peskovito-šljunkoviti sedimenti i u znatno manjem procentu, visokoplastične i ugljevit gline. U pojedinim zonama, učešće ovih sedimenata je drugačije, u zavisnosti od promena uslova sedimentacije. U svakom slučaju odlagalište koje se formira biće heterogenog sastava. Podloga unutrašnjeg odlagališta je autohtona (podina ugljene serije) koja je blago nagnuta prema jugozapadu tj. ka nožici kosine i čine je podinski peskovi.

Geomehanički parametri usvojeni za proračune:

- Odlagane mase od prašinasto-peskovitog materijala:
  - kohezija  $c = 0$
  - ugao unutrašnjeg trenja  $\varphi = 16^\circ$
  - zapreminska težina  $\gamma = 15 \text{ kN} / \text{m}^3$
  - koeficijent pornog pritisaka  $r_u = 0.3$
- Podinski sedimenati, podloga unutrašnjeg odlagališta:
  - kohezija  $c = 5 \text{ kN} / \text{m}^2$
  - ugao unutrašnjeg trenja  $\varphi = 26^\circ$
  - zapreminska težina  $\gamma = 18 \text{ kN} / \text{m}^3$

## 5 Model verifikacije najpogodnijeg odnosa mešanja pepela i šljake sa jalovinom

**U ovoj studiji, se ispituje i analizira mogućnost mešanja pepela i šljake sa jalovinom u cilju odlaganja pepela i šljake generisanih u Organizacionoj celini „Prerada“ RJ „Toplana“ Vreoci bez negativnih uticaja na postojeći kvalitet jalovine. Jalovina je analizirana kao medijum u kom će se akumulirati teški metali prisutni u pepelu i šljaci i to u onim količinama u kojima neće uticati negativno na koncentraciju tih istih supstanci koje se već nalaze u jalovini. Uticaj jalovine na kvalitet životne sredine nije predmet analize ove studije.**

Da bi se moglo utvrditi da li su i u kojoj meri dostignuti ciljevi upravljanja otpadom kojeg sačinjavaju pepeo i šljaka, potrebno je izabrati odgovarajući indikator/e. Glavni indikator koji se koristi u ovoj studiji je *kritična zapremina jalovine*. Teoretska osnova za izbor ovog indikatora se bazira na odnosu antropogenih i prirodnih tokova.

Osnovni princip odnosa „*antropogenih i prirodnih tokova*“ (A/G) je zasnovan na usklađenosti emisija analiziranih supstanci iz antropogenih sistema sa geogenim tokovima supstanci u odgovarajućim medijumima životne sredine (atmosfera, hidrosfera i litosfera). Suština ovog indikatora je zasnovana na principu ekološke održivosti koja uzima u obzir da antropogeni tokovi materijala ne smeju preći lokalni kapacitet asimilacije i moraju da budu manji od prirodnih fluktuacija geogenih tokova, kao i da antropogeni tokovi supstanci ne smeju da menjaju kvalitet i kvantitet prirodnih tokova i zaliha supstanci. Neophodno je napomenuti da **A/G metod ne uzima u obzir uticaj posmatranih supstanci na medijume životne sredine**. U sklopu ovog metoda, nakon određivanja masenih tokova, i tokova supstanci uzrokovanih antropogenim aktivnostima (u ovom slučaju pepela i šljake), neophodno je izvršiti identifikaciju i prikupljanje informacija o koncentracijama supstanci u posmatranom mediju životne sredine (u našem slučaju jalovini). Potom se utvrđuje tačna koncentracije svih supstanci u izlaznim tokovima, a koja završava u datom mediju životne sredine. Određivanje masenih tokova dobara i supstanci je od ključne važnosti za evaluaciju A/G. Tek nakon utvrđivanja svih masenih tokova moguće je na osnovu koncentracije supstanci indikatora u izlaznim tokovima pristupiti proračunu A/G. Glavni i finalni indikator A/G predstavlja odnos antropogenog toka supstance (koja predstavlja izlazni tok iz sistema upravljanja otpadom) u odgovarajući medijum životne sredine i geogenih (prirodnih) tokova ove supstance u navedenim medijumima. Ovaj pristup za evaluaciju je moguće primeniti i na procese u okviru određenog sistema, i na celokupne sisteme.

Uzevši u obzir cilj ove studije, kritična zapremina predstavlja indikator koji predstavlja osnovu za dobijanje informacije o adekvatnom odnosu za mešavinu pepela i šljake.

Kritična zapremina datog jalovišta izražava teoretsku zapreminu jalovišta ( $V_j$ ) koja je neophodna za dispergovanje određene emisije supstance (analiziranog polutanta – tj. teških metala iz pepela i šljake) do graničnih vrednosti emisije ili do geogenih vrednosti posmatranih supstanci. Ovaj indikator se uglavnom koristi za međusobno poređenje raličitih sistema ili scenarija upravljanja otpadom u pogledu „zagađenja“ jalovišta usled delovanja polutanata (pepela i šljake). Kritična zapremina jalovišta se definiše sledećom formulom:

$$V_{ij} = \frac{E_i}{C_i}$$

$$V_j = \sum_i^n V_{ij}$$

$E_i$  – emisija supstance ( $i$ ) u jalovinu (mg)

$C_i$  – koncentracija supstance u „ambijentalnoj“ jalovini (mg/m<sup>3</sup>)

$V_{ij}$  – pretpostavljena zapremina jalovine koja je potrebna da razblaži  $E_i$  do koncentracija supstance  $i$  u „ambijentalnoj“ jalovini

$V_k$ - finalni indikator koji predstavlja sumu indikatora za svaku anliziranu supstancu. Što je manja zapremina jalovine potrebna, indikator ima pozitivniju vrednost.

$U = \{a, b, c, \dots n\}$  skup izmerenih vrednosti za određeni teški metal u odnosu na 6 uzoraka

$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$  usrednjena vrednost za određeni teški metal u odnosu na 6 uzoraka

$i > U$  najveća izmerena vrednost u 6 uzoraka

$i < U$  najmanja izmerena vrednost u 6 uzoraka

## 5.1 Ulazni parametri za model verifikacije

Za izradu modela za verifikaciju najpogodnijeg odnosa mešanja pepela i šljake su korišćeni sledeći ulazni podaci:

- Godišnje količine pepela i šljake koje se proizvode u RB „Kolubara“, iz Organizacije celine „Prerada“ RJ „Toplana“ Vreoci kao i prosečna masena i zapreminska vrednost produkcije ovih

otpadnih materija u periodu od 2010. do 2015. godine su dati u Tabeli 3. U proseku, na godišnjem nivou se kao otpad generiše 28954 tone pepela i šljake. Ova vrednost je korišćenja kao ulazni parametar za proračun najpogodnijih mešavina pepela i šljake sa jalovinom.

*Tabela 5.1: Otpadne materije: pepeo i šljaka (t/god)*

|                    | <b>Elektrofilterski pepeo (t)</b> | <b>Šljaka i pepeo sa rešetke za dogrevanje (t)</b> | <b>Ukupno šljake i pepela na godišnjem nivou (t)</b> |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 2010               | 20966                             | 3343                                               | 24309                                                |
| 2011               | 21484                             | 5865                                               | 27349                                                |
| 2012               | 24046                             | 4591                                               | 28637                                                |
| 2013               | 19082                             | 14988                                              | 34070                                                |
| 2014               | 14228                             | 13981                                              | 28209                                                |
| 2015               | 18644                             | 12503                                              | 31147                                                |
| Prosek             | <b>19742</b>                      | <b>9212</b>                                        | <b>28954</b>                                         |
| Ukupno             | 118450                            | 55271                                              | 173721                                               |
| Prosečna zapremina |                                   |                                                    | <b>13853.35 [m<sup>3</sup>]</b>                      |

- Gustina pepela i šljake:

$$\rho_1 = 2,06 \text{ kg/dm}^3$$

$$\rho_2 = 2,33 \text{ kg/dm}^3$$

$$\rho_3 = 1,88 \text{ kg/dm}^3$$

$$\rho_{sr} = 2,09 \text{ kg/dm}^3 = 2090 \text{ kg/m}^3$$

Za proračun najpogodnijih mešavina pepela i šljake sa jalovinom korišćena je srednja vrednost gustina, tj. 2090 kg/m<sup>3</sup>.

- Gustina jalovine koja je korišćena u proračunu:

- zapreminska težina odlagane mase od prašinasto-peskovitog materijala:

$$\gamma = \frac{15 \text{ kN}}{\text{m}^2} = \rho \times g \Rightarrow \rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{15000}{9,807} = \mathbf{1529,52 \frac{kg}{m^3}}$$

- zapreminska težina podinski sedimenti, podloga unutrašnjeg odlagališta:

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow \rho = 1835,52 \frac{kg}{m^3}$$

- Prosečne, maksimalne, i minimalne vrednosti ukupnih metala u pepelu i šljaci su prikazane u Tabeli 5.2.

*Tabela 5.2: Prosečne, max. i min. izmerene vrednosti ukupnih metala u pepelu i šljaci*

| Cr                                                                        | Ni    | Pb    | Cu     | Zn       | Cd   | Hg  | B <sup>5</sup> | As    | Fe       |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|----------|------|-----|----------------|-------|----------|
| Prosečne vrednosti ukupnih metala u peepelu i šljaci (mg/kg)              |       |       |        |          |      |     |                |       |          |
| 92,2                                                                      | 59,38 | 20,98 | 116,72 | 316,0167 | 1,06 | 0,1 | 0              | 31,22 | 39277,83 |
| Maksimalne vrednosti ukupnih metala u peepelu i šljaci (mg/kg)            |       |       |        |          |      |     |                |       |          |
| 104,9                                                                     | 75,9  | 96,8  | 516,2  | 1462     | 1,1  | 0,1 | 0              | 62,6  | 53869    |
| Minimalne vrednosti ukupnih metala u pepelu i šljaci su prikazane (mg/kg) |       |       |        |          |      |     |                |       |          |
| 81,8                                                                      | 0,7   | 0,7   | 5,9    | 2,5      | 0,08 | 0,1 | 0              | 2,2   | 32309    |

- Prosečne, maksimalne, i minimalne vrednosti vrednosti ukupnih metala u jalovini su prikazane u Tabeli 5.3.

