

JU ZAVOD ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA CRNE GORE  
GEOLOGICAL SURVEY OF MONTENEGRO

---

UDK: 55/56

ISSN 0435-4249

# GEOLOŠKI GLASNIK

## GEOLOGICAL BULLETIN

KNJIGA XVIII BOOK

GEOLOŠKI GLASNIK	KNJIGA XVIII	str. 165	PODGORICA, 2023
------------------	--------------	----------	-----------------

Uređivački odbor - Editorial Board

dr Marko Pajović, prof. dr Branislav Glavatović, prof. dr Milan  
Radulović, mr Vladan Dubljević, dr Momčilo Blagojević,  
mr Neda Dević, dr Darko Božović, dr Martin Đaković,  
dr Slobodan Radusinović

Glavni urednik - Chief Editor  
dr Slobodan Radusinović

Tehnički urednici - Technical Editor  
dr Martin Đaković i mr Neda Dević

Autori su naučno odgovorni za sadržaj svojih radova  
The author are responsible for the content of their papers

*Adresa - Adress: Geološki glasnik, JU Zavod za geološka istraživanja,  
Naselje Kruševac bb, 81 000 Podgorica, Crna Gora*

Grafičko uređenje - Graphical design  
mr Marinko Račić

Štampa: Art Grafika, Podgorica  
Tiraž: 100 primjeraka

JU ZAVOD ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA CRNE GORE  
GEOLOGICAL SURVEY OF MONTENEGRO

---

UDK: 55/56

ISSN 0435-4249

# GEOLOŠKI GLASNIK

## GEOLOGICAL BULLETIN

KNJIGA XVIII BOOK

GEOLOŠKI GLASNIK	KNJIGA XVIII	str. 165	PODGORICA, 2023
------------------	--------------	----------	-----------------

## SADRŽAJ - CONTENTS

### **BOŽIDAR V. ĐOKIĆ**

Jalovišta nekih rudnika metala u Srbiji i njihovo okruženje  
*Tailings dumps of some metal mines in Serbia and the environment* 9 - 26

---

### **DARKO BOŽOVIĆ, VLADIMIR SIMIĆ**

Arhitektonsko-građevinski kamen Crne Gore, stanje i potencijali  
*Architectural-building stone of Montenegro, condition and potential* 29 - 47

---

### **DRAGAN S. RADULOVIĆ, DARKO BOŽOVIĆ, JOVICA STOJANOVIĆ, VLADIMIR JOVANOVIĆ, DEJAN TODOROVIĆ, BRANISLAV IVOŠEVIĆ, SONJA MILIĆEVIĆ**

Istraživanje u cilju definisanja tehnološkog procesa dobijanja punila za upotrebu u različitim industrijama na osnovu kračnjaka "Glavatske kuće"-Kotor  
*Investigation in order to define the technological process of obtaining fillers for use in various industries on the basis of limestone "Glavatske kuće"-Kotor* 49 - 69

---

### **DARKO BOŽOVIĆ, IVAN DANILOVIĆ, DRAGAN RADULOVIĆ**

Krečnjaci ležišta tehničko-građevinskog kamena Platac kao karbonatna sirovina  
*Limestones of Platac technical-building stone deposits as carbonate raw materials* 71 - 81

---

### **MIA JOVANOVIĆ, SLOBODAN RADUSINOVIĆ, VLADIMIR SIMIĆ**

Dosadašnja saznanja o bijelim boksitima na prostoru Crne Gore  
*Current knowledge about white bauxites in Montenegro* 83 - 98

---

### **NIKOLIĆ GOJKO, ĆULAFIĆ GOLUB, ĐUROVIĆ RADOVAN, GOLIJANIN JELENA, VUJOVIĆ FILIP**

Seizmičke i kartografske podloge u funkciji prostorno plan(er)ske dokumentacije  
*Seismic and cartographic basis in the function of spatial planning documentation* 101 - 112

---

## SADRŽAJ - CONTENTS

### **MILAN RADULOVIĆ**

Hidrogeološke karakteristike terena duž planirane trase  
puta Šćepan polje–Plužine

