

Oszacowanie wydatku energetycznego rozdrabniania skał metodą mielenia udarowego

MATEUSZ KUDASIK, NORBERT SKOCZYLAS, JANUSZ NURKOWSKI

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

W Pracowni Mikromerytyki IMG PAN rozwijane jest urządzenie do rozdrabniania skał pracujące w oparciu o metodę mielenia udarowego. W ramach przeprowadzonych prac zbadano moc i energię niezbędną do rozdrabniania próbek dolomitu za pomocą zbudowanego urządzenia. Do badań użyto fragmenty rdzeni dolomitu pochodzące z kopalni rud miedzi O/ZG „Rudna”. Oszacowano moc i energię rozdrabniania skał w zależności od wielkości kawałków próbek przeznaczonych do badań oraz w zależności od masy materiału skalnego. Uzyskane rezultaty wykazały, że zwiększając wielkość kawałków próbek od około 0.4 cm do ponad 2 cm moc potrzebna do ich rozdrobnienia jest podobna i wyniosła około 1.2 kW, przy tej samej ich masie. Natomiast zwiększając masę materiału skalnego przeznaczonego do badań, moc niezbędna do ich rozdrobnienia nieznacznie wzrastała.

Słowa kluczowe: energia rozdrabniania skał, mielenie udarowe, dolomit

1. Wstęp

Rozdrabnianie skał jest jedną z głównych metod uwalniania gazu znajdującego się w ich przestrzeni porowej. Profilaktyka do zwalczania zagrożeń metanowych występujących w kopalniach węgla kamiennego przewiduje regularne określanie metanonośności węgla, zgodnie z normą [PN-G-44200:2013-10, 2013]. Bilansowanie metanu zawartego w próbce węgla odbywa się poprzez jego uwolnienie do hermetycznego zbiornika, w którym badana próbka ulega rozdrobnieniu. Narzędziami rozdrabniającymi stosowanymi w przypadku węgla są młynki kulowe. Młynki takie sprawdzają się w przypadku kruchych materiałów skalnych jakim jest węgiel kamienny, natomiast w przypadku skał o znacznie wyższej wytrzymałości, ich skuteczność nie jest wystarczająca. W przeprowadzonych badaniach rozdrabniania skał miedzionośnych różnymi metodami wykazano, iż najwyższą efektywność rozdrabniania skał uzyskana została za pomocą mielenia udarowego przy użyciu noży napędzanych wysokoobrotowym silnikiem [Kudasik i in., 2014]. Ponadto przeprowadzone testy dowiodły, iż zbudowany młynek udarowy jest w stanie skutecznie rozdrobnić materiał skalny o bardzo wysokiej zwięzłości i wytrzymałości na rozciąganie. Rozdrabnianie próbek skał miedzionośnych (dolomit, anhydryt i piaskowiec), zaliczanych do skał „mocnych” (o osiowej wytrzymałości na ściskanie rzędu 50-350 MPa) [Schön, 2011], pozwoliło uzyskać materiał o ziarnistości pojedynczych μm .

Skuteczne rozdrabnianie skał miedzionośnych, w kontekście oceny składu i ilości zawartego w nich gazu, jest w ostatnich latach zagadnieniem niezwykle istotnym ze względu na pojawiające się zagrożenia gazowe w kopalniach rud miedzi. W nowoeksploatowanych złożach rud miedzi w Polsce, coraz częściej stwierdza się obecność gazów zamkniętych w porach skał miedzionośnych, które występują głównie w dolomicie [Wierzbicki i Młynarczuk, 2013].

Zbudowany w Pracowni Mikromerytyki młynek rozdrabniający do skał jest skutecznym narzędziem, pozwalającym rozdrobnić materiał skalny, nawet o wysokiej wytrzymałości. W prezentowanej pracy autorzy zadali sobie pytanie, jaka energia jest niezbędna do rozdrobnienia skał o określonej masie i określonej klasie ziarnowej? Jest to o tyle istotne zagadnienie, gdyż znajomość zapotrzebowania energetycznego do rozdrabniania skał przez zbudowane urządzenie pozwoli zaprojektować odpowiedni układ zasilający, przy dalszych pracach związanych z rozwojem aparatury.