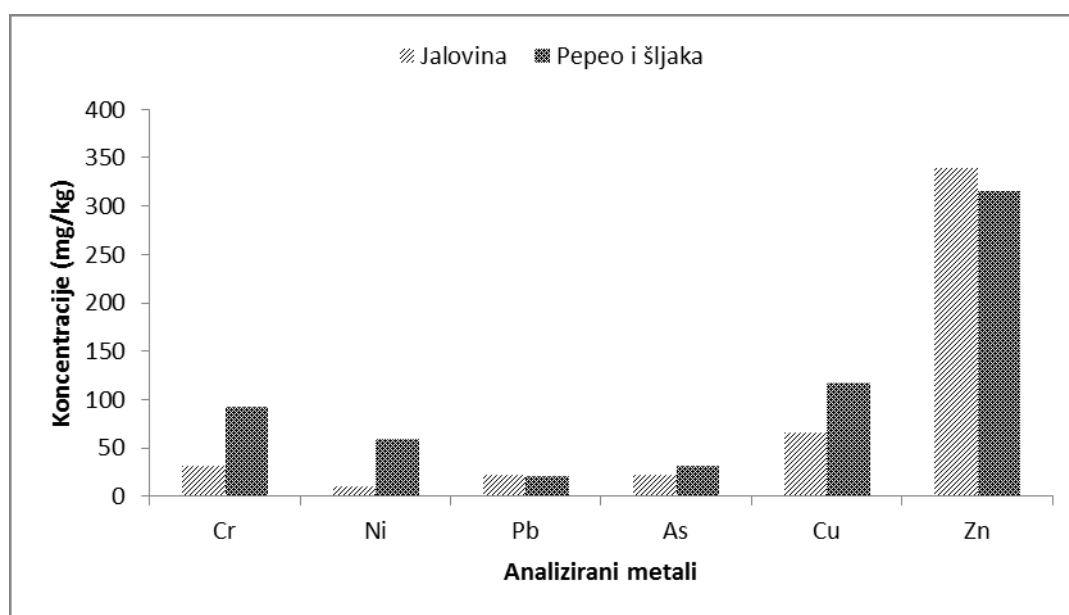
*Tabela 5.3: Prosečne, max. i min. izmerene vrednosti ukupnih metala u jalovini*

| Cr                                                     | Ni   | Pb   | Cu   | Zn    | Cd  | Hg  | B <sup>5</sup> | As | Fe    |
|--------------------------------------------------------|------|------|------|-------|-----|-----|----------------|----|-------|
| Prosečne vrednosti ukupnih metala u jalovini (mg/kg)   |      |      |      |       |     |     |                |    |       |
| 30,9                                                   | 10,2 | 22,5 | 65,1 | 340,4 | 1,4 | 0,1 | 0              | 22 | 29946 |
| Maksimalne vrednosti ukupnih metala u jalovini (mg/kg) |      |      |      |       |     |     |                |    |       |

<sup>5</sup> Zbog velikog sadržaja gvožđa u uzorcima, koji stvara smetnje prilikom određivanja, sadržaj bora nije moguće odrediti.

|                                                       |      |      |       |       |      |     |   |      |       |
|-------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|------|-----|---|------|-------|
| 58,6                                                  | 30,9 | 51,1 | 223,6 | 819,3 | 3,2  | 0,1 | 0 | 53,5 | 65368 |
| Minimalne vrednosti ukupnih metala u jalovini (mg/kg) |      |      |       |       |      |     |   |      |       |
| 10,8                                                  | 0,4  | 5,7  | 2,7   | 98    | 0,09 | 0,1 | 0 | 0,2  | 377,4 |

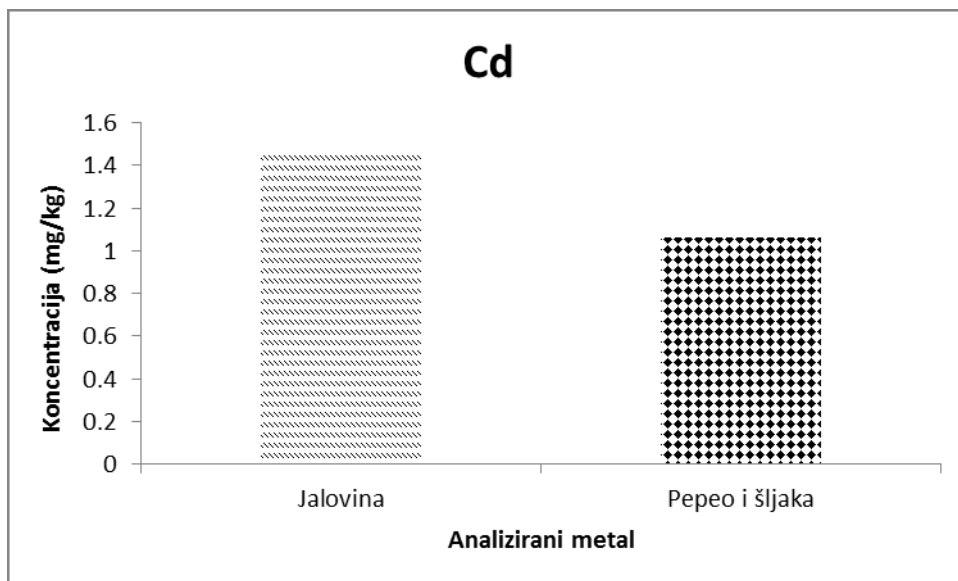
Na Grafiku 5.1 dat je prikaz odnosa srednjih vrednosti koncentracija Cr, Ni, Pb, As, Cu, Zn koje su izmerene u jalovini, i pepelu i šljaci. Može se primetiti da je prosečna koncentracija Pb i Zn u jalovini nešto veća u odnosu na prosečne koncentracije tih supstanci u pepelu i šljaci.



Grafik 5.1: Odnos srednjih vrednosti koncentracija Cr, Ni, Pb, As, Cu, Zn u jalovini i pepelu i šljaci

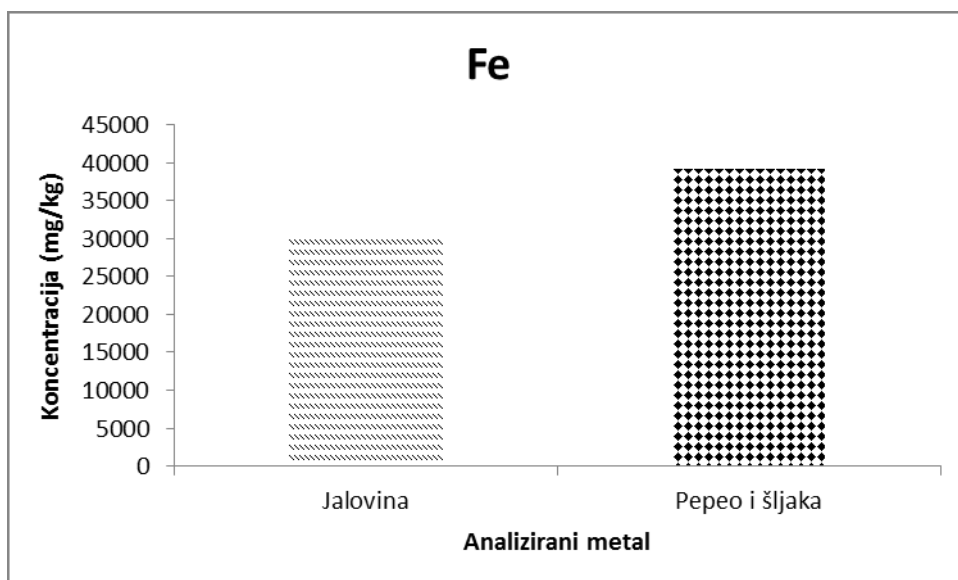
Na Grafiku 5.2 dat je vizuelni prikaz odnosa srednjih vrednosti koncentracija Cd koje su izmerene u jalovini, i pepelu i šljaci. Može se primetiti da je prosečna koncentracija Cd veća u jalovini.





*Grafik 5.2: Odnos srednjih vrednosti koncentracija Cd u jalovini i pepelu i šljaci*

Na Grafiku 5.3 dat je vizuelni prikaz odnosa srednjih vrednosti koncentracija Fe koje su izmerene u jalovini, i pepelu i šljaci. Može se primetiti da je prosečna koncentracija Fe veća u pepelu i šljaci.



*Grafik 5.3: Odnos srednjih vrednosti koncentracija Fe u jalovini i pepelu i šljaci*

## 5.2 Najoptimalniji odnosi mešanja pepela i šljake sa jalovinom

Prvi ulazni parametar za izračunavanje najoptimalnijih odnosa za rekultivaciju je emisija date supstance ( $E_i$ ). U odnosu na srednju vrednost ukupne godišnje produkcije pepela i šljake u poslednjih 5 godina, u Tabeli 5.4 su date vrednosti emisija teških metala (u kg) na godišnjem nivou i to:

- a) Uzimajući u obzir srednjene izmerene vrednosti teških metala u pepelu i šljaci;

Drugi ulazni parametar za izračunavanje najoptimalnijih odnosa za rekultivaciju je zapreminska koncentracija date supstance (tj. već prisutnih teških metala) u jalovini ( $C_i$ ). Takođe, za izračunavanje ovog parametra korišćene su:

- a) Srednjene vrednosti teških metala koji su prisutni u jalovini;

Za izračunavanje zapreminske koncentracija ( $C_i$ ) korišćena je gustina jalovine ( $\rho$ ) sa vrednošću 1529,52 kg/m<sup>3</sup> (tj. gustina jalovine od prašinasto-peskovitog materijala).

NAPOMENA: (Prilikom izračunavanja  $E_i$  i  $C_i$  u obzir nisu uzete merne nesigurosti izmerenih vrednosti teških metala u pepelu i šljaci, i u jalovini).