115 - 134

*Hydrogeological characteristics of the terrain along the  
planned road Šćepan polje–Plužine*

---

### **MARINKO RAČIĆ**

Koncept baze podataka za potrebe JU Zavoda za geološka  
istraživanja Podgorica

137 - 142

*Concept of database according to needs of Geological  
survey of Montenegro, Podgorica*

---

### **VLADIMIR JOVANOVIĆ, DEJAN TODORVIĆ, DRAGAN S. RADULOVIĆ, BRANISLAV IVOŠEVIĆ, SONJA MILIĆEVIĆ, DARKO BOŽOVIĆ**

Peletizacija kao kvalitetna alternativa za granulaciju kalijum  
i amonijum sulfatnog đubriva

145 - 152

*Peletizacija kao kvalitetna alternativa za granulaciju kalijum  
i amonijum sulfatnog đubriva*

---

### **IN MEMORIAM**

157 - 163

IN MEMORIAM

Slobodan Rašović

157

dr Rajka Radoičić

161

*Vladimir Jovanović<sup>1</sup>, Dejan Todorović<sup>1</sup>, Dragan S. Radulović<sup>1</sup>, Branislav Ivošević<sup>1</sup>,  
Sonja Milićević<sup>1</sup>, Darko Božović<sup>2</sup>*

## **PELETIZACIJA KAO KVALITETNA ALTERNATIVA ZA GRANULACIJU KALIJUM I AMONIJUM SULFATNOG ĐUBRIVA**

### ***Apstrakt***

Kalijumove i amonijumove soli su neophodne za ispunjavanje nutritivnih potreba useva. Dok se granulacija ovih materijala tradicionalno vrši sabijanjem na valjcima, potražnja za okruglim i manje ugaonim proizvodom dovodi do toga da neki proizvođači đubriva uvedu dodatnu proizvodnu liniju u svoje operacije, peletizaciju (vlažno granuliranje) sa disk peletizatorom. U ovom radu su date moguće alternative u procesu proizvodnje kalijum i amonijum sulfatnih đubriva, koje pruža proces peletizacije.

***Ključne reči:*** peletizacija, granulacija, kalijumova đubriva, amonijum-sulfatna đubriva.

## **PELLETIZATION AS A QUALITY ALTERNATIVE FOR GRANULATION OF POTASSIUM AND AMMONIUM SULFATE FERTILIZER**

### ***Abstract***

Potassium and ammonium salts are necessary to meet the nutritional needs of crops. While the granulation of these materials has traditionally been done by roller compaction, the demand for a rounder and less angular product has led some fertilizer manufacturers to introduce an additional production line to their operations: pelletization (wet granulation) with a disc pelletizer. This paper presents possible alternatives in the production process of potassium and ammonium sulfate fertilizers, provided by the pelletization process.

***Key words:*** pelletization, granulation, potassium fertilizer, ammonium sulfate fertilizer.

<sup>1</sup> *Institute for technology of nuclear and other mineral raw materials, 86 Franchet d'Espèry Street, Belgrade, Serbia, v.jovanovic@itnms.ac.rs*

<sup>2</sup> *Geological Survey of Montenegro, Podgorica, Montenegro, bozovic.d@geozavod.co.me*

## 1. UVOD

Uz mnoge prednosti u odnosu na granule proizvedene sabijanjem u valjcima (granulacija), peletizacija omogućava proizvođačima đubriva da u svoju ponudu uključe proizvod veće vrednosti, zadovoljavajući rastuću potražnju za visokokvalitetnim i specijalnim đubrivima.

Kompaktiranje valjcima, suvi pristup granulaciji koji koristi ekstremni pritisak kako bi se fino spojile zajedno, formira nazubljene čestice nepravilnog oblika unutar željenog opsega veličina (Feeco international). Kompaktiranje (zbijanje) je ostalo poželjna metoda za aglomeraciju kalijumovih i amonijumovih soli jer nudi niske operativne troškove i dobro odgovara samolepljivim karakteristikama ovih materijala (Hoche et al., 2008); istorijski, kada su proizvođači pokušavali da prerade kalijumove i amonijumove soli tehnikama vlažne granulacije, materijal bi formirao vlažnu kristalnu pulpu umesto željenih granula.