2. Urządzenie do rozdrabniania skał

Zbudowane w Pracowni Mikromerytyki IMG PAN urządzenie do rozdrabniania skał w kontekście oceny ilości i składu zawartego w nich gazu (Rys. 1), było omawiane szczegółowo w pracach [Kudasik i in., 2014, 2016]. Próbką umieszczona jest w hermetycznym zbiorniku, o objętości 200 cm³, zaopatrzonym w czujniki stężenia gazów, ciśnienia i temperatury. W zbiorniku tym ulega ona rozdrobieniu udarowemu.

W prezentowanej pracy elementem podlegającym szczegółowej analizie był silnik napędowy (Rys. 2). W zbudowanym urządzeniu zastosowano wysokoobrotowy silnik bezszczotkowy, model Toro X8 KV2650 o mocy 2.2 kW i maksymalnej prędkości obrotowej 21 000 obr/min. Silnik ten umieszczony jest w dolnej części, wewnątrz korpusu urządzenia.



Rys. 1. Urządzenia do rozdrabniania skał z oznaczonymi czujnikami gazów



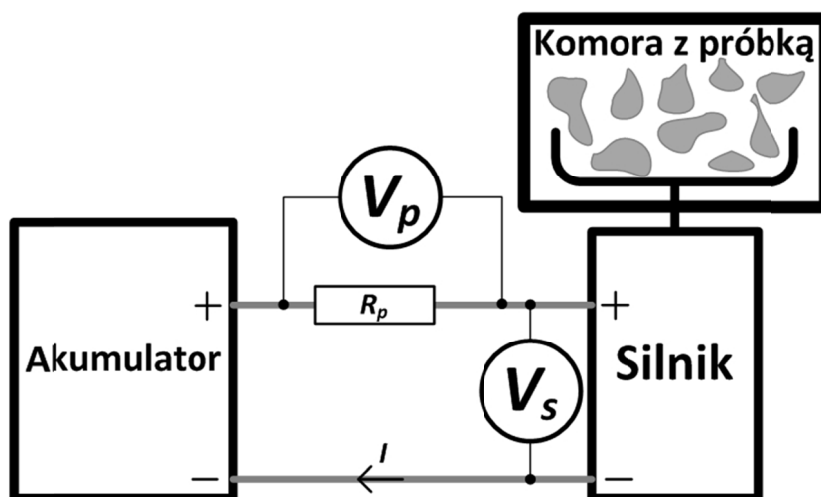
Rys. 2. Silnik wysokoobrotowy zastosowany w rozdrabniaczu do skał wraz z korpusem urządzenia

3. Materiał badawczy i metodyka pomiarowa

Do badań mocy i energii rozdrabniania skał za pomocą zbudowanego urządzenia użyto fragmenty rdzeni dolomitu pochodzące z kopalni rud miedzi O/ZG „Rudna”. Próbki te zostały wstępnie pokruszone do odpowiednich ziarnistości i podzielone na odpowiednie porcje:

- 5 porcji o masie około 40 gram i klasach ziarnowych: 0.4-0.6 cm, 0.6-0.8 cm, 0.8-1.0 cm, 1.0-2.0 cm, powyżej 2 cm – do badań wpływu wielkości klasy ziarnowej próbki na moc i energię niezbędną do jej rozdrobnienia,
- 5 porcji o klasie ziarnowej 1-2 cm i masach: 20 g, 30 g, 40 g, 50 g, 60 g – do badań wpływu masy próbki na moc i energię niezbędną do jej rozdrobnienia.

