

Dr hab. inż. Jacek FELIKS, prof. AGH

Dr inż. Marcin MAZUR

Department of Machinery Engineering and Transport, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics

AGH University of Science and Technology

Katedra Inżynierii Maszyn i Transportu, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

APPLICATION OF IMPACT HAMMER CRUSHER FOR ROCK SALT PURIFICATION®

Zastosowanie udarowej kruszarki młotkowej do rozdrabniania i oczyszczania soli kamiennej®

Key words: Food salt, crushing, hammer crusher, salt purification.

The article presents the results of research on crushing rock salt. At the Department of Machinery Engineering and Transport, AGH University of Science and Technology in Kraków, an attempt was made to crush salt with a grain size of up to 5 mm. The aim of the research was to obtain a product with a grain size of up to 2 mm with the smallest possible fraction of less than 0.5 mm, which will allow obtaining a product that meets the requirements of customers. The technological system should allow for a minimum efficiency of 20 Mg/h of product. The tests were carried out on two types of crushers: a vibratory jaw crusher and a hammer crusher with a variable grate size. Based on the analysis of the research results, the use of a hammer crusher was proposed. Using this type of crusher with an adequately selected grate allowed to obtain satisfactory results. It was also proposed to modify the crusher's functional elements (hammers), which should increase the efficiency of the process.

Słowa kluczowe: sól spożywcza, kruszenie, kruszarki młotkowe, oczyszczanie soli.

W artykule przedstawiono wyniki badań, dotyczących kruszenia soli kamiennej. W Katedrze Inżynierii Maszyn i Transportu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie podjęto próbę kruszenia soli o uziarnieniu do 5 mm. Celem badań było uzyskanie produktu o uziarnieniu do 2 mm z jak najmniejszym odziałem frakcji poniżej 0,5 mm co pozwoli na uzyskanie produktu spełniającego wymagania odbiorców. Układ technologiczny powinien pozwolić na uzyskanie wydajności wynoszącej minimalnie 20 Mg/h produktu. Badania przeprowadzono na dwóch typach kruszarek: szczękowej kruszarki wibracyjnej i kruszarce młotkowej ze zmiennym rusztem. Na podstawie analizy wyników badań zaproponowano zastosowanie kruszarki młotkowej. Zastosowanie tego typu kruszarki z odpowiednio dobranym rusztem pozwoliło na uzyskanie zadawalających efektów. Zaproponowano również modyfikację elementów roboczych kruszarki co powinno pozwolić na zwiększenie efektywności procesu.

INTRODUCTION

Rock salt (halite) is a sedimentary rock, usually colourless. It can also be white or bluish, formed by halite (NaCl) precipitation during water evaporation from seas or salt lakes. It belongs to the group of chemical rocks. Rock salt deposits occur in the form of domes in sediments of various ages, most often Permian and Tertiary, and they also arise today (e.g. the Caspian Sea). The largest rock salt deposits are in Russia, the USA, Germany, France and China. In Poland, large rock salt deposits are found in the northwest and central part of the country, in Kłodawa and Inowrocław. These deposits come from the Upper Permian - Zechstein. They are mined using the brine flushing method (Inowrocław) and the underground method (Kłodawa). In the vicinity of Bochnia and Wieliczka,

small rock salt deposits come from the Tertiary - Miocene period. These are currently unexploited. Rock salt is used both in the food industry (table salt, evaporated salt) and in the chemical industry (for producing paints and soap). It is used as an agent for defrosting and combating winter slipperiness (road salt). The aim of this study is presented in the article.

Salt rocks are usually inconsistent with the surrounding rocks. There is water, brine, gas and sometimes even traces of oil on the contact surfaces. Protective pillars are therefore intended to protect the boundaries of the deposit that cannot be disturbed by mining excavations. The greatest danger in salt mines is the water hazard. A slight leakage of water or brine may result in the flushing of large channels and cavities, posing a threat of flooding the mine.



Fig. 1. Food salt and road salt [1].

Rys. 1. Sól spożywcza i sól drogowa [1].

The exploitation of rock salt is divided into two methods [1]:

- dry method – breaking out,
- wet method – based on leaching or dissolving with water.

When using the dry method of rock salt extraction, metallic impurities result from the extraction technology, which necessitates their separation [2, 5].

One of the processes related to the production of rock salt is comminution, consisting in dividing individual grains of the material into smaller parts using: crushing, shearing, abrasion, hitting or breaking [8]. Machines called crushers and mills are used to reduce grain size. When designing or selecting an appropriate crusher or mill, parameters such as the hardness of the crushed material, efficiency, regularity of grain dimensions, plasticity, humidity and many others should be considered. There are crushers and mills operating continuously (e.g. roller crushers, ball mills, impact crushers)

and cyclically (jaw crushers) [8]. The use of impact crushers [3, 4] for crushing salt, especially working in closed circuits (with return) [6, 7], is becoming increasingly popular.