Tabela 5.4: Usrednjene, maksimalne i minimalne vrednosti parametara  $E_i$  i  $C_i$

| <b>Cr</b>                                                                                                                  | <b>Ni</b>     | <b>Pb</b>    | <b>Cu</b>     | <b>Zn</b>     | <b>Cd</b>   | <b>Hg</b>  | <b>B</b> | <b>As</b>    | <b>Fe</b>      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------|------------|----------|--------------|----------------|
| <i><math>E_i</math> (emisija <b>srednjih</b> vrednosti supstance u jalovinu) (kg/godišnje)</i>                             |               |              |               |               |             |            |          |              |                |
| <b>2670,4</b>                                                                                                              | <b>1719,3</b> | <b>607,5</b> | <b>3379,3</b> | <b>9149,6</b> | <b>30,8</b> | <b>2,9</b> | <b>0</b> | <b>903,8</b> | <b>1137211</b> |
| <i><math>C_i</math> (koncentracija <b>srednjenih</b> vrednosti supstance u „ambijentalnoj“ jalovini (g/m<sup>3</sup>))</i> |               |              |               |               |             |            |          |              |                |
| <b>47,3</b>                                                                                                                | <b>15,6</b>   | <b>34,3</b>  | <b>99,6</b>   | <b>520,7</b>  | <b>2,2</b>  | <b>0,2</b> | <b>0</b> | <b>33,7</b>  | <b>45803,4</b> |

Na osnovu ulaznih parametara koji su predstavljani u Tabeli 5.4, izračunata je:

- pretpostavljena zapremina jalovine koja je potreban da razblaži  $E_i$  do koncentracija supstance u „ambijentalnoj“ jalovini (m<sup>3</sup>);

- najoptimalnijih odnosi za rekultivaciju u zavisnosti vrednosti  $E_i$  i  $C_i$ , tj. od emisija i prisutnosti teških metala (u kg) na godišnjem nivou u pepelu i šljaci/jalovini.

U Tabeli 5.5 date su vrednosti koje su dobijene uzimajući u obzir srednje vrednosti  $E_i$  u odnosu na srednje vrednosti  $C_i$ . Teoretski – najoptimalniji odnos mešavine za srednje i maksimalne vrednosti  $E_i$  i srednje vrednosti  $C_i$  je 1:22, odnosno pretpostavljena zapremina jalovine (V) koja je potrebna da razblaži  $E_i$  do koncentracija supstance i u „ambijentalnoj“ jalovini na godišnjem nivou iznosi 320018 m<sup>3</sup>.

*Tabela 5.5: Pretpostavljena zapremina jalovine i najpogodniji odnos za mešanje*

| Pretpostavljena zapremina jalovine (V) koja je potrebna da razblaži $E_i$ do koncentracija supstance i u „ambijentalnoj“ jalovini [m <sup>3</sup> ] |               | Najpogodniji odnos za mešanje pepela i šljake sa jalovinom |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------|
| $E_i$ (za <b>srednje</b> koncentracije teških metala u pepelu i šljaci)                                                                             | <b>320018</b> | <b>1:22</b>                                                |
| $C_i$ (za <b>srednjene</b> vrednosti teških metala u jalovini)                                                                                      |               |                                                            |
| $E_i$ (za max. koncentracije teških metala u pepelu i šljaci)                                                                                       | <b>638777</b> | <b>1:44</b>                                                |
| $C_i$ (za <b>srednjene</b> vrednosti teških metala u jalovini)                                                                                      |               |                                                            |

### 5.3 Rezultati merenja mešavine šljake i pepela sa jalovinom u skladu sa preporučenim odnosima za rekultivaciju

U skladu sa izračunatim vrednostim pretpostavljene zapremina jalovine (V) koja je potrebna da razblaži  $E_i$  do koncentracija supstance u „ambijentalnoj“ jalovini kao i preporučenih odnosa za rekultivaciju, izvršena je preliminarana analiza. Preliminarna analiza je podrazumevala merenje prisutnosti teških metala u mešavini pepela i šljake sa jalovinom u odnosima: 1:22 ; 1:33; 1:44, 1:55, 1:75, 1:112. Rezultati merenja su predstavljeni u Tabeli 5.6 i 5.7.

Tabela 5.6: Laboratorijski analizirani odnosi za mešanje jalovine sa pepelom i šljakom

| Odnos za mešanje jalovine sa pepelom i šljakom | Pretpostavljena zapremina jalovine (V) koja je potrebna da razblaži E <sub>i</sub> do koncentracija supstance i u „ambijentalnoj“ jalovini [m <sup>3</sup> ] |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1:22</b>                                    | 304.773                                                                                                                                                      |
| <b>1:33</b>                                    | 457.160                                                                                                                                                      |
| <b>1:44</b>                                    | 609.547                                                                                                                                                      |
| <b>1:55</b>                                    | 761.934                                                                                                                                                      |
| <b>1:75</b>                                    | 1.039.001                                                                                                                                                    |
| <b>1:112</b>                                   | 1.551.575                                                                                                                                                    |

U Tabeli 5.7 su prikazane koncentracije teških metala u datim smešama. Upoređujući dobijene rezultate sa graničnim vrednosti koncentracije teških metala u javlovini (gde su u obzir uzete maksimalne i srednje vrednosti koncentracije metala) utvrđuje se sledeće:

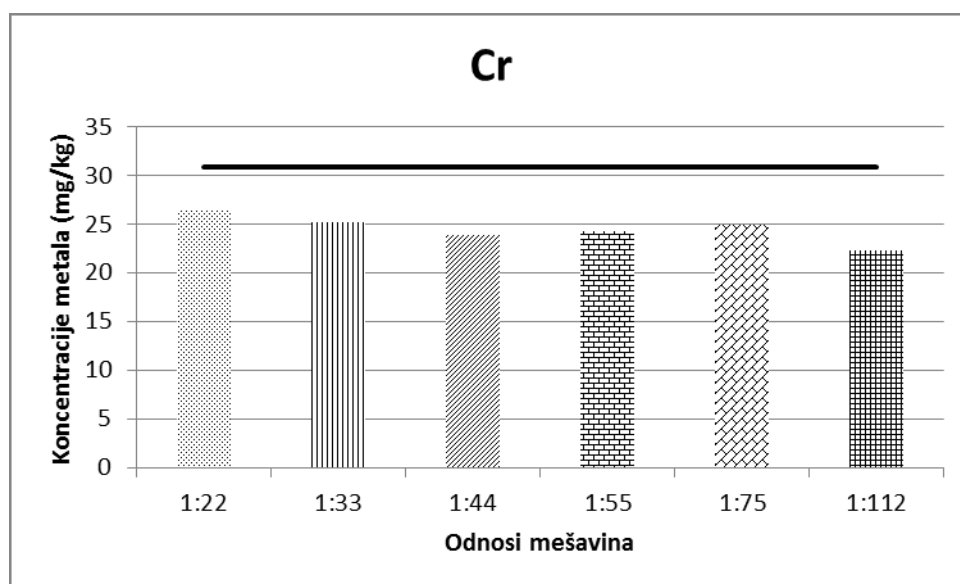
- 1) Posmatrajući maksimalne granične vrednosti – koncentracije teških metala u svim smešama su u granicama dozvoljenih vrednosti
- 2) Posmatrajući srednje granične vrednosti, u sledećim smešama dolazi do odstupanja pojedinih koncentracija teških metala i to:
  - Za smešu 1:22: Ni (+ 48%)
  - Za smešu 1:33: Ni (+52%) , Pb (+7,6 %), Fe (+1,6%)
  - Za smešu 1:44: Ni (+33%), Pb (+21,3%),
  - Za smešu 1:55: Ni (+17%), Cd (+7,9%)
  - Za smešu 1:75: Ni (+13%), Zn (+1,2%)
  - Za smešu 1:112, ukoliko posmatramo srednje vrednosti koncentracije u jalovini, koncentracije svih analiziranih metala u smeši su ispod graničnih vrednosti za analiziranih 6 uzoraka.

Na osnovu dobijenih rezultata, predlaže se upravo mešavina 1:112, uz to da zbog velike količine dostupne jalovine, i velikih varijacija koncentracionih nivoa u pepelu i šljaci, kao i u samoj jalovini, predložimo i korekcionni faktor 2, i da se sprovodi mešanje u odnosu 1:224.

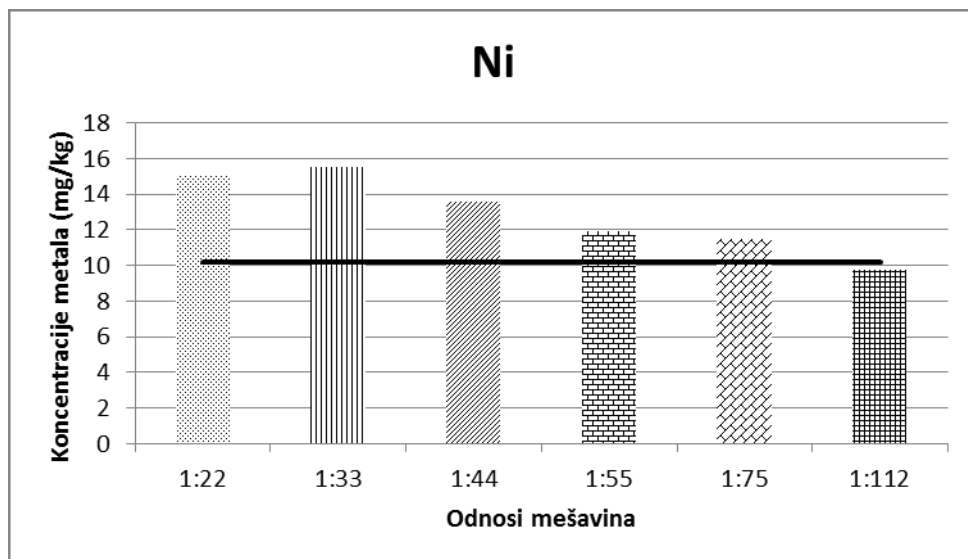
Za većinu smeša, vrednosti u kojima koncentracije teških metala prelaze granične vrednosti se nalaze mahom u opsegu mernih grešaka i to: Pb, Fe (za smešu 1:33); Pb (za smešu 1:44); Ni, Cd (za smešu 1:55) i Ni, Zn (za smešu 1:75). Zarad bolje ilustracije dati su i grafički prikazi koncentracije teških metala za date mešavine, a dodatno su naznačene granične vrednosti.