Schemat stanowiska pomiarowego do badań mocy i energii rozdrabniania próbek dolomitów przedstawiony został na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego do oceny bilansu energetycznego rozdrabniania skał

Silnik wysokoobrotowy urządzenia zasilany jest z akumulatora o pojemności 10 Ah i napięciu 14.8 V. Badania mocy niezbędnej do rozdrabniania skał dolomitów polegały na pomiarze spadku napięcia (V_p) na jednym z przewodów zasilających silnik oraz na pomiarze napięcia na silniku (V_s), w trakcie pracy urządzenia. Moc niezbędna do rozdrobnienia próbek wyznaczana była ze wzoru:

$$P(t) = I \cdot U_s - I_0 \cdot U_{s0}$$

$$P(t) = \frac{U_p}{R_p} \cdot U_s - \frac{U_{p0}}{R_p} \cdot U_{s0} \quad (1)$$

gdzie:

- $P(t)$ – moc pobierana przez silnik z akumulatora, [W],
- t – czas, [s],
- U_p, U_{p0} – spadek napięcia na przewodzie zasilającym silnik przy rozdrabnianiu skał i przy pracy jałowej, [V],
- U_s, U_{s0} – napięcie zasilające na silniku przy rozdrabnianiu skał i przy pracy jałowej, [V],
- R_p – rezystancja przewodu zasilającego silnik, [Ω]
- I, I_0 – prąd w obwodzie przy rozdrabnianiu skał i przy pracy jałowej silnika, [A].

Energia niezbędna do rozdrobnienia próbek wyznaczana była ze wzoru:

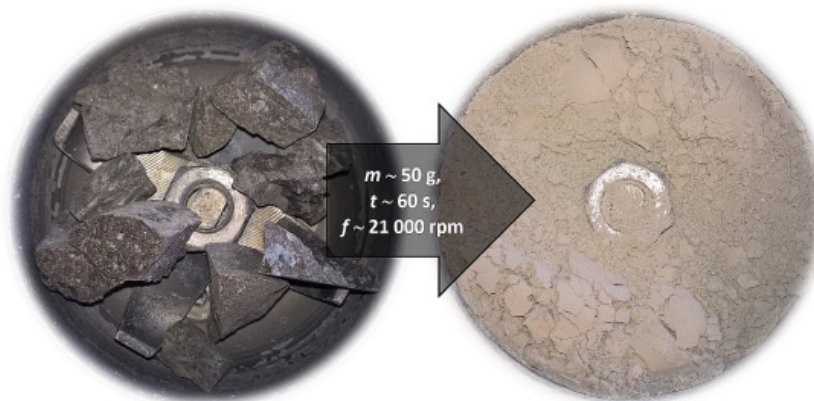
$$E(t) = \int_0^t P(t) dt \quad (2)$$

gdzie: $E(t)$ – energia pobierana przez silnik z akumulatora, [J].

Pośredni pomiar prądu zasilającego silnik, poprzez pomiar spadku napięcia na przewodzie doprowadzającym o rezystancji R_p , podyktowany był istnieniem tylko napięciowego wejścia karty rejestratora.