STONE SALT AND QUALITY REQUIREMENTS

The raw materials used for mechanical processing are: white rock salt, pink rock salt and potassium-magnesium salt. The product of mechanical processing is rock salt, meeting the requirements of the applicable PN-C-84081-2 standard. Edible salt should meet the parameters required by the standard given in Table 1.

For the crushing tests, the salt was obtained in the grain size range of up to 5 mm. Table 2 and Figure 2 show the grain size distribution of the salt sample provided for testing.

Table 2. Sieve analysis results of all the salt supplied for testing

Tabela 2. Wyniki analizy sitowej całości soli dostarczonej do badań

Screen mesh size d [mm]	Through F [%]	Through sum ΣF [%]
0,8	54,0	54,0
1,0	8,5	62,5
1,6	16,0	78,5
2,0	8,6	87,1
4,0	12,0	99,1
5,0	0,9	100

Source: Own study

Źródło: Badania własne

Table 1. Required parameters of food salt

Tabela 1. Wymagane parametry soli spożywczej

Parameter	Value or requirement
Color	White or white with a natural shade of gray or pink
Smell	No foreign/unpleasant smell
Taste	Salty without any foreign taste, especially bitter
Appearance	Crystalline product
Mechanical contaminations [%]	None
pH of a 1% water solution [-]	6-8
Water H ₂ O at most [%]	0,5
Substances insoluble in H ₂ O at most [%]	1,5
Sodium chloride NaCl at least [%]	97,0
Heavy metals content	The current order of the Minister of Health and Social Welfare on the list of additional substances
Iodine content	The current order of the Minister of Health and Social Welfare on the list of additional substances

Source: Own study based on [1]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [1]

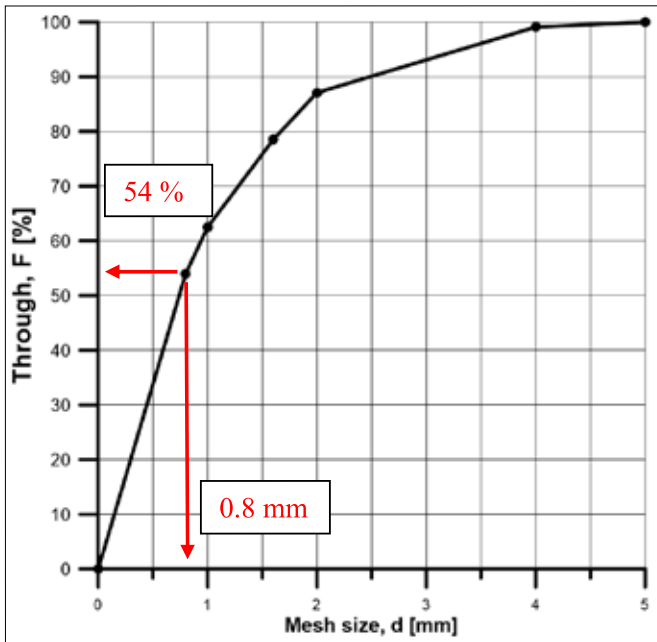


Fig. 2. Feed grain size distribution.

Rys. 2. Krzywa składu ziarnowego całości nadawy.

Source: Own study

Źródło: Badania własne

Due to the assumed technological result (the total product below the grain size $d = 0.8$ mm), in the next step, the feed was divided into grain classes below 0.8 mm and above 0.8 mm. Only samples prepared from the separated class above the grain size $d = 0.8$ mm were used for the crushing tests, as shown in Table 3 and Figure 3.

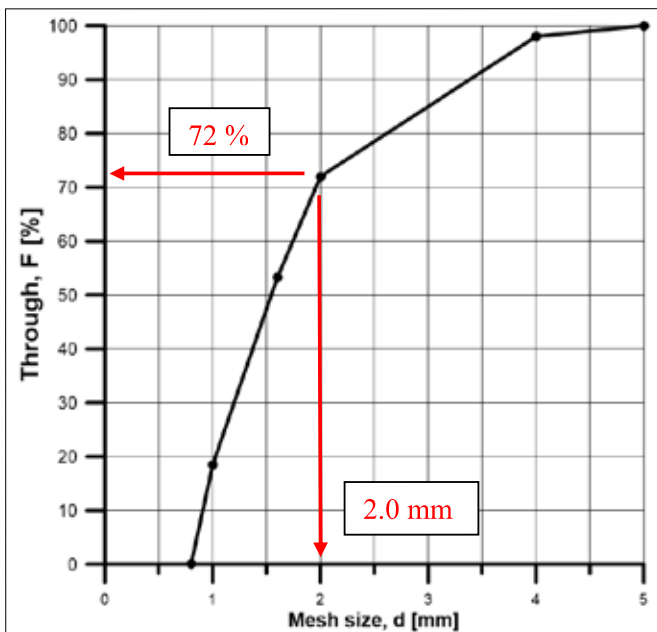


Fig. 3. Grain size distribution of salt samples used for grinding tests.