Tabela 5.7: Rezultati merenja vrednosti teških metala umešavini pepela i šljake sa jalovinom

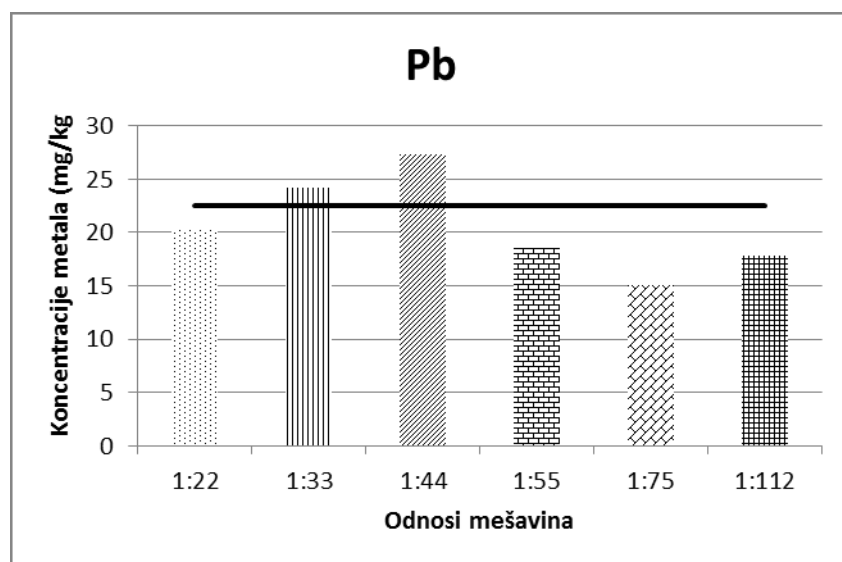
|                                                                   | Cr            | Ni            | Pb            | Cu              | Zn             | Cd            | Hg   | B | As             | Fe              |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|------|---|----------------|-----------------|
| GRANIČNE VREDNOSTI KONCENTRACIJA TEŠKIH METALA U JALOVINI (mg/kg) |               |               |               |                 |                |               |      |   |                |                 |
| Maksimalne vrednosti                                              | 58.6          | 30.9          | 51.1          | 223.6           | 819.3          | 3.2           | 0.1  | - | 53.5           | 65368           |
| Srednje vrednosti                                                 | 30.9          | 10.2          | 22.5          | 65.1            | 340.4          | 1.4           | 0.1  | - | 22             | 29946           |
| IZMERENE KONCENTRACIJE U KOMPOZITNIM SMEŠAMA (mg/kg)              |               |               |               |                 |                |               |      |   |                |                 |
| 1:22                                                              | 26,3<br>±7,36 | 15,1<br>±3,90 | 20,2<br>±5,86 | 54,7<br>±15,86  | 318,4<br>±89,2 | 1,37<br>±0,45 | <0,1 | - | 16,2<br>±6,16  | 26477<br>±6 884 |
| 1:33                                                              | 25,2<br>±7,06 | 15,5<br>±4,04 | 24,2<br>±7,03 | 59,7<br>±17,32  | 333,1<br>±93,3 | 1,23<br>±0,41 | <0,1 | - | 15,08<br>±5,73 | 30418<br>±7 909 |
| 1:44                                                              | 23,9<br>±6,71 | 13,6<br>±3,54 | 27,3<br>±7,92 | 52,7<br>±15,29  | 283,6<br>±79,4 | 1,40<br>±0,46 | <0,1 | - | 14,27<br>±5,42 | 29638<br>±7706  |
| 1:55                                                              | 24,3<br>±6,81 | 11,9<br>±3,10 | 18,6<br>±5,38 | 54,1<br>±15,69  | 298,1<br>±83,6 | 1,51<br>±0,48 | <0,1 | - | 13,83<br>±5,26 | 24051<br>±6253  |
| 1:75                                                              | 24,9<br>±6,98 | 11,5<br>±2,98 | 15,1<br>±4,40 | 54,94<br>±15,93 | 344,4<br>±96,4 | 1,32<br>±0,42 | <0,1 | - | 11,67<br>±4,43 | 21903<br>±5694  |
| 1:112                                                             | 22,3<br>±6,24 | 9,8<br>±2,55  | 17,9<br>±5,19 | 62,9<br>±18,26  | 280,2<br>±78,5 | 1,28<br>±0,41 | <0,1 | - | 12,46<br>±4,73 | 22150<br>±5759  |



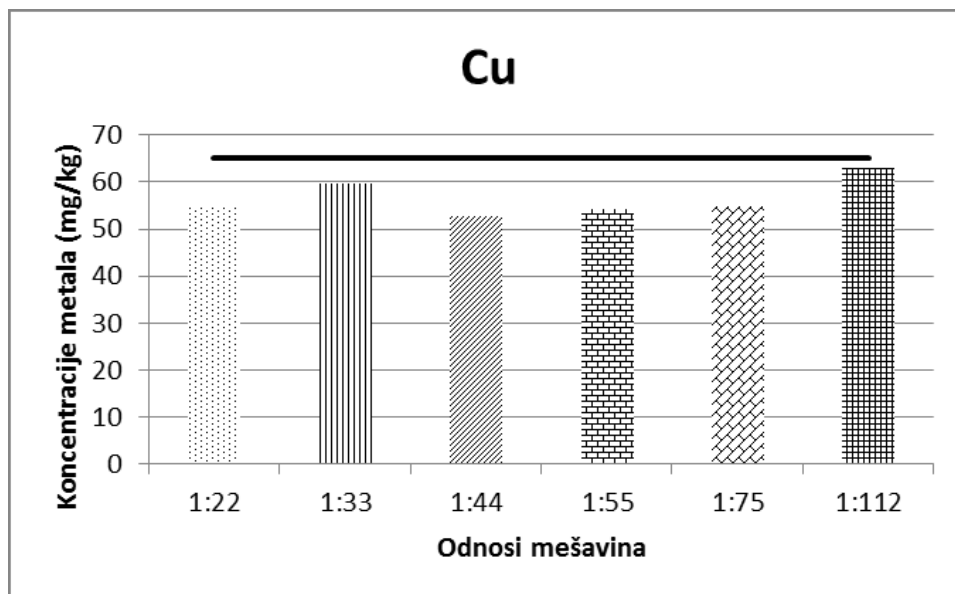
Grafik 5.4. Koncentracija Cr u mešavinama u odnosu na graničnu vrednost



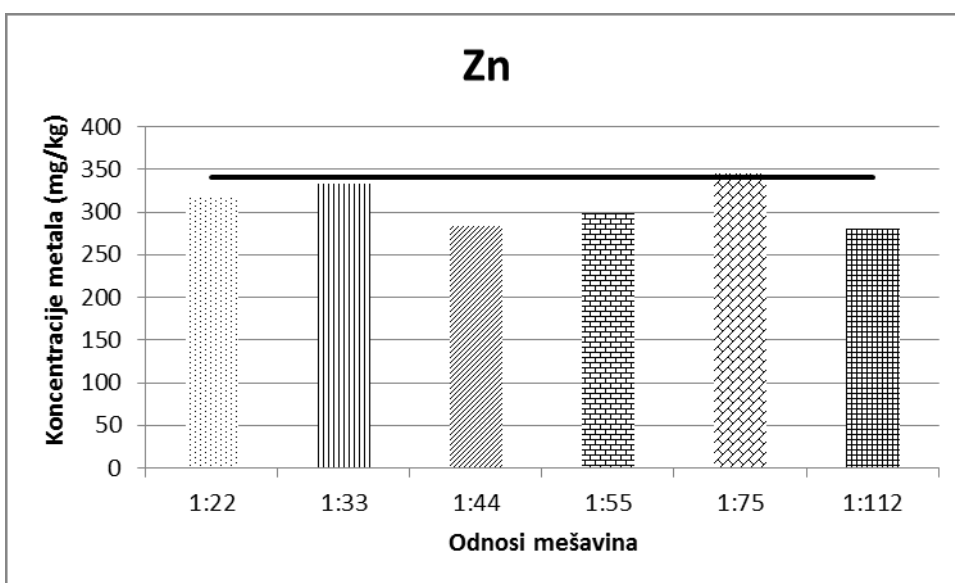
Grafik 5.5: Koncentracija Ni u mešavinama u odnosu na graničnu vrednost



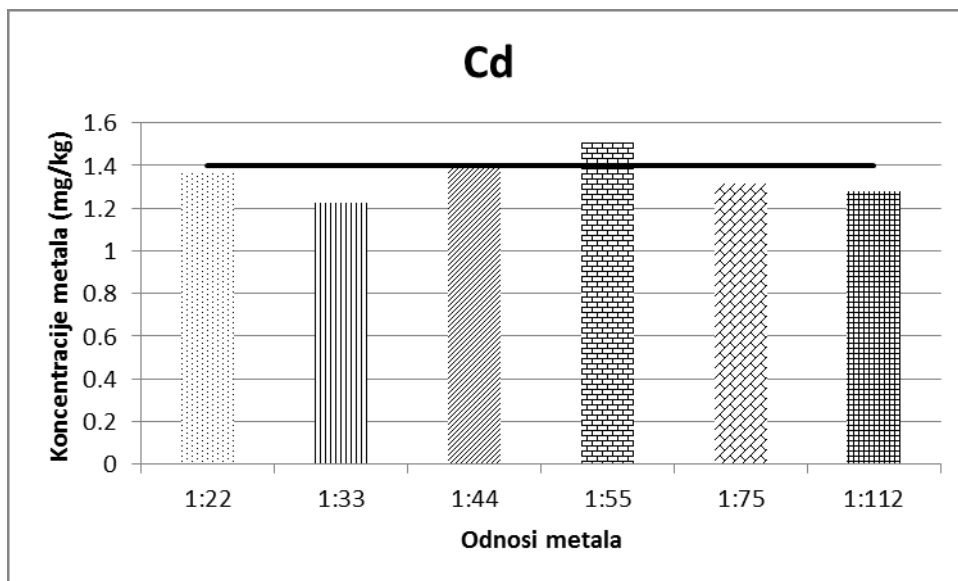
Grafik 5.6: Koncentracija Pb u mešavinama u odnosu na graničnu vrednost



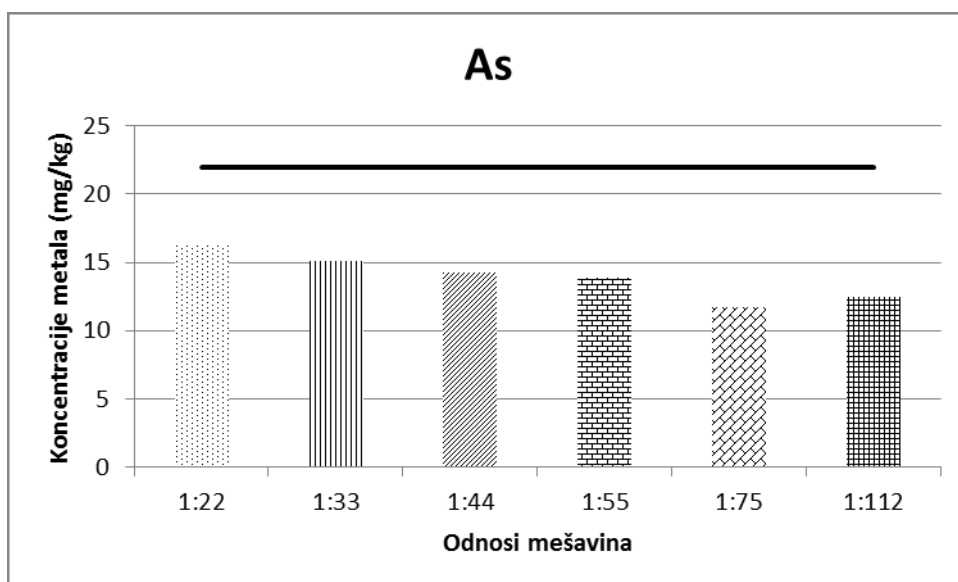
Grafik 5.7: Koncentracija Cu u mešavinama u odnosu na graničnu vrednost