4. Wyniki

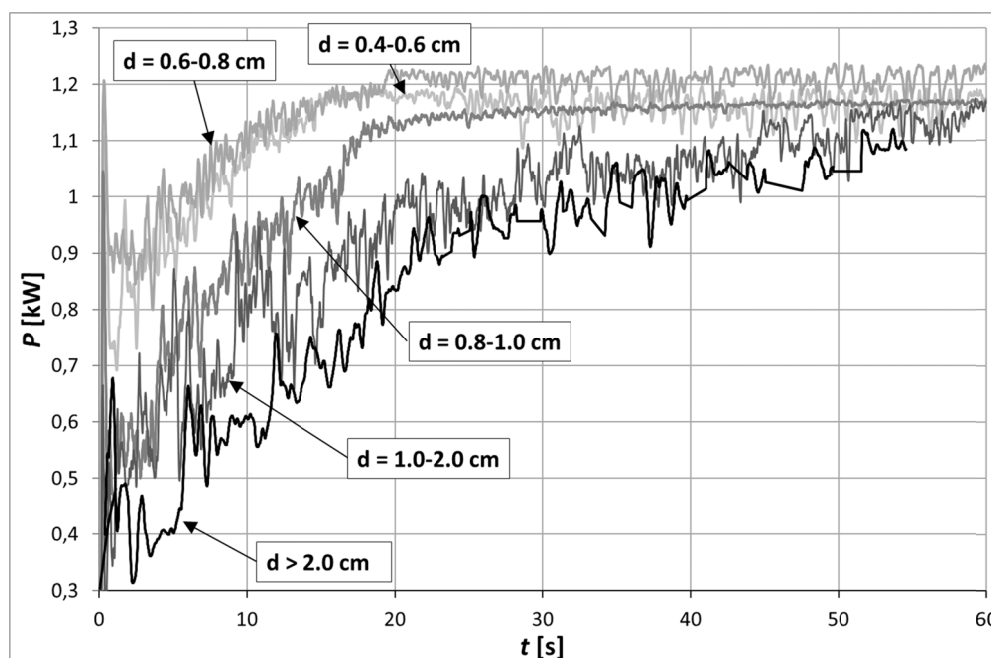
Badania mocy i energii niezbędnej do rozdrobnienia skał za pomocą zbudowanego urządzenia przeprowadzone zostały pod kątem analizy wpływu wielkości klasy ziarnowej oraz masy materiału skalnego przeznaczonego do rozdrabniania. Zdjęcie przykładowej próbki dolomitu przed i po procesie rozdrobnienia przedstawione zostały na Rys. 4.



Rys. 4. Zdjęcie przykładowej próbki dolomitu przed i po rozdrobnieniu na zbudowanym urządzeniu

4.1. Wpływ klasy ziarnowej próbki na moc i energię niezbędną do jej rozdrobnienia

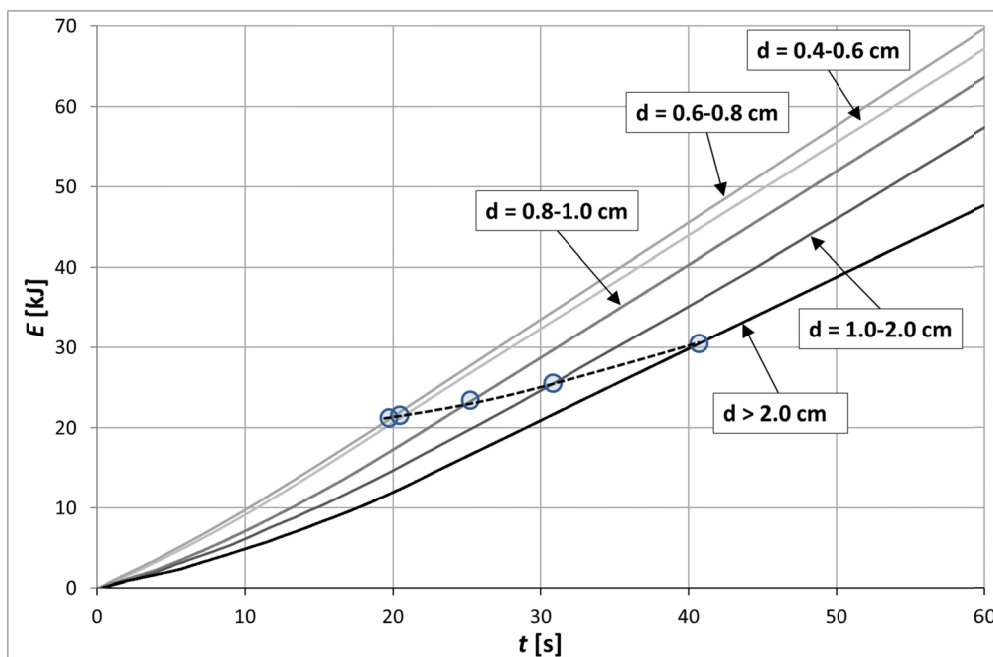
Na Rys. 5 przedstawiono przebiegi zmian mocy pobieranej przez silnik w trakcie mielenia skał w zależności od wielkości klas ziarnowych próbek przeznaczonych do rozdrabniania. Moc ta wyznaczana była ze wzoru (1). Masy poszczególnych próbek były podobne i wynosiły około 40 g. W każdym przypadku moc niezbędna do rozdrobnienia skał rośnie asymptotycznie do stałej wartości. Przyrost mocy w czasie związany jest z rozdrabnianiem coraz mniejszego materiału skalnego w trakcie jego mielenia. Osiągnięcie wartości asymptotycznej odpowiada rozdrabnianiu pyłu skalnego, a więc uznać można, że proces mielenia dobiegł końca. Największy pobór mocy przez silnik w trakcie rozdrabniania materiału skalnego występuje przy pracy urządzenia na najdrobniejszym materiale skalnym. Moment osiągnięcia wartości asymptotycznej mocy jest tym krótszy, im mniejsza jest początkowa klasa ziarnowa. Wartość asymptotyczna mocy niezbędnej do rozdrobnienia skał jest niezależna od początkowej klasy ziarnowej i wynosi około 1.2 kW.