Rys. 3. Krzywa składu ziarnowego próbek soli wykorzystanych do badań rozdrabniania.

Source: Own study

Źródło: Badania własne

Table 3. Sieve analysis results of the salt samples used for crushing tests

Tabela 3. Wyniki analizy sitowej próbek soli wykorzystanych do badań rozdrabniania

Screen mesh size d [mm]	Through F [%]	Through sum ΣF [%]
0,8	0	0
1,0	18,4	18,4
1,6	34,8	53,2
2,0	18,8	72,0
4,0	26,0	98,0
5,0	2,0	100

Source: Own study

Źródło: Badania własne

ANALYSIS OF THE CRUSHING EFFECTS IN THE VIBRATORY JAW CRUSHER

In the first phase, crushing tests were carried out in a vibratory jaw crusher. The results of the crushing product grain size analysis are presented below. The results were compared regarding the possibility of achieving the assumed technological goal.

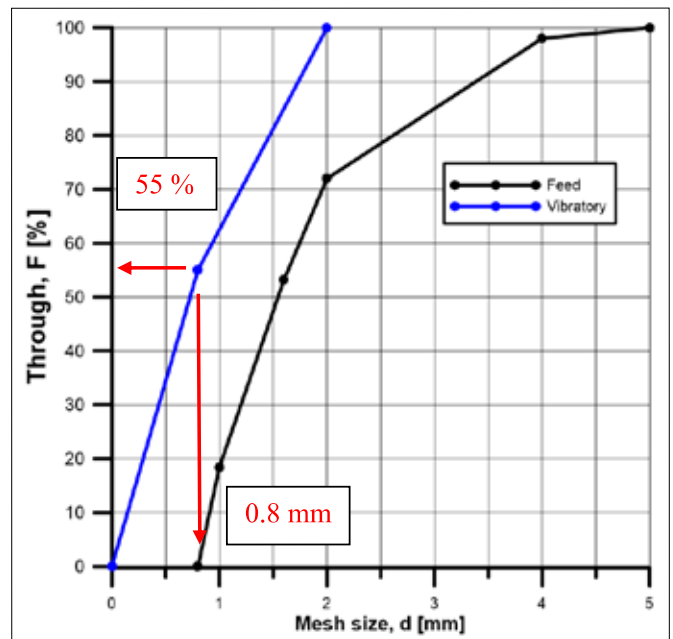


Fig. 4. Grain size distribution of the crushing product from the vibratory jaw crusher.

Rys. 4. Krzywa składu ziarnowego produktu kruszenia z wibracyjnej kruszarki szczękowej.

Source: Own study

Źródło: Badania własne

Table 4. Sieve analysis results of the crushing product from the vibratory jaw crusher

Tabela 4. Wyniki analizy sitowej produktu kruszenia z wi-bracyjnej kruszarki szczękowej

Screen mesh size d [mm]	Through F [%]	Through sum ΣF [%]
0,8	55	55
2,0	45	100

Source: Own study

Źródło: Badania własne

The table 5 shows the degrees of comminution obtained during the crushing of salt samples in the vibratory jaw crusher.

Table 5. Degrees of comminution obtained during the crushing of salt samples in the vibratory jaw crusher

Tabela 5. Stopnie rozdrobnienia produktu kruszenia z wi-bracyjnej kruszarki szczękowej

Degree of comminution	Value
i50	2,2
i90	2,0

Source: Own study

Źródło: Badania własne

ANALYSIS OF THE CRUSHING EFFECTS IN THE IMPACT HAMMER CRUSHER

In the second stage of the research, crushing tests were carried out in an impact hammer crusher with two sizes of the crusher's grate: 1.0 mm and 2.0 mm.

a) Grate with a mesh diameter of d = 1.0 mm

The 1.0 mm grate crushing product grain composition is presented in Table 6 and the grain size distribution on Figure 5.