Grafik 5.8: Koncentracija Zn u mešavinama u odnosu na graničnu vrednost

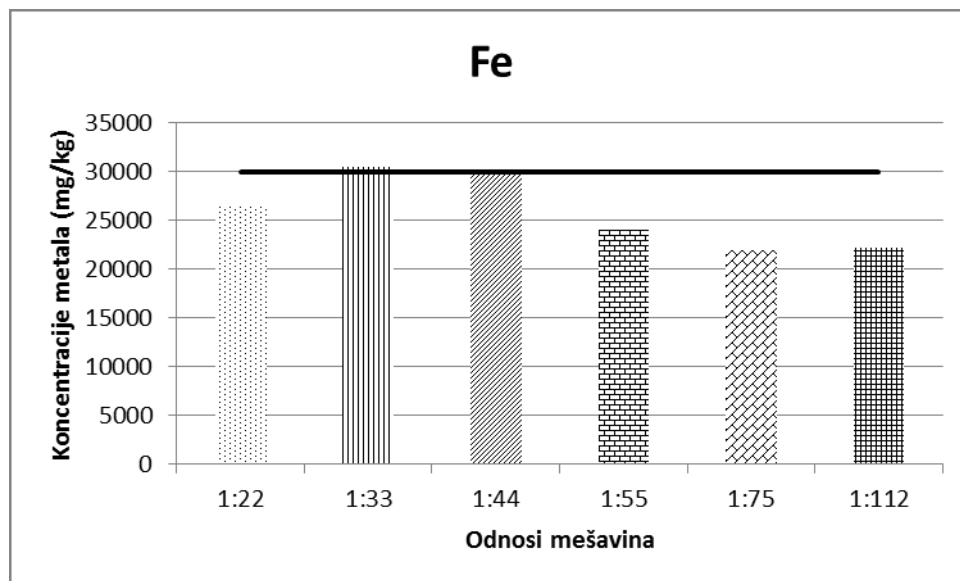


Grafik 5.9: Koncentracija Cd u mešavinama u odnosu na graničnu vrednost



Grafik 5.10: Koncentracija As u mešavinama u odnosu na graničnu vrednost





*Grafik 5.11: Koncentracija Fe u mešavinama u odnosu na graničnu vrednost*

## 6 Homogenizacija

Homogenizacija predstavlja proces koji se koristi kako bi mešavina dva ili više materijala različitih karakteristika, postala uniformna, odnosno kako bi imala iste karakteristike u svakom svom delu. Homogenizacija se u laboratorijama i drugim industrijskim procesima postiže mehaničkim uređajima, homogenizatorima ili mešačima. U fizici, homogeni materijal ili sistem više materijala ima iste osobine na svakoj tački, jedinstven je bez nepravilnosti. Jedinstveno električno polje (koje ima istu snagu i isti pravac u svakom trenutku) može se uporediti sa homogenošću (sve tačke u mešavini doživljavaju istu fiziku). Materijal konstruisan od različitih sastojaka može se opisati kao efikasno homogen u elektromagnetnom domenu materijala, kada podjednako stupa u interakciju sa poljem usmerenog zračenja (svetlosti, mikrotalasna frekvencija, itd.).

Proces mešanja praškastih, granulastih i zrnastih materijala je sa inženjerskog, energetskog, ekonomskog i ekološkog stanovišta izuzetno značajan u svim granama industrije. Mešanjem se može dobiti konačan finalni proizvod ili poluproizvod, na sam kvalitet i cenu proizvoda (mešavine) značajan uticaj ima proces mešanja. Efikasnost mešanja zavisi od konstrukcije opreme, načina doziranja materijala, odmeravanje materijala, transport itd.

Kako bi proces mešanja neke smeše bio efikasan, uključujući i umešavanje, neophodno je sprečiti pojavu segregacije. Segregacija je fenomen koji nastaje usled razlike u veličini ili specifičnoj težini čestica, pri čemu usled njihovog kretanja dolazi do grupisanja u pojedinim delovima mešavine, treba imati u vidu i da mešavina čvrstih supstanci nikad nije u potpunosti homogena. Čvrste čestice imaju težnju da segregiraju dok gasovi i tečnosti, tj. njihovi molekuli imaju težnju da se mešaju.

Pod terminom "mešanja" podrazumevaju se sve operacije pri kojima se smanjuje neujednačenost sastava, karakteristika ili temperature rasutog materijala. Industrija upotrebljava opremu koja zadovoljava osnovne tehničke kriterijume, ali se obično ne pridaje dovoljna pažnja konstrukciji i dizajnu opreme, kojom bi se značajno doprinelo optimizaciji samog procesa mešanja. Posledica ovakvog pristupa je proizvod čiji kvalitet nije zadovoljavajuće izmešan ili se uz prevelik utrošak energije dobija zadovoljavajuća homogenost, čime značajno utičemo na cenu proizvodnog procesa i krajnjeg proizvoda. Potrebno je odrediti optimalno vreme mešanja i tip mešanja, jer previše dugo mešanje može dovesti do deformacije ili segregacije komponenti, koje nisu ujednačenih fizičkih karakteristika. Optimizacija procesa mešanja vrši se sa više stanovišta: vremena mešanja, konstrukcije i dizajna opreme, kvaliteta mešavine i utroška energije potrebne za proces mešanja. Takođe je potrebno izvršiti optimizaciju već instalirane opreme koja se koristi u procesu, kako bi se ona učinila efikasnijom i produktivnijom.

Kod praškastih materijala, čestice menjaju svoju poziciju samo u slučajevima kada je njihovo kretanje izazvano spoljnim uticajem. Kada se čestice pokrenu pod dejstvom neke sile, one se kreću bilo da teže da se izmešaju ili segregiraju, što zavisi od osobina čestica ili sile koja je izazvala to kretanje. Najveći uticaj na mehanizam mešanja i segregacije praškastih materijala imaju njihove protočne karakteristike. Mehanizam mešanja je povezan sa načinom na koji su raspoređene različite čestice, možemo razlikovati nekoliko vidova mešanja:

- Konvektivno mešanje je premeštanje velikih grupa čestica sa jedne lokacije na drugu, brz ali ne efikasan način mešanja;
- Difuzno mešanje se ostvaruje raspodelom čestica na novoj razvijenoj površini, efikasan ali spor proces;

- Smičuće mešanje se ostvaruje stvaranjem smičućih ravni u mešavini;
- Haotično mešanje, značajno doprinosi mešanju čestica i praha.

Da bi se dobilo efikasno mešanje potrebno je da istovremeno bude zastupljeno više različitih mehanizama mešanja. Samo konvektivnim ili samo smičućim mešanjem ne može se postići homogenost čestica u razumnom vremenskom periodu mešanja.

## 6.1 Vrste mešalica

Mešalice za praškaste materijale su relativno jednostavne i jeftine mašine, i klasifikuju se prema mehanizmu procesa mešanja koji se odvija u njima. Razlikujemo nekoliko tipova mešalica, na osnovu mehanizma mešanja:

- Cilindrična mešalica, difuzno i smičuće mešanje;
- Konvektivna mešalica, konvektivno i smičuće mešanje;
- Fluidizaciona mešalica, difuzno i konvektivno mešanje;
- Statička mešalica, difuzno i konvektivno mešanje.

Statičke mešalice su vrsta uređaja koji za proces mešanja ne koriste dodatnu energiju, već se na proces mešanja utiče delovanjem gravitacione sile. Ove mešalice homogenizuju materijal koristeći razliku pritisaka ili kinetičku i potencijalnu energiju tretiranih materijala. Upravo zbog toga je od izuzetnog značaja pravilan izbor geometrija mešalice, optimalan broj elemenata mešanja i projektovanje brzina kretanja radnog fluida ili zrnastog materijala. Potrebno je odrediti optimalnu putanju materijala kako bi se dobio zadovoljavajući kvalitet mešanja uz minimalne troškove mešanja. Unutar cevi statičkog mešača nalazi se profilisani element koji usmerava kretanje materijala, čime se stvaraju razlike u brzini pojedinačnih čestica, a pri tome dolazi do premeštanja različitih delova materijala koji se kreću kroz profilisane mešače. Statički mešači se najčešće postavljaju u dugačke vertikalne cevi ili cilindrične omotače i svojom profilisanom geometrijom (od koje zavisi i efekat mešanja) utiču na promenu smera proticanja materijala. Mogu se primenjivati u širokom opsegu operacija u industriji, uključujući doziranje, mešanje, disperziju, laminarni protok, razmenu toplote i formiranje emulzija. Proces mešanja se odvija zahvaljujući stalnom deljenju, širenju i transportu komponenti materijala koji se mešaju. Ovi mešači se nalaze u jedno-prolaznim sistemima, ili u procesu sa recirkulacionom petljom, pri čemu imaju ulogu dodatnih mešalica ili pred-mešalice, a javljaju se i kao potpuna zamena konvencionalnih mešalica. Ovi mešači se koriste kako u laminarnom tako i u turbulentnom režimu rada, pri čemu u materijalu, dolazi do deljenja, premeštanja, razdvajanja, ubrzavanja, usporavanja i pregrupisanja različitih delova materijala, bilo da se radi o fluidu ili o čvrstom materijalu.

Mešalice se mogu podeliti i po tipu konstrukcije mešalice:

- horizontalne,
- vertikalne mešalice,
- mešalice sa rotacionom osovinom,
- mešalicu sa jednom sekcijom, dve sekcije, itd.