Rys. 5. Moc rozdrabniania skał w zależności od ich początkowej klasy ziarnowej

Na Rys. 6 przedstawiono przebiegi zmian energii pobieranej przez silnik w trakcie mielenia skał w zależności od wielkości klas ziarnowych próbek przeznaczonych do rozdrabniania. Energia ta wyznaczana była ze wzoru (2). Na wykresach odpowiadających poszczególnym klasom ziarnowym, zaznaczono punkty w których nastąpiło rozdrobnienie próbki do pyłu. Punkty te połączono linią przerywaną. Na tej

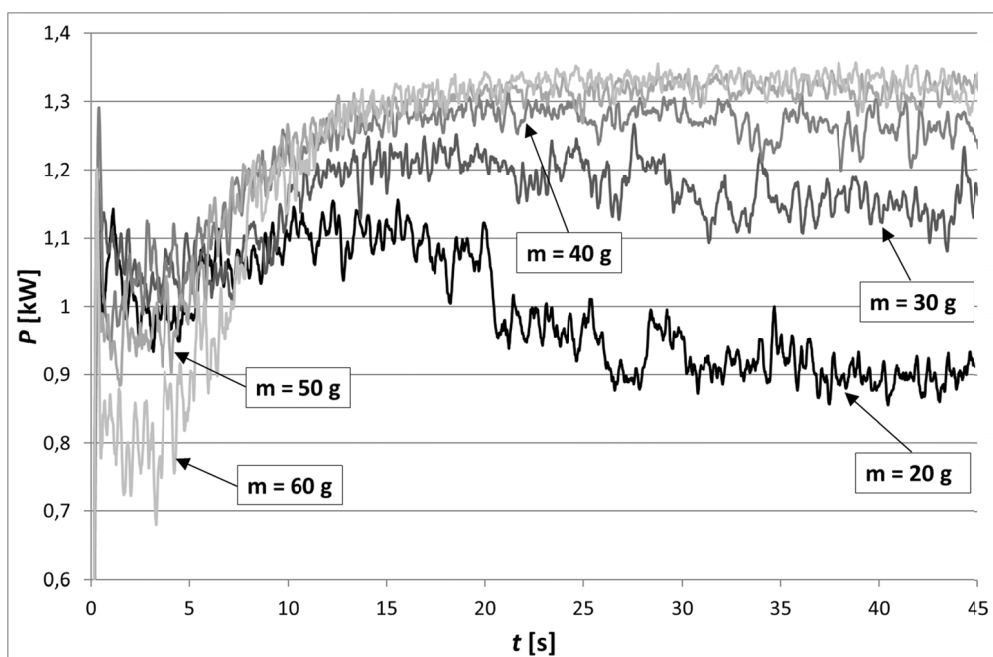
podstawie stwierdzić można, że wraz ze wzrostem klasy ziarnowej, energia niezbędna do rozdrobnienia próbki wzrasta od około 20 kJ dla próbek o klasie ziarnowej 0.6-1.0 cm do około 30 kJ dla próbek o klasie ziarnowej powyżej 2.0 cm.