Table 6. Sieve analysis results of the crushing product from the impact hammer crusher for grate mesh diameter d = 1.0 mm

Tabela 6. Wyniki analizy sitowej produktu kruszenia z kruszarki udarowej młotkowej dla rusztu o średnicy oczek d = 1,0 mm

Screen mesh size d [mm]	Through F [%]	Through ΣF [%]
0,8	85	85
1,6	15	100

Source: Own study

Źródło: Badania własne

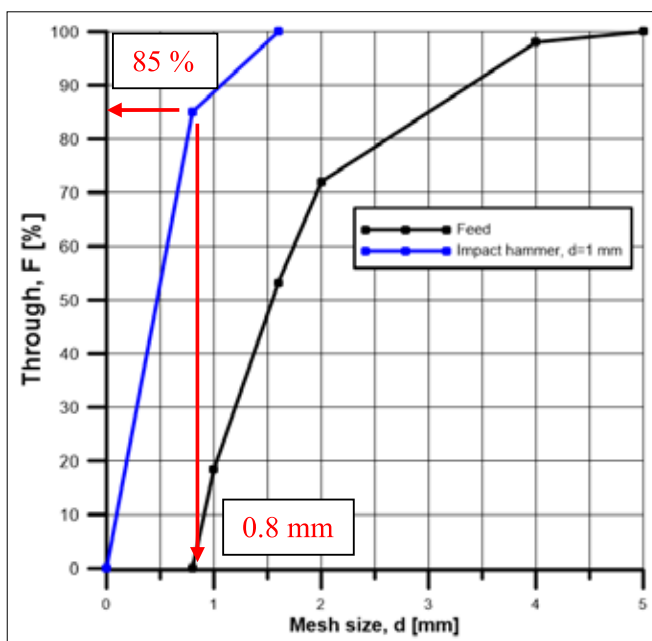


Fig. 5. Grain size distribution of the crushing product from the impact hammer crusher for grate mesh diameter d = 1.0 mm.

Rys. 5. Krzywa składu ziarnowego produktu kruszenia z kruszarki udarowej młotkowej dla rusztu o średnicy oczek d = 1,0 mm.

Source: Own study

Źródło: Badania własne

The table 7 shows the degrees of comminution obtained during the crushing of salt samples in the impact hammer crusher for a grate with a mesh diameter of d = 1.0 mm.

Table 7. Degrees of comminution obtained during the crushing of salt samples in the impact hammer crusher for a grate with a mesh diameter of d = 1.0 mm

Tabela 7. Stopnie rozdrobnienia podczas kruszenia w kruszarce udarowej młotkowej dla rusztu o średnicy oczek d = 1,0 mm

Degree of comminution	Value
i50	3,4
i90	3,2

Source: Own study

Źródło: Badania własne

b) Grate with a mesh diameter of d = 2.0 mm

The 2.0 mm grate crushing product grain composition is presented in Table 8 and the grain size distribution on Figure 6.

Table 8. Sieve analysis results of the crushing product from the impact hammer crusher for grate mesh diameter $d = 2.0$ mm

Tabela 8. Wyniki analizy sitowej produktu kruszenia z kruszarki udarowej młotkowej dla rusztu o średnicy oczek $d = 2,0$ mm

Screen mesh size d [mm]	Through F [%]	Through sum ΣF [%]
0,8	65	65
2,0	35	100

Source: Own study

Źródło: Badania własne

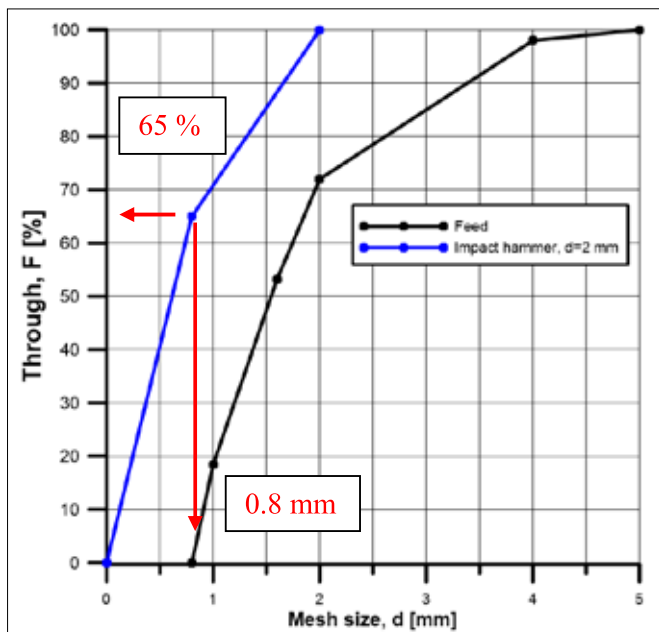


Fig. 6. Grain size distribution of the crushing product from the impact hammer crusher for grate mesh diameter $d = 2.0$ mm.

Rys. 6. Krzywa składu ziarnowego produktu kruszenia z kruszarki udarowej młotkowej dla rusztu o średnicy oczek $d = 2,0$ mm.

Source: Own study

Źródło: Badania własne

The table 9 shows the degrees of comminution obtained during the crushing of salt samples in the impact hammer crusher for a grate with a mesh diameter of $d = 2.0$ mm.