Horizontalne (protiv-strujne) mešalice su namenjena za, mešanje praškastih materijala u građevinarstvu (industrijski malter, keramički lepak, glet masa) i praškastih materijala u prehrambenoj industriji (začina, brašna). U horizontalnim mešalicama postiže se visok stepen homogenosti smeše. Na osnovu laboratorijskih analiza proizvedenih smeša ubrajaju se u najkvalitetnije mešalice. Horizontalne mešalice, za razliku od vertikalnih, mogu biti kontinuiranog dejstva, a konstruktivne varijante zavise od vrste, odnosno tipa ugrađenih radnih organa. Najviše

se koriste mešalice koje imaju horizontalni oklop, koji je na donjem delu blago koničan, u kome se obrće 2 iii najčešće 3 pužna transportera sa različitim hodom spirala (levohode i desnohode spirale). Dejstvo spirala obavlja intenzivno i višesmerno mešanje, dodatne lopatice razbijaju eventualno formirane grudve, stoga je moguće mešanje svih komponenti- suvih, masnih i tečnih. Međutim, pune se sa 40-50% zapremine i za pogon zahtevaju motore veće pogonske snage. Radi efikasnosti mešanja razmak između spirala pužnih transportera i oklopa treba da je što manji, 2-3 mm, pa oklop mora biti od vrlo kvalitetnog materijala, da se spreči deformacija oklopa i eventualno zapinjanje radnih organa za oklop. Brzina obrtanja radnih organa zavisi od kapaciteta, odnosno radne zapremine mešalice. Osnovna odlika horizontalnih mešalica je, da mešanje traje znatno kraće u odnosu na vertikalne (3-4min/t), nešto teže se čiste, robusnije su, ali mogu efikasno izmešati sve vrste komponenti. Za pogon zahtevaju motore veće snage, ali s obzirom na vreme mešanja i angažovanu snagu, specifični utrošak energije (kWh/t) se znatno ne razlikuje od vertikalnih mešalica.

Kod vertikalnih mešalica pužni transporter je postavljen po vertikalnoj osi, koji može biti u oklopu ili bez njega. Broj obrtaja puža treba da iznosi 100-150 min<sup>-1</sup>, iako je kod većine proizvođača znatno veći, veći broj obrtaja je uglavnom kod oklopljenog puža. Pužni transporter diže materijal iz donjeg u gornji deo mešalice, a na vrhu (kraju) spirale materijal se razbacuje prema oklopu mešalice usled centrifugalne sile, pada na niže dok ga ne zahvati vertikalni pužni transporter. Mešanje komponenti obavlja se usled različitog koeficijenta trenja pojedinih komponenti o spiralu puža pri čemu neke komponente zastaju a neke se brže pomeraju, te pri slobodnom padu uz oklop teže komponente brže padaju a lakše sporije. Prema tome, ne ostvaruje se visok intenzitet mešanja. Prednost vertikalnih mešalica ogleda se u relativno maloj pogonskoj snazi, popunjenosti zapremine, zauzimaju manju podnu površinu za postavljanje. Kao loše osobine može se navesti slab intenzitet mešanja, lošije se mešaju komponente koje su zastupljene u manjem odnosu, uspešno se mešaju samo suve komponente, masne komponente se teško mešaju jer se stvorene grudve ne mogu razbiti. Mešanje traje relativno dugo, otežano je čišćenje posebno u slučaju punog transportera u oklopu.

Pužni transporteri, pužne mešalice se veoma intenzivno koriste u industriji za proizvodnju i preradu hrane, plastike, mineralnih sirovina, u poljoprivrednoj proizvodnji kao i u prerađivačkoj industriji za podizanje i/ili transport rasutih materijala na kratkim i srednjim rastojanjima. Uprkos njihovoj očiglednoj konstruktivnoj jednostavnosti, sam čin transporta je veoma složen za razumevanje, pa se konstruktori često oslanjaju na iskustvene podatke pri konstruisanju i izradi ovih transportera. Osobine pužnih transportera su određene radnim uslovima (kao što su: brzina rotacije vratila puža, ugao pod kojim je nagnut pužni transporter, nivo zapreminskog punjenja puža, itd.).

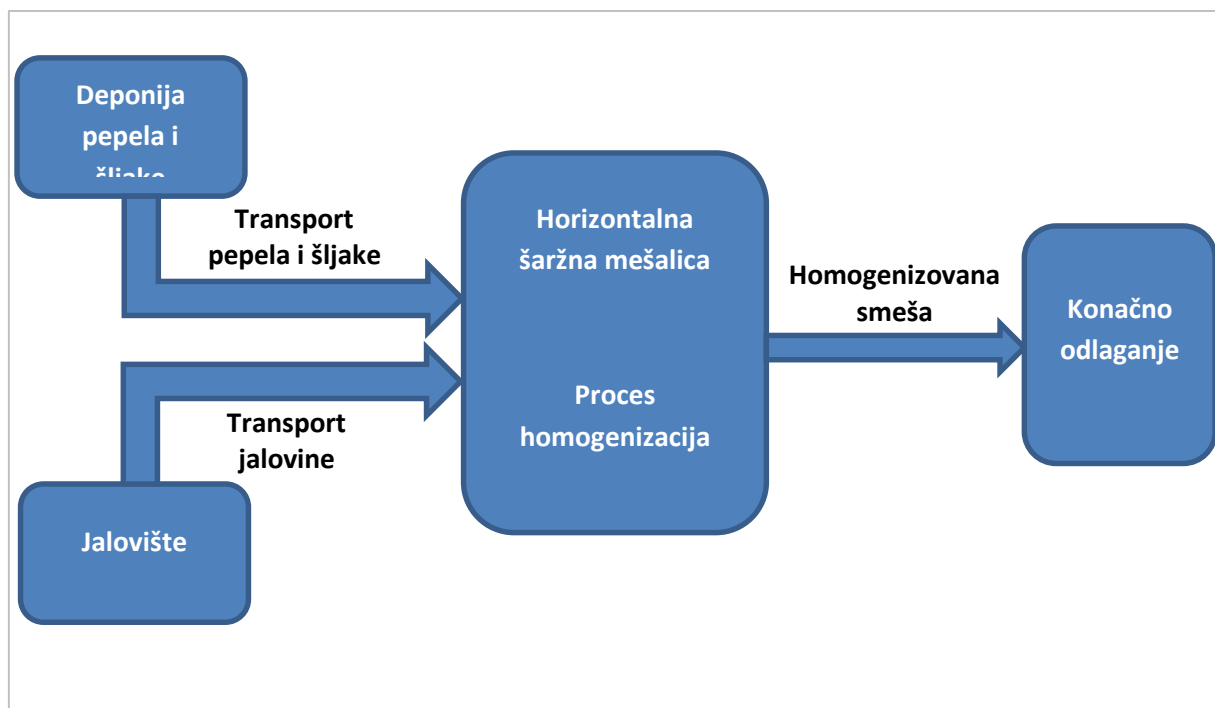
## 6.2 Predložene metode za mešanje pepela i šljake sa jalovinom

Problematiku mešanja pepela i šljake sa jalovinom možemo rešiti na više načina:

- šaržnim mešanjem
- kontinualnim cilindričnim mešalicama i
- mešanjem tokova materijala.

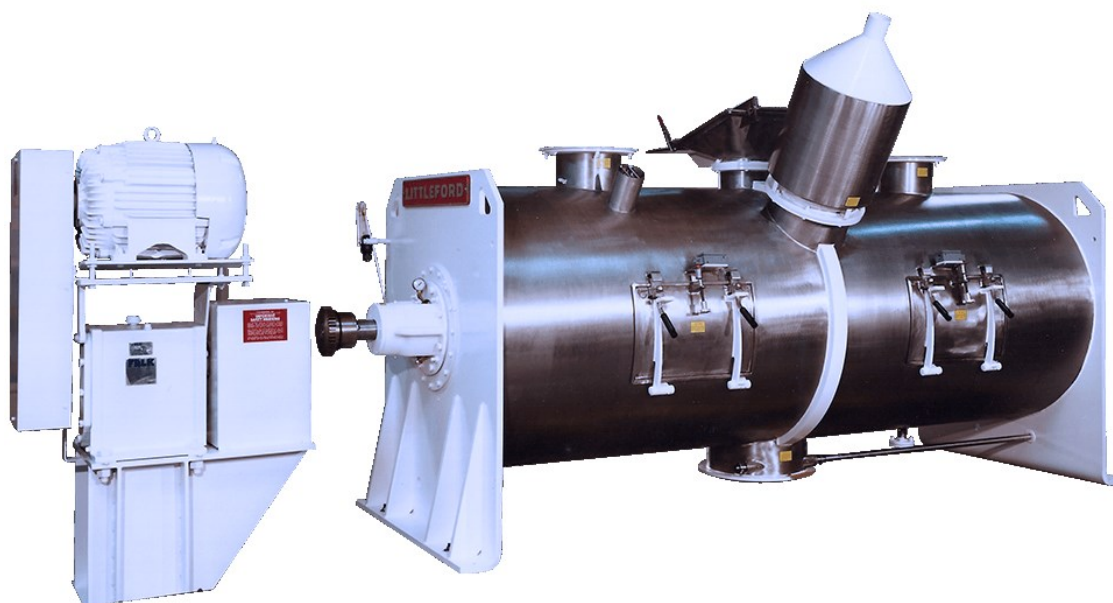
**Šaržno mešanje** mešalicama u kojima se mešanje odvija u određenoj zapremini. Čestice se pobuđuju i mešanje se odvija uz pomoć lopatica koje rotiraju unutar zapremine. Prvo se treba dopremiti određena masa pepela i šljake do instalirane opreme za mešanje, takođe se treba

dopremiti i određena mase jalovine, koja se proračunava u odnosu na masu pepela i šljake, u predloženom odnosu. Ovakav vid iziskuje i montiranje kolske vage kako bi se pratila dostavljena masa materijala za mešanje. Dostavljeni materijal poznatih masa se ubacuje u mešač u adekvatnom odnosu i započinje se proces mešanja. Nakon završetka homogenizacije, mešalica se zaustavlja, mešalica se potom prazni, a dobijena homogena smeša se transportuje do mesta za konačno odlaganje.



*Slika 6.1: Blok šema procesa mešanja – šaržno mešanje*

Za ovakav vid mešanja moguće je projektovanje i ugradnja horizontalne dvoosne lopatičaste šaržne mešalice. Ovakvu opremu karakteriše veoma brzo mešanje, sa malim brojem obrtaja osovina sa pedalama, visok stepen umešanosti nakon kratkog vremena mešanja i veoma snažno umešavanje. Isti stepen i kvalitet brzine i kvaliteta umešanosti se postiže kako sa 100% popunjenom mešalicom (do nivoa sredine osovina sa pedalama), tako isto u rasponu od 40% do 140% popunjenosti mešalice.



*Slika 6.2: Izgled jedne šaržne horizontalne mešalice*

Ovakvo rešenje iziskuje dodatne troškove, najviše u procesu transporta i zahteva dosta operativnih i kadrovskih promena.