Danas napredak u razumevanju ovih materijala i principa vlažne granulacije otvara nove mogućnosti za proizvode kao što su:

- Kalijum sulfat ili sulfat kalijuma ( $K_2SO_4$ , ili SOP)
- Kalijum hlorid ili murijat potaša (KCl, ili MOP)
- Amonijum sulfat (AS)
- Druge amonijumove soli

Kako ishrana useva postaje sve specijalizovanija i specifična za primenu, a standard za kvalitet đubriva se povećava, mnogi poljoprivredni proizvođači spremni su da plate malo više za značajne prednosti koje okrugle granule đubriva mogu da ponude, otvarajući vrata novom tržištu za proizvođače.

Treba imati u vidu da kada je potrebna amonijacija, kao što je proizvodnja amonijum nitrata ili amonijum fosfat nitrata, amonijacija treba da se sprovede u reaktorima pre diska za peletizaciju kako bi se izbeglo značajno dimljenje i gubitak amonijaka. Iz tog razloga, pristup peletizacije diskovima (peletizacionim tanjirima) se obično ne koristi ako je uključena amonijacija, a proizvođači se umesto toga odlučuju za granulator sa rotacionim bubnjem (Hoche et al., 2008). Na slici 1 možemo videti oporedno prikazane sitnozrni i peletizirani kalijumov materijal.



*Slika 1. Kalijumov sitnozrni materijal pre i posle aglomeracije na disk peletizatoru*



## 1.1. PREDNOSTI SFERIČNIH GRANULA ĐUBRIVA U ODNOSU NA UGAONE

Peletizacija stvara sferičniji, ujednačeniji granularni proizvod koji se može pohvaliti mnogim prednostima u odnosu na ugaone granule proizvedene sabijanjem na valjcima (Pietsch, 2001). Ovo uključuje:

- **Poboljšano rukovanje i primena** - U poređenju sa ugaonim granulama koje pokazuju lošu reologiju, okrugle granule su inherentno tečljivije (protočnije) (Petrović, 2008). Ova poboljšana tečljivost poboljšava rukovanje u svakoj fazi životnog ciklusa proizvoda, od punjenja i skladištenja, pa sve do primene. Okrugle granule se takođe ravnomernije šire od nazubljenih, poboljšavajući tačnost primene, distribuciju hranljivih materija i predvidljivost rezultata.
- **Smanjena prašina i trošenje** - Jedan od načina na koji se značajno poboljšava rukovanje sa okruglim granulama je smanjenje prašine. Zakošene ivice granula iz valjkastog kompaktora su sklone trljanju jedna uz drugu i razbijanju u sitne čestice, stvarajući prašinu (trošenje) (Petrović, 2008). Iako postoje neke proizvodne metode kako bi se smanjila mogućnost stvaranja prašine sa granulama za sabijanje, ove tehnike povećavaju troškove proizvodnje i još uvek se ne mogu porediti sa minimalnim stvaranjem prašine od okruglih granula, koje ostaju netaknute jer nema oštih ivica koje bi se trljale i odvajale.
- **Poboljšana varijabilnost proizvoda** - Fleksibilna priroda procesa peletiranja omogućava veću varijabilnost proizvoda. Proces peletiranja je veoma fleksibilan i može da primi više aditiva u obliku tečnosti i čvrste materije. Ova fleksibilnost omogućava proizvođačima da lako uključe korisne aditive kao što su mikronutrijenti, organska veziva, premazi i još mnogo toga, kako bi poboljšali formulaciju. Proces takođe pruža mogućnost operaterima da lako podese karakteristike veličine ili gustine.
- **Brža isporuka hranljivih materija** - Okrugle granule su manje guste od zbijenih granula i imaju potencijal da poboljšaju performanse proizvoda tako što se brže razlažu od granula dobijenih kompaktiranjem, promovišući bržu isporuku hranljivih materija.
- **Redukovano sredstvo za oblaganje** - Oblaganje postaje sve popularniji pristup modifikovanju formulacije đubriva, kao i karakteristika rukovanja i performansi, bez obzira da li premaz smanjuje mogućnost zgrušavanja, smanjuje prašinu, kontroliše brzinu oslobađanja, uključuje mikronutrijente ili na neki drugi način. Okrugli oblik dobijen postupkom peletiranja je idealan za oblaganje đubriva, jer ima niži odnos površine prema zapremini (SAV) od granula nepravilnog oblika, što omogućava proizvođačima da koriste manje sredstva za oblaganje.