Table 9. Degrees of comminution obtained during the crushing of salt samples in the impact hammer crusher for a grate with a mesh diameter of $d = 2.0$ mm

Tabela 9. Stopnie rozdrobnienia podczas kruszenia w kruszarce udarowej młotkowej dla rusztu o średnicy oczek $d = 2,0$ mm

Degree of comminution	Value
i50	2,5
i90	2,0

Source: Own study

Źródło: Badania własne

SUMMARY

The research carried out at the Department of Machinery Engineering and Transport of the AGH University of Science and Technology has shown that the impact hammer crusher is fully suitable for grinding rock salt.

Analyzing the developed results of crushing rock salt samples, it can be concluded that better technological results, i.e. a greater share of the external grain class <0.8 mm, were obtained during crushing in a hammer impact crusher (85% of the product below 0.8 mm with the grate mesh diameter $d = 1$ mm and 65% with $d = 2$ mm). The mesh diameter of the grate mounted in the crusher has a decisive influence on the proportion of the desired grain size. It should be remembered that while reducing the mesh size of the grate has a positive effect on the grain size of the product; it significantly reduces the efficiency of the process. For this reason, using grates with too small mesh diameters is pointless. In conclusion, for grinding salt with given grain size, it is recommended to use an impact hammer crusher with a grate mesh diameter of about 2.0 mm. With this assumption, it is necessary to return the crushing product to the primary screen to separate grains with a diameter greater than 0.8 mm.

Based on the research results, a technological system for crushing salt was proposed for implementation (Figure 7). The proposed configuration of a technological system for rock salt crushing allows obtaining 100% of the product below the grain size $d = 0.8$ mm.

The proposed system consists of two primary machines (a screen and a hammer impact crusher) and appropriate belt conveyors enabling the delivery of the feed and collection of the crushing product as well as the return from the crusher to the screen. The analysis of the grain composition of the crushing product shows that in order to obtain the whole product below the grain size $d = 0.8$ mm, it will be necessary to use a crusher operating in a closed system (with return). Based on the system efficiency requirements and the rules for determining the mass stream of return (with a known amount of oversize grain from the crusher), the amount of return was estimated at approx. 1.5 Mg/h. This value should be taken into account when designing the capacity of the screen and crusher. Given the above, the screening capacity was estimated at approx. 27–30 Mg/h, while the crusher capacity was approx. 7–8 Mg/h. The return stream can be directed directly to the screen (as shown in Figure 7) or (e.g. for technical reasons) back to the charging hopper. In such a case, an increase in the efficiency of the charging point and the screen feeding system (conveyor) should be foreseen at the design stage.

It was also proposed to modify the classic shape of the working surfaces of the crusher hammers. Crushing materials in the small particle size range can be technically challenging and is associated with increased energy expenditure. For this reason, it is advisable to use procedures aimed at increasing the widely understood efficiency of the process (e.g. increasing yield, increasing the share of product desired grain classes, reducing the energy consumption of the process). One such operation is to change the shape of the functional elements (hammers) to increase the share of the lower grain classes in the crushing product (improving the graining – increasing the degree of comminution). Figure 8 shows a proposal to change the shape of the working surfaces of hammers.