Rys. 6. Energia rozdrabniania skał w zależności od ich początkowej klasy ziarnowej

4.2. Wpływ masy próbki na moc i energię niezbędną do jej rozdrobnienia

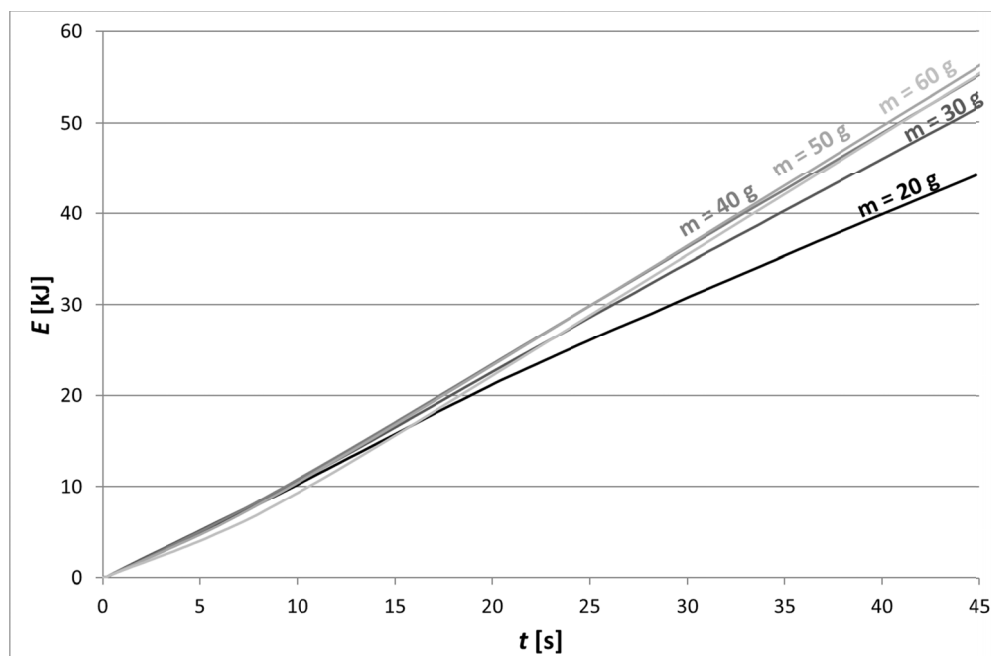
Na Rys. 7 przedstawiono przebiegi zmian mocy pobieranej przez silnik w trakcie mielenia skał w zależności od masy próbek przeznaczonych do rozdrabniania. Moc ta wyznaczana była ze wzoru (1). W badaniu tym wykorzystano próbki o tej samej początkowej klasie ziarnowej wynoszącej 1-2 cm. Wraz ze wzrostem masy próbek od 20 g do 60 g, moc niezbędna do ich rozdrobnienia wzrasta odpowiednio



Rys. 7. Moc rozdrabniania skał w zależności od ich masy

od 0.9 kW do 1.3 kW. Przebieg zmian mocy w trakcie rozdrabniania pojedynczej próbki rośnie asymptotycznie. Wartość asymptotyczna mocy rozdrabniania próbki osiągana jest w momencie zmielenia jej do pyłu. Jedynie w przypadku próbki o masie równej 20 g, w początkowej fazie rozdrabniania odpowiadającej mieleniu większych kawałków, moc była większa niż w końcowej fazie rozdrabniania.