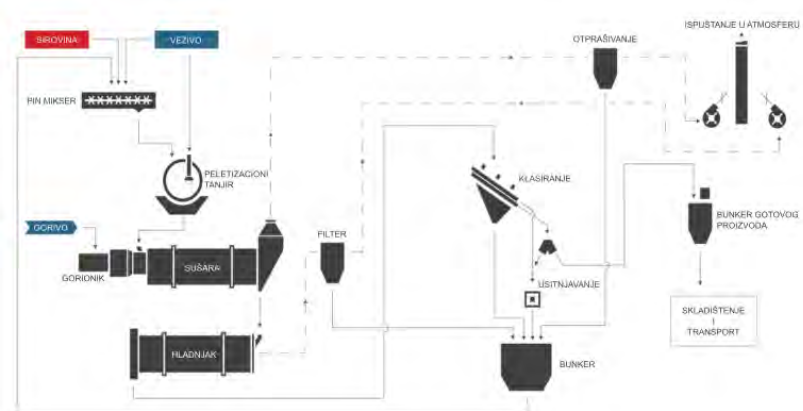
## **2. PELETIZACIJA SOLI KALIJUMA I AMONIJUMA POMOĆU PELETIZACIONOG DISKA**

Dok se mikser sa lopaticama i bubanj za granulaciju široko koriste za izvođenje vlažne granulacije u industriji đubriva i svakako nude efikasno rešenje za preradu, proizvođači se okreću disk peletizatoru posebno iz nekoliko razloga:

- **Nisko recikliranje = visoka efikasnost** - Jedan od najprivlačnijih aspekata pristupa disk peletizatora je efikasnost koju proces nudi. Takođe poznat kao peletizacioni tanjir, disk peletizator prirodno klasifikuje materijal na rotirajućoj posudi prema veličini čestica. Klasifikacija omogućava operaterima da ciljaju i prskaju tečni rastvor/vezivno sredstvo kako bi se podstakao rast samo na materijalu manje veličine, u velikoj meri eliminišući proizvodnju prevelikih čestica i smanjujući količinu vlage koja je potrebna u procesu (Sastry and Fuerstenau, 1977). Ova radnja klasifikacije takođe generalno daje operaterima bolju kontrolu nad veličinom čestica rafiniranja, omogućavajući im da izvrše prilagođavanje finog podešavanja veličine čestica ili rasta peleta tokom proizvodnje. Ovo značajno smanjenje količine recikliranog čini proces mnogo efikasnijim, jer se mora sušiti mnogo manje recikliranog materijala.
- **Rafinirani proizvod** - Disk peletizator proizvodi rafiniranije granule u poređenju sa drugim metodama, posebno kada se koristi pin mikser kao korak predkondicioniranja. Pin mikser (mikser sa iglicama ili šipkicama) proizvodi homogenu mešavinu čvrstih i tečnih komponenti, istovremeno formirajući male pelete semena koje se koriste kao sirovina za disk (Gluba, 2002). Ovo ostavlja disk peletizatoru jedini zadatak da povećava i zaokružuje pelete semena. Rezultat je dobro izmešan, otprašen ulazni materijal na disku koji stvara ujednačenije, sferične granule.

## **3. PROCES PELETIZACIJE**

Proces peletizacije varira u zavisnosti od jedinstvenog materijala koji se obrađuje i specifičnih ciljeva operacije. Ovde je opisano tipično kontinualno postrojenje za peletizaciju, čiju šemu procesa možemo videti predstavljenu na slici 2.