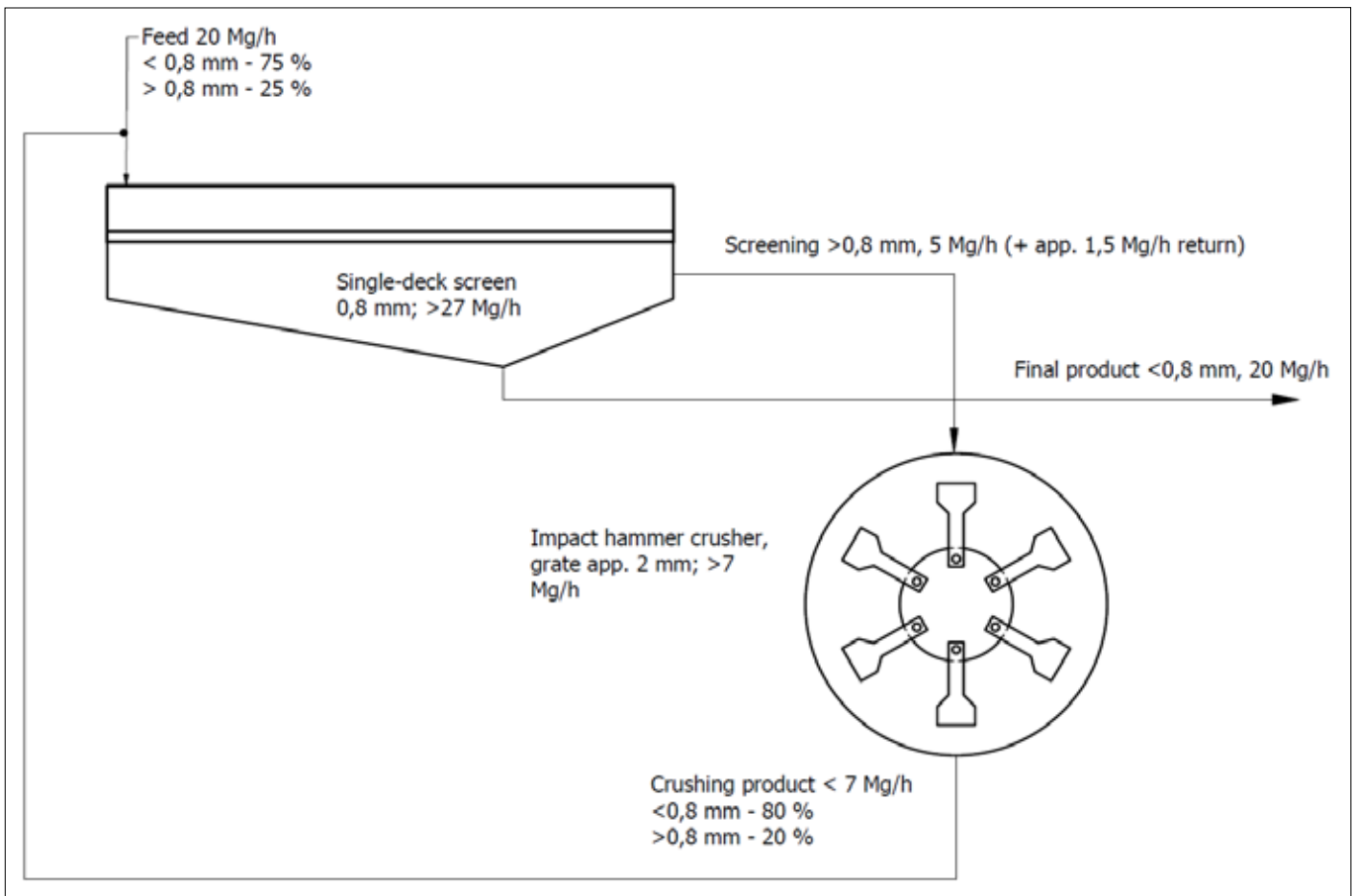


Fig. 7. Technological diagram of the proposed system for crushing rock salt.

Rys. 7. Schemat technologiczny proponowanego układu do rozdrabniania soli kamiennej.

Source: Own study

Źródło: Badania własne

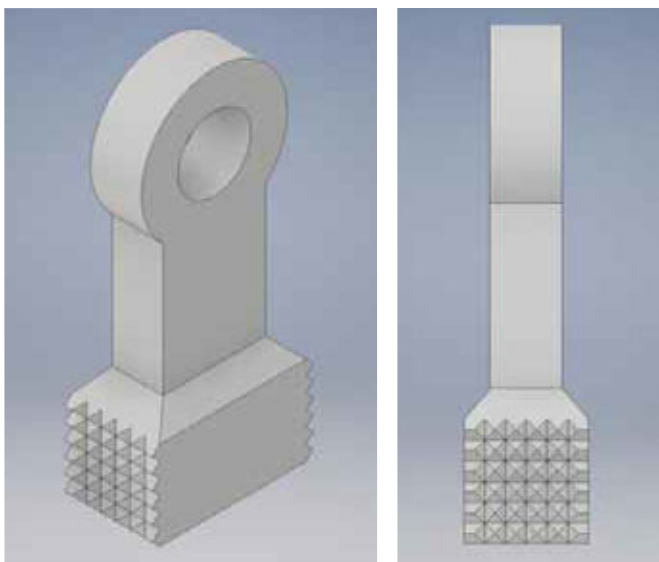


Fig. 8. The proposed shape of working surfaces of the crusher hammers.

Rys. 8. Proponowany kształt powierzchni roboczych młotków kruszarki.

Source: Own study

Źródło: Badanie własne

It is anticipated that appropriate „grooving” („knurling”) of the hammer working surfaces may have a beneficial effect on the crushing product. Due to the introduction of additional sharp edges, which hit the salt grains, hammers may be more effective in crushing. The proposed pitch of “grooving” should be approx. 10 mm.

PODSUMOWANIE

Badania przeprowadzone w Katedrze Inżynierii Maszyn i Transportu Akademii Górniczo-Hutniczej wykazały pełną przydatność kruszarki młotkowej do rozdrabniania soli kamiennej.