**Kontinualno mešanje** cilindričnom mešalicom, podrazumeva preusmeravanje toka jalovine do kontinualnog mešača, kao i preusmeravanje toka pepela i šljake. Za ovakav vid rešenja može se upotrebiti kontinualni horizontalni mikser sa jednom osovinom. Ovakav mešač se sastoji od cilindrične, bubnja, posude za mešanje sa ulaznim otvorom na jednom kraju bubnja a izlaznim otvorom na suprotnom kraju. Na krajevima bubnja nalaze se ploče na kojima su montirane pogonske jedinice sa kompletnim prenosom električne energije. Unutar bubnja za mešanje kao alat za mešanje služi osovina sa montiranim lopaticama u obliku rala ili lopaticama sa oštrim kosinama, koje su montirane u posebnom rasporedu. Rezultat je turbulencija u mešavini koja stalno uključuje sve čestice proizvoda u procesu mešanja. U nekim slučajevima, kako bi se dobio željeni efekat mešanja, moguće je instalirane posebno navođenog propelera velike brzine.

Kontinuirani mikseri mogu da rade na principu mehanički generisanog fluidizovanog sloja. Alat za mešanje se rotira u blizini horizontalne, cilindričnog bubnja podižući komponente koje treba mešati do otvorenog prostora za mešanje. Željeni kvalitet smeše se postiže pre nego što proizvod dođe do izlaznog otvora na mešaču. Kontinuirani mikseri su pogodni za suve rasute čvrste materije (prah, granule, kratka vlakna), suvi rasute čestice + tečnosti (vlaženje + granuliranje), mulj ili paste niske viskoznosti.

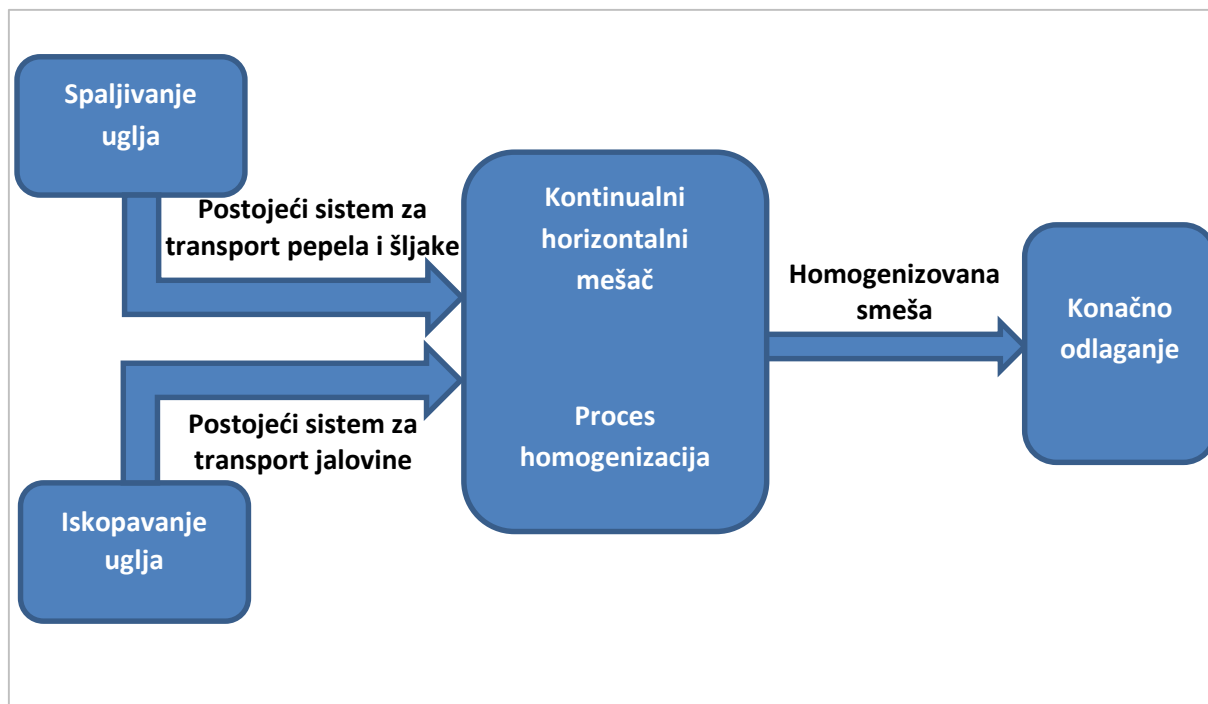
Kapacitet ovakvih mešača doseže do 1000 m<sup>3</sup>/h, u zavisnosti od potreba i konfiguracije mešača, može da radi i sa dodatnom tečnošću. Prednosti ovakvih mešača su maksimalna homogenost mešavine, minimalno održavanje, izdržljiv, prilagodljiva snaga u zavisnosti od potreba.



*Slika 6.3: izgled kontinualnog horizontalnog mešača*

Ovakav sistem zahteva montiranje horizontalnog kontinualnog mešača, koji bi trebao da bude mobilan, usled tehničkih potreba na jalovištu. Konvejeri koji transportuju jalovinu od mesta iskopavanja uglja do meste konačnog odlaganja bi ubacivali jalovinu u mešač. Istovremeno treba preusmeriti postojeći sistem za transport pepela i šljake koji bi se takođe ulivao u mešač. Nakon mešanja i dobijanja homogenizovane smeše, ista bi se izbacivala na mesto za konačno odlaganje. Kod ovakvog sistema ima dosta problema koje treba prevazići. Trebalo bi napraviti i povratni vod za višak tečnosti koji bi se javljao usled hidro transporta pepela i šljake. Kako je ovo kontinualni mešač mora se obezbediti i kontinualni dotok jalovine i pepela i šljake, i to u odgovarajućem odnosu.





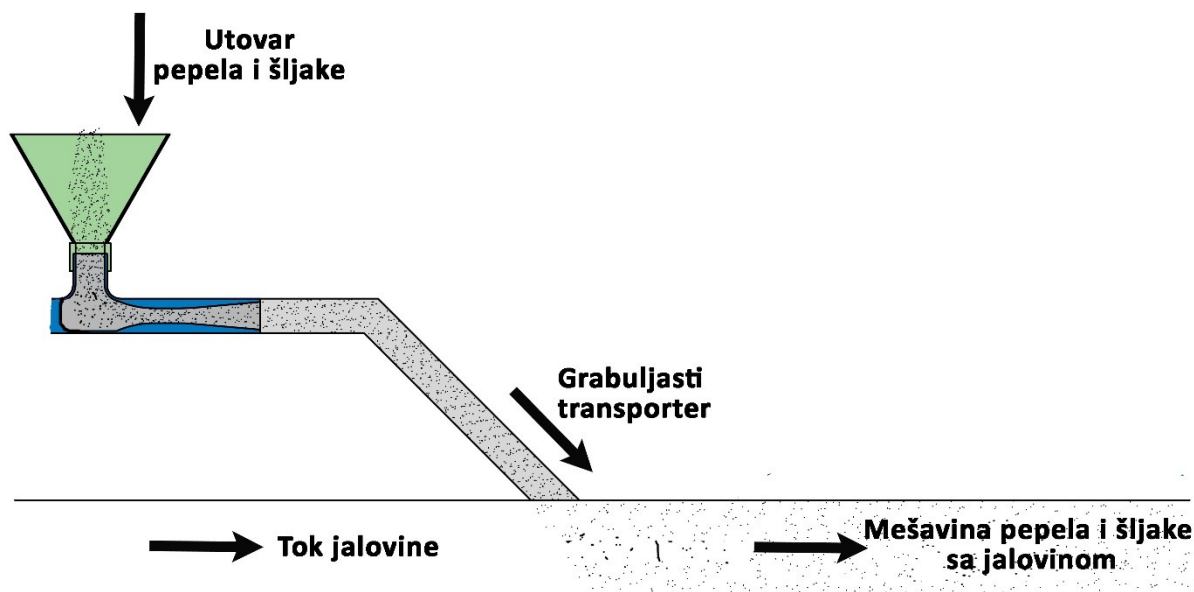
*Slika 6.4: Blok šema procesa mešanja – kontinualno mešanje*

Zbog tehničkih karakteristika terena, i samih materijala koji treba da se mešaju, kao i sa ekonomskog stanovišta predlaže se sledeći postupak za homogenizaciju pepela i šljake sa jalovinom:

- Transport pepela i šljake do jalovišta kopa;
- U budućnosti je moguće i proširenje današnjeg sistema za transport pepela i šljake do jalovišta;
- Nabavka i postavljanje grabuljastog transportera na jalovište kopa.

Prilikom iskopavanja uglja, jalovina se transportuje preko konvejera do konačnog mesta za odlaganje. Predlaže se da postavljanje grabuljastog transportera na pogodnom mestu, koji bi prebacivao pepeo i šljaku do toka jalovine. Na ovaj način bi se postiglo adekvatno mešanje pepela i šljake sa jalovinom. Poznajući maseni protok jalovine i zapremine (nasipne mase) pepela i šljake, može se podesiti mešanje u predloženom odnosu. Dodavanje pepela i šljake verovatno ne bi bilo konstantno, tako da bi predloženi odnos verovatno bio i veći u korist jalovine, tako da ne postoji bojazan da se kvalitet jalovine naruši dodavanjem pepela i šljake.





Slika 6.5: Šema procesa mešanja – grabuljastim transporterom

Grabuljasti transporter se sastoji iz nepokretnog korita (oluka) koje je učvršćeno na nosećoj konstrukciji transportera i vučnih lanaca sa točkovima koji nose između sebe grabulje ili lopatice za potiskivanje materijala u žlebu. Lopatice potiskuju materijal a potom se vraćaju. Radna strana transportera može da bude gornja ili donja, međutim treba imati u vidu da je sipanje materijala iz transportera znatno lakše ako je radna strana donja.

Pri kretanju uzduž žleba, grabulje ne bi trebalo da menjaju svoj položaj usled delovanja sila otpora pri guranju materijala. Iz tog razloga bira se određena veličina koraka i veličina grabulja, kako se materijal ne bi gomilao između njih. Pored radnih žlebova pravougaonog oblika postoje i sa kosim stranama, koji imaju prednost u tome što se stvaraju mnogo manji otpori pri kretanju materijala (i do 20%). Pošto se kod ovih transportera materijal prenosi klizanjem po nepokretnom koritu, to su potrošnja energije i habanje žlebova veći nego kod trakastih transportera.