Slika 2. Šema procesa koja ilustruje tipičnu postavku miksera i diska za peletiranje (Jovanović i dr., 2022)

### 3.1.PRIPREMA ULAZNOG MATERIJALA (KONDIIONIRANJE)

Kao što je pomenuto, pin mikser se često koristi za pripremu materijala pre peletizacije na disku (tanjiru). Ovde se sitni materijal, tečno vezivo i svi aditivi homogeno mešaju u jednoličnu smešu (Van de Walle and Smith, 1992). Kako se smeša kreće kroz mikser, počinju da se formiraju guste pelete semena (jezgra, začетка peleta).

### 3.2.PELETIZACIJA

Pelete semena iz miksera se stavljaju na disk peletizator, prikazan na slici 3. Kontinuirano se dodaje dodatni sitni materijal i vezivno sredstvo. Kako pelete semena prolaze kroz sitni ulazni materijal i vezivo, one postaju lepljive, skupljajući još finoća. Dok nastavljaju ovaj proces dok se prevrću na rotirajućem disku, pelete semena rastu u efektom „grudve snega“ poznatom kao koalescencija. Kada pelete dostignu željenu veličinu, centrifugalna sila dovodi do toga da se manje pelete nedovoljne veličine (krupnoće) nose okolo i ostaju na disk peletizatoru da nastave da rastu dok se veće pelete potrebne veličine ispuštaju iz diska. Sa diska se pelete potrebne veličine dovode u rotacionu sušaru (Feeco international).



Slika 3. 3D Model disk peletizatora

### **3.3. SUŠENJE I HLAĐENJE**

Pelete se suše u rotacionom bubnju za sušenje, dovodeći ih u željeni opseg vlažnosti krajnjeg proizvoda. Rotacija rotacionog bubnja dalje se okreće i polira pelete. Ako je potrebno, rotacioni hladnjak prati sušaru, smanjujući temperaturu materijala za pakovanje ili rukovanje.

Proizvod prolazi kroz sito, sortirajući pelete prevelike i manje veličine, koje se vraćaju u proces kao reciklaža (pri čemu se veće veličine prvo drobe). Proizvod prema specifikaciji prelazi na pakovanje, skladištenje ili punjenje. Gotov proizvod peletizacije kalijum sulfata kao primer prikazan je na slici 4. Korak oblaganja se takođe može koristiti na gotovim granulama u ovoj fazi.



*Slika 4. Kalijum sulfat obrađen vlažnom granulacijom/peletizacijom, kombinacijom pin miksera i diska za peletizaciju*

## **4. TESTIRANJE PROCESA PELETIRANJA**

Svi materijali (i često isti materijal iz različitih izvora) različito reaguju na aglomerativnu granulaciju, što testiranje čini kritičnom komponentom u razvoju uspešne linije za peletizaciju. Zahtevna priroda aglomeracije kalijumovih i amonijumovih soli putem vlažne granulacije dodatno pojačava ovu potrebu.

Kroz serije testiranja i pilot postrojenja, mogu se proceniti različiti aspekti procesa peletizacije kako bi se identifikovali neophodni parametri za uspešno prevođenje na veće kapacitete i operacije. Ovo često uključuje:

- Procesne varijable kao što su brzina hranjenja ulaznim materijalom, koncentracija veziva, mesta prskanja i dovoda i još mnogo toga,
- Uključivanje korisnih aditiva,
- Bez obzira da li je korak pripreme (kondicioniranja) neophodan ili ne,
- Zahteve za sušenje,
- Parametre oblaganja.

## 5. ZAKLJUČAK

Dok su kalijumove i amonijumove soli ostale dobro korišćene metodom granulacije sa kompaktiranjem valjcima, rastuća potražnja za vrhunskim proizvodom, uparena sa napretkom u principima vlažne granulacije, kao i mnogim prednostima koje nudi peletizacija, ohrabruje mnoge proizvođače đubriva da usvoje tehniku peletizacije zajedno sa svojim postojećim operacijama za proizvode kao što su kalijum sulfat, kalijum hlorid, amonijum sulfat i još mnogo toga. Testiranje igra vitalnu ulogu u uspešnom razvoju ovih komercijalnih linija za peletiranje.