Analizując opracowane wyniki kruszenia próbek soli kamiennej można stwierdzić, że lepsze rezultaty technologiczne, czyli większy udział zewnętrznej klasy ziarnowej $< 0,8 \text{ mm}$, uzyskano podczas rozdrabniania soli w kruszarce udarowej młotkowej (85 % produktu poniżej $0,8 \text{ mm}$ przy średnicy oczek rusztu $d = 1 \text{ mm}$ oraz 65 % przy $d = 2 \text{ mm}$). Decydujący wpływ na udział pożądanego klasy ziarnowej ma średnica oczek rusztu zamontowanego w kruszarce. Należy jednak pamiętać, że zmniejszanie wielkości oczek rusztu wpływa korzystnie na uziarnienie produktu, jednakże znacznie zmniejsza wydajność procesu. Z tego powodu niecelowe jest używanie rusztów o zbyt małych średnicach oczek. Konkludując powyższe, do rozdrabniania soli o zadanym uziarnieniu zaleca

się zastosowanie kruszarki udarowej młotkowej o średnicy oczek rusztu około 2,0 mm. Przy takim założeniu konieczne jest zastosowanie zawrotu produktu kruszenia na przesiewacz wstępny w celu odseparowania ziaren o średnicach większych od 0,8 mm.

Na podstawie wyników badań zaproponowano do realizacji układ technologiczny do rozdrabniania soli, którego schemat pokazano na poniższym rysunku. Przedstawiony schemat proponowanego układu technologicznego do rozdrabniania soli kamiennej w konfiguracji umożliwiającej uzyskanie 100% produktu poniżej wymiaru ziarna $d = 0,8$ mm.

Zaproponowano układ składa się z dwóch maszyn głównych (przesiewacza i kruszarki udarowej młotkowej) oraz odpowiednich przenośników taśmowych umożliwiających dostarczenie nadawy i odbiór produktu kruszenia oraz realizację zawrotu z kruszarki na przesiewacz. Z przeprowadzonej analizy składu ziarnowego produktu kruszenia wynika, że w celu uzyskania całości produktu poniżej wymiaru ziarna $d = 0,8$ mm konieczne będzie zastosowanie kruszarki pracującej w układzie zamkniętym (z zawrotem). Na podstawie wymogów związanych z wydajnością układu oraz zasad określania strumienia masowego zawrotu (przy znanej ilości nadziarna z kruszarki) oszacowano ilość zawrotu na ok. 1,5 Mg/h. Wartość tą należy uwzględnić przy projektowaniu wydajności przesiewacza oraz kruszarki. Wobec powyższych, określono wydajność przesiewacza na ok. 27–30 Mg/h, natomiast wydajność kruszarki na ok. 7–8 Mg/h. Strumień zawrotu może być kierowany bezpośrednio na przesiewacz (jak przedstawiono na rysunku 6) lub (np. ze względów technicznych) z powrotem do kosza zasypowego. W takim wypadku należy

przewidzieć na etapie projektowania zwiększenie wydajności punktu zasypu i układu zasilania przesiewacza nadawą (przenośnik).

Ze względu na dość duży kąt nachylenia pokładów przesiewaczy, których zdjęcia zostały przesłane we wcześniejszej korespondencji mailowej, należy rozważyć zwiększenie średnicy oczek sita przesiewacza do 1 mm. Może to korzystnie wpłynąć na pracę przesiewacza (ograniczy „zapychanie się” sita) przy równoczesnym zachowaniu akceptowalnego poziomu nadziarna w produkcie końcowym.

Zaproponowano również modyfikację klasycznego kształtu powierzchni roboczych młotków kruszarki. Rozdrabnianie materiałów w zakresie niewielkich ziaren może sprawiać pewne trudności techniczne i związane jest ze zwiększonymi nakładami energetycznymi. Z tego względu celowym jest stosowanie zabiegów mających na celu podniesienie szeroko rozumianej efektywności procesu (np. zwiększenie wydajności, zwiększenie udziału pożądaných klas ziarnowych produktu, zmniejszenie energochłonności procesu). Jednym z takich zabiegów jest zmiana kształtu elementów roboczych (młotków) mając na celu podniesienie udziału dolnych klas ziarnowych w produkcie kruszenia (poprawienie uziarnienia – zwiększenie stopni rozdrobnienia). Na rysunku 7 przedstawiono propozycję zmiany kształtu powierzchni roboczych młotków.

Przewiduje się, że odpowiednie „rowkowanie” („radełkowanie”) powierzchni roboczych młotków może wpłynąć korzystnie na uziarnienie produktu kruszenia. Wynika to z wprowadzenia dodatkowych, ostrych krawędzi, które uderzając w ziarna soli spowodują efektywniejsze ich rozdrabnianie. Proponowana podziałka „rowkowania” powinna wynosić ok. 10 mm.