Osnovne mane grabuljastih transportera u odnosu na trakaste i pločaste transportere su: veća potrošnja energije, mogućnost drobljenja transportovanog materijala i habanje žlebova. Međutim imaju i svoje prednosti koje se ogledaju u: manja im je težina i cena nego pločastih transportera, imaju mogućnost istovara materijala na željenom mestu i mogu zahvatati materijal iz gomile što je u ovom slučaju veoma važno.

Kapacitet grabuljastih transportera se kreće od  $100 \div 150 \text{ t/h}$  a dužina na koju se materijal transportuje ne prelazi  $50 \div 60 \text{ m}$ .

Kapacitet grabuljastih transportera se računa po sledećem obrascu:

$$Q = 3600 \cdot B \cdot h \cdot \beta \cdot \psi \cdot \rho \cdot v \text{ [t/h]}$$

gde je:

B - širina korita (m);

$h$  - visina korita (m);

$\beta$  - koeficijent koji vodi računa o srednjoj efektivnoj površini preseka materijala (tabela 6.1);

$\psi$  - koeficijent punjenja (0.5 ÷ 0.6) .

$Q$  - kapacitet transporta, t/h;

$v$  - brzina transportera, m/s

Na osnovu poznatog protoka jalovine, može se izračunati i potreban protok pepela i šljake kako bi se postigao željeni odnos, i na osnovu toga i prethodno prikazane jednačine može se adekvatno podesiti grabuljasti transporter.

Tabela 6.1: Koeficijent  $\beta$

| Karakteristika transportovanog materijala | Koeficijent $\beta$ pri nagibu transportera |             |             |            |      |     |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|-------------|------------|------|-----|
|                                           | 0°                                          | 10°         | 20°         | 30°        | 35°  | 40° |
| <b>Lako rasipni materijali</b>            | <b>1</b>                                    | <b>0.85</b> | <b>0.65</b> | <b>0.5</b> | ---- | --- |
| Teško rasipni materijali                  | 1                                           | 1           | 0.85        | 0.75       | 0.6  | 0.5 |

Za orijentaciono određivanje snage elektromotora za pogon grabuljastog transportera koristi se sledeći obrazac:

$$N = \frac{Q \cdot L_1 \cdot \omega}{367 \cdot \eta}$$

gde je:

$Q$  - kapacitet transporta u t/h;

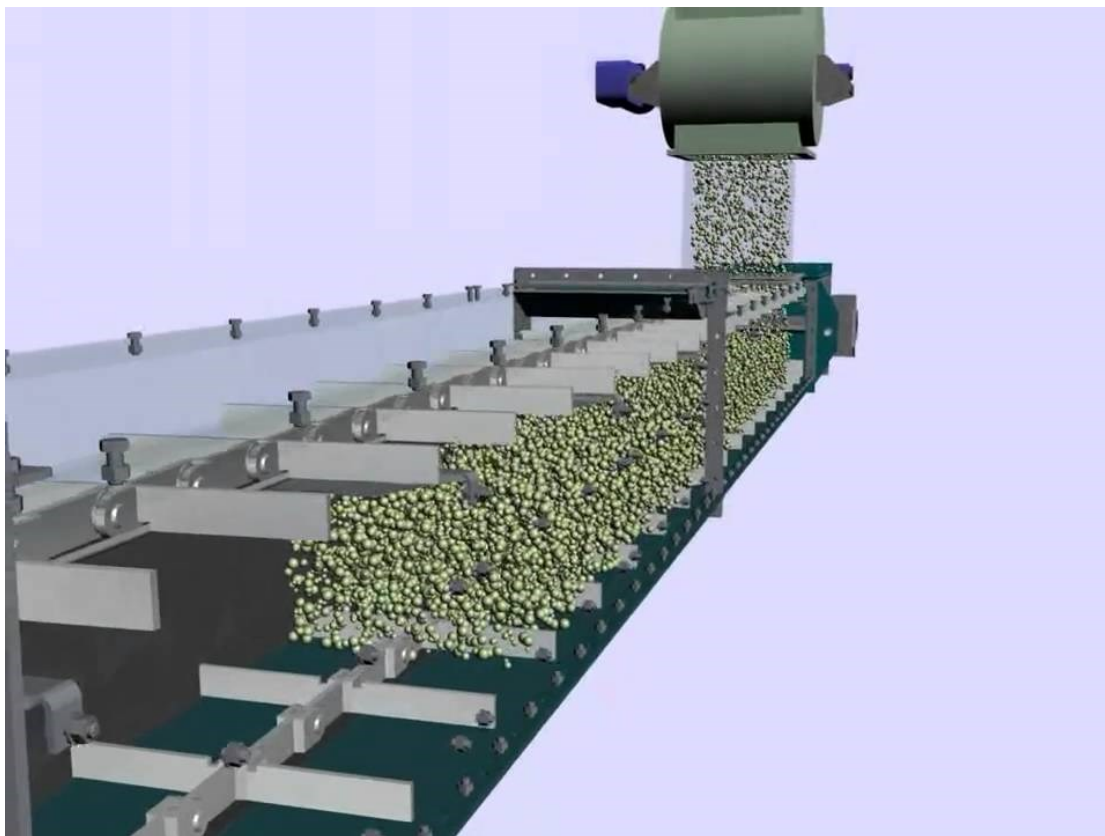
$L_1$  - dužina transportera izmerena po horizontali u m;

$\omega$  - koeficijent čija se veličina bira iz tabele 7, u zavisnosti od tipa lanca i kapaciteta transportera;

$\eta$  - stepen korisnosti (0.8 - 0.85).

Tabela 6.2: Koeficijent  $\omega$

| Tip transportera        | Koeficijent $\omega$ pri kapacitetu transportera(t/h) |     |      |     |      |     |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|-----|------|-----|------|-----|
|                         | 4.5                                                   | 9   | 18   | 27  | 36   | 45  |
| Sa lancima sa točkićima | 2.25                                                  | 1.7 | 1.3  | 1.1 | 1.05 | 0.7 |
| Sa lancima bez točkića  | 4.2                                                   | 3.0 | 2.25 | 1.9 | 1.7  | 1.6 |



*Slika 6.6: Skica grabuljastog transportera*

Na osnovu predmetne problematike, rešenje sa grabuljastim transporterom je prihvatljivo i upravo se ovo rešenje predlaže. Pod datim okolnostima na jalovištu, sa aspekta tehničke izvodljivosti i sa ekonomskog aspekta, ovo rešenje je optimalno. Druga rešenja iziskuju daleko veće investicije, kao i promene trenutno zastupljenih tehnoloških procesa. Grabuljastim transporterom se postiže optimalna izmešanost pepela i šljake sa jalovinom, ali je potreban monitoring dobijene mešavine, usled velikih varijacija u koncentracionim nivoima kako u pepelu i šljaci tako i u jalovini.

## 8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U cilju zbrinjavanja pepela i šljake potrebno je razmotriti moguće opcije koje će imati minimalni uticaj na stanje životne sredine. Jedna od mogućnosti se odnosi i na odlaganje pepela i šljake na jalovišta, tj. mogućnost njihove homogenizacije sa jalovinom. Ovo rešenje se razmatra kao jedna od mogućnosti imajući na umu sprovodljivost samog rešenja u domaćim ulovima, te imajući u vidu tehnološke i ekonomske mogućnosti Organizacije celine „Prerada“, Rj „Toplana“ Vreoci.

Ova studija imala je za cilj teorijsko i eksperimentalno utvrđivanje mogućnosti jalovišta površinskog kopa Ogranka RB „Kolubara“ za privatanje količina teških metala iz pepela i šljake nastalih u Organizacionoj celini „Prerada“, Rj „Toplana“ Vreoci – i to u onim količinama koje neće narušiti postojeće koncentracije tih istih elemenata jalovini<sup>6</sup>. U sklopu studije urađeno je ukupno 18 uzorkovanja. Prvo je rađeno uzorkovanje u cilju utvrđivanja koncentracija teških metala u pepelu i šljaci, i jalovini. Na osnovu rezultata teorijskog modela i izmerenih koncentracija, na osnovu proračuna, utvrđeni su najpogodniji odnosi za mešavine pepela i šljake sa jalovinom. Nakon toga utvrđena je koncentracija teških metala u 6 predloženih mešavina. Zatim je rađena analiza koncentracija teških metala u datim mešavinama a u odnosu na srednje granične vrednosti tih istih metala u jalovini.

Rezultati ove studije su potvrdili mogućnost odlaganja pepela i šljake na jalovišta kopova kao jednu od mogućih opcija zbrinjavanja ovog otpada bez uticaja na postojeće stanje jalovine. Uz poštovanje predloženih odnosa mešavina kao i načina za samu homogenizaciju mešavina, odlaganje pepela i šljake na jalovište neće uticati na povećanje već prisutnih vrednosti koncentracija teških metala u jalovini.

Budući da je proračun odnosa za mešanje pepela i šljake urađen na osnovu samo određenog broja uzoraka, predlaže se redovan monitoring koncentracija teških metala u pepelu i šljaci, jalovini, i u novonastalim mešavinama pepela šljake i jalovine.

---

<sup>6</sup> Potrebno je naglasiti da su izvan okvira projektnog zadatka ove studije pitanja uticaja jalovine na životnu sredinu.

## 7 Literatura

Baccini, P., Brunner, P.H., 2012. Metabolism of the Antrosphere, The MIT Press, London.

SUSTAIN, 2000. Forschungs-und Entwicklungsbedarf für den Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich, Institute of Chemical Engineering, Graz University of Technology, Austria, 1994.Tanskanen.

Fehringer, R., Rechberger, H., Pesonen, H.-L., Brunner, P.H., 1997. Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (ASTRA); Endbericht. Im Auftrag der ARGE Thermik, Wien.

A. Jovanović, Simulacija procesa kretanja čestica pri transportu u statičkim mešalicama i modifikovanim pužnim transporterima primenom metode diskretnih elemenata, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, 2015.

EUROPEAN COMMISSION, Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities, January 2009.

Prof. dr Dragiša Tolmač, Prof. dr Slavica Prvulović, TRANSPORTNI SISTEMI, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, 2012.

Anonimus, <http://www.redler.com/en/products/conveyors-eleveyors/>, 2016.

Anonimus, <http://www.littleford.com/equipment-lineup.php>, 2016.

Anonimus, <http://www.wamgroup.com/en-GB/corporate/Product/WAH/Continuous-Single-Shaft-Mixers?s=607>, 2016.