### ZAHVALNOST

Istraživanje prikazano u ovom radu urađeno je uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru finansiranja naučnoistraživačkog rada, po ugovorima sa matičnim brojevima 451-03-47/ 2023-01/200023.

### SUMMARY

Potassium and ammonium salts are necessary to meet the nutritional needs of crops. While granulation of these materials has traditionally been done by roller compaction, the demand for a rounder and less angular product has led some fertilizer manufacturers to introduce an additional production line to their operations, pelletization (wet granulation) with a disc pelletizer. This paper presents possible alternatives in the production process of potassium and ammonium sulfate fertilizers, provided by the pelletization process. While potassium and ammonium salts remain well used by the roller compaction granulation method, the growing demand for a superior product, coupled with advances in wet granulation principles, as well as the many advantages offered by pelletization, are encouraging many fertilizer manufacturers to adopt the pelletization technique along with their existing operations. For products such as potassium sulfate, potassium chloride, ammonium sulfate, and more. Testing plays a vital role in the successful development of these commercial pelletizing lines.

Advantages of spherical fertilizer granules compared to angular ones Pelletization creates a more spherical, uniform granular product that boasts many advantages over angular granules produced by roller compaction. This includes:

- Improved handling and application
- Reduced dust and wear
- Improved product variability
- Reduced coating agent
- Faster delivery of nutrients

Pelletization of potassium and ammonium salts using a pelletizing disc offers a refined product, as well as low recycling, i.e. high efficiency The pelletization process consists of:

- Preparation of input material (conditioning)

- Pelletization
- Drying and cooling
- Pelleting process testing.

Through test series and pilot plants, various aspects of the pelletization process can be evaluated to identify the necessary parameters for successful translation to larger capacities and operations. This often includes:

- Process variables such as feed rate, binder concentration, spray and feed locations and more,
- Inclusion of useful additives,
- Regardless of whether the preparation (conditioning) step is necessary or not,
- Requirements for drying,
- Coating parameters.

While potassium and ammonium salts remain well used by the roller compaction granulation method, the growing demand for a superior product, coupled with advances in wet granulation principles, as well as the many advantages offered by pelletization, are encouraging many fertilizer manufacturers to adopt the pelletization technique along with their existing operations. For products such as potassium sulfate, potassium chloride, ammonium sulfate, and more. Testing plays a vital role in the successful development of these commercial pelletizing lines.

## LITERATURA

Feeco international, Agglomeration equipment basics, <https://feeco.com/literature/>

Feeco international, Agglomeration handbook, <https://feeco.com/literature/>

Gluba, T., 2002: *The Effect of Wetting Conditions on the Strength of Granules*. Physicochem. Probl. Miner. Process., v. 36(1), pp. 233-242.

Hoche, A., Naundorf, W., Stahl, I., 2008: *Method for granulation of ammonium sulphate and mineral fertiliser rich in ammonium sulphate*, Worldwide applications, EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG.

Jovanović, V., Todorović, D., Ivošević, B., Radulović, D., Milićević S., Mihajlović M., 2022: *Pelleting process, required equipment and benefits of use*. 8th Balkan mining congress, Belgrade, Serbia, Editors: Slobodan Vujić, Milinko Radosavljević, Svetlana Polavder, Organizer: Mining Institute Belgrade, p 314-320, ISBN 978-86-82673-21-7.

Petrović, M., 2008; *Mineral Processing – Fundamentals of Agglomeration*, Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering: Tuzla, Bosnia and Herzegovina; p. 288.

Pietsch, W., 2001, *Agglomeration Processes – Phenomena, Technologies, Equipment*; Wiley-VCH, Verlag GmbH: Weinheim, Germany.

Van de Walle, R.H., Smith, D., 1992: *Binder for the granulation of fertilizers such as ammonium sulfate*. United States Patent, Patent Number: 5,078,779, Date of Patent: Jan. 7, 1992., Van de Walle et al.

Sastry, K.V.S, Fuerstenau, D.W. 1977. *Kinetics of Green Pellet Growth by the Layering Mechanism*. Transactions of AIME, v. 262, pp. 43–47.