REFERENCES

- [1] **FELIKS J., M. MAZUR. 2017.** „Zastosowanie wibracyjnej kruszarki szczękowej do rozdrabniania soli kamiennej w celu jej oczyszczania”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*; ISSN 0867-793X. t. 27 nr 2: 15–19.
- [2] **FELIKS J., M. MAZUR. 2017.** “Safety systems against metallic contaminations in feed material”. *Geology and mineral processing, Sofia, Vol. 17 iss. 11: 1043–1050.*
- [3] **GAWENDA T. 2010.** „Kruszarki wirnikowe udarowe w produkcji kruszyw mineralnych – Impact rotary crushers in mineral aggregates production”. *Surowce i Maszyny Budowlane*; ISSN 1734-7998. nr 4: 66–71.
- [4] **GAWENDA T. 2018.** „Jak regulować parametrami pracy w kruszarkach udarowych? -- How to control operational parameters in impact crushers?”. *Surowce i Maszyny Budowlane*; ISSN 1734-7998. nr 5: 52–56.
- [5] **KRAUZE K., J. FELIKS. 2017.** „Nowe rozwiązanie separatora magnetycznego do oczyszczania soli na punkcie przesywowym przenośnika taśmowego” *W: Mechanizacja, automatyzacja i robotyzacja w górnictwie: IV międzynarodowa konferencja: Wisła, 21–23 czerwca 2017 r. : streszczenia referatów.* -- [Polska: s. n.]: 84.

REFERENCES

- [1] **FELIKS J., M. MAZUR. 2017.** „Zastosowanie wibracyjnej kruszarki szczękowej do rozdrabniania soli kamiennej w celu jej oczyszczania”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*; ISSN 0867-793X. t. 27 nr 2: 15–19.
- [2] **FELIKS J., M. MAZUR. 2017.** “Safety systems against metallic contaminations in feed material”. *Geology and mineral processing, Sofia, Vol. 17 iss. 11: 1043–1050.*
- [3] **GAWENDA T. 2010.** „Kruszarki wirnikowe udarowe w produkcji kruszyw mineralnych -- Impact rotary crushers in mineral aggregates production”. *Surowce i Maszyny Budowlane*; ISSN 1734-7998. nr 4: 66–71.
- [4] **GAWENDA T. 2018.** „Jak regulować parametrami pracy w kruszarkach udarowych? -- How to control operational parameters in impact crushers?”. *Surowce i Maszyny Budowlane*; ISSN 1734-7998. nr 5: 52–56.
- [5] **KRAUZE K., J. FELIKS. 2017.** „Nowe rozwiązanie separatora magnetycznego do oczyszczania soli na punkcie przesywowym przenośnika taśmowego” *W: Mechanizacja, automatyzacja i robotyzacja w górnictwie: IV międzynarodowa konferencja: Wisła, 21–23 czerwca 2017 r.: streszczenia referatów.* -- [Polska: s. n.]: 84.

- [6] **NAZIEMIEC Z., T. GAWENDA. 2007.** „Badanie procesu kruszenia z zamkniętym obiegiem materiału – Research of crushing process with closed material cycle”. *Kruszywa mineralne: surowce – rynek – technologie – jakość* : Szklarska Poręba, 18–20 kwietnia 2007 r. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*; nr 119. Konferencje; ISSN 0324-9670. nr 48: 107–116.
- [7] **NAZIEMIEC Z., T. GAWENDA. 2018.** „Rozdrabnianie z zamkniętym obiegiem materiału – Grinding with closed material circulation”. *Surowce i Maszyny Budowlane*; ISSN 1734-7998. nr 1: 30–35.
- [8] **SIDOR J., J. FELIKS, M. MAZUR. 2013.** „Kruszarki do rozdrabniania węgla w warunkach kopalń podziemnych, Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze: przenośniki, dźwignice, pojazdy, maszyny robocze, napędy i sterowanie, urządzenia pomocnicze”. *Transport Przemysłowy*. nr 3: 71–74.

- [6] **NAZIEMIEC Z., T. GAWENDA. 2007.** „Badanie procesu kruszenia z zamkniętym obiegiem materiału – Research of crushing process with closed material cycle”. *Kruszywa mineralne: surowce – rynek – technologie - jakość* : Szklarska Poreba, 18–20 kwietnia 2007 r. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*; nr 119. Konferencje; ISSN 0324-9670. nr 48: 107–116.
- [7] **NAZIEMIEC Z., T. GAWENDA. 2018.** „Rozdrabnianie z zamkniętym obiegiem materiału – Grinding with closed material circulation. *Surowce i Maszyny Budowlane*; ISSN 1734-7998. nr 1: 30–35.
- [8] **SIDOR J., J. FELIKS, M. MAZUR. 2013.** „Kruszarki do rozdrabniania węgla w warunkach kopalń podziemnych, Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze: przenośniki, dźwignice, pojazdy, maszyny robocze, napędy i sterowanie, urządzenia pomocnicze”. *Transport Przemysłowy*. nr 3: 71–74.