Na Rys. 8 przedstawiono przebiegi zmian energii niezbędnej do rozdrobnienia skał w zależności od ich masy. Energia ta wyznaczana była ze wzoru (2). Dla próbek o masach 40 g, 50 g i 60 g energia potrzebna do zmielenia próbek była podobna.



Rys. 8. Energia rozdrabniania skał w zależności od ich masy

Na podstawie przebiegów z Rys. 7 i Rys. 8 wygenerowano zależności mocy i energii rozdrabniania próbek, w przeliczeniu na 1 gram próbki (Rys. 9 i Rys. 10).

Jak widać na Rys. 9, ze wzrostem masy próbki przeznaczonej do rozdrabniania, zmielenie 1 g skały pochłania mniej mocy niż w przypadku mniejszych mas. Zmielenie 1 g próbki przy porcji 20 g pochłania dwukrotnie więcej energii niż zmielenie 1 g próbki przy porcji 60 g. Podobnie jest z energią rozdrabniania (Rys. 10), gdzie w przeliczeniu na 1 gram próbki, energia spada wraz ze wzrostem masy próbki.

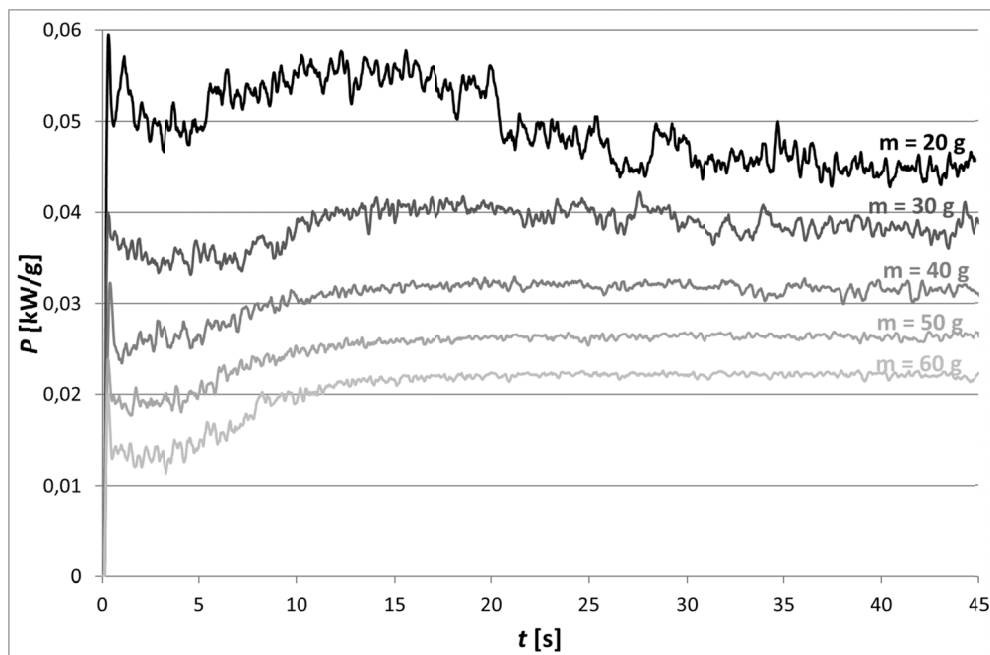
5. Wnioski

W ramach badań dokonano pomiarów mocy i energii niezbędnej do rozdrabniania próbek dolomitu za pomocą zbudowanego w Pracowni Mikromerytyki IMG PAN urządzenia. Do badań użyto próbek dolomitu pochodzące z kopalni rud miedzi O/ZG „Rudna”. Badania miały na celu określenie mocy i energii rozdrabniania skał w zależności od:

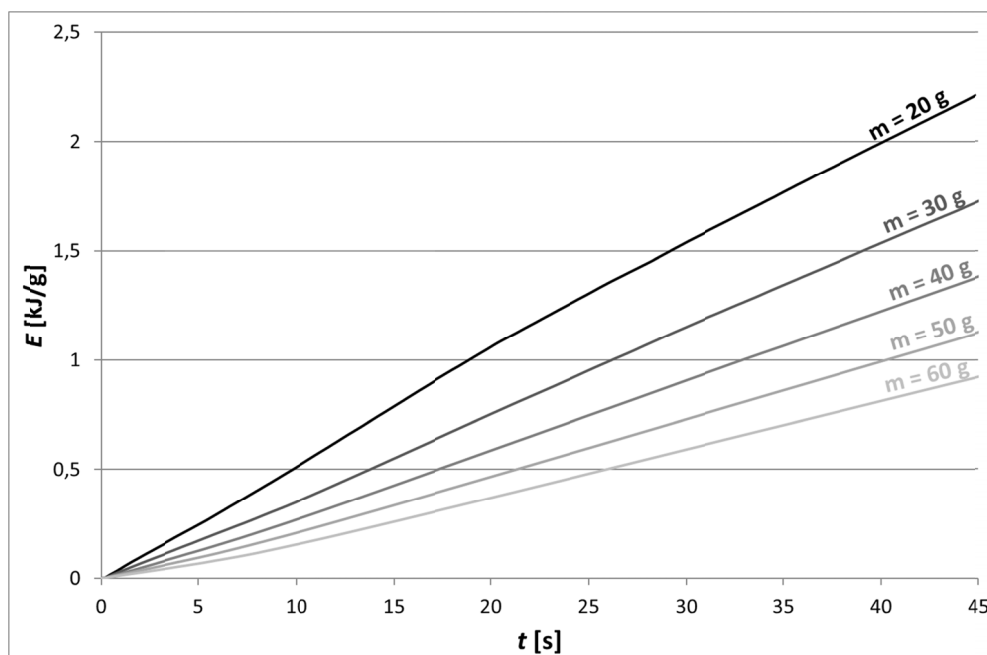
- początkowej wielkości kawałków próbek przeznaczonych do rozdrobnienia,
- masy materiału skalnego przeznaczonego do rozdrobnienia.

Uzyskane rezultaty wykazały, że zwiększając wielkość kawałków próbek od około 0.4 cm do ponad 2 cm moc potrzebna do ich rozdrobnienia jest podobna i wyniosła około 1.2 kW, przy tej samej ich masie. Zatem początkowa wielkość kawałków skał wpływa głównie na czas po jakim materiał skalny zostanie rozdrobniony. Ponadto wraz ze wzrostem klasy ziarnowej, energia niezbędna do rozdrobnienia próbki wzrasta od około 20 kJ dla próbek o klasie ziarnowej 0.6-1.0 cm do około 30 kJ dla próbek o klasie ziarnowej powyżej 2.0 cm.

Zwiększając masę materiału skalnego przeznaczonego do badań, moc i energia niezbędna do ich rozdrobnienia wzrastają. Natomiast, w przeliczeniu na 1 g próbki, moc i energia rozdrabniania maleją ze wzrostem porcji przeznaczonej do rozdrobnienia.



Rys. 9. Moc rozdrabniania skał w zależności od ich masy w przeliczeniu na 1 gram próbki



Rys. 10. Energia rozdrabniania skał w zależności od ich masy w przeliczeniu na 1 gram próbki

Na podstawie uzyskanych rezultatów, znając bilans energetyczny rozdrabniania próbek stwierdzono, iż zastosowany układ zasilający silnik wysokoobrotowy w zbudowanym urządzeniu rozdrabniającym do skał jest odpowiedni.

Niniejsza praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu pt.: „Nowatorski system wspomaganie oceny zagrożeń gazowych w kopalniach rud miedzi” (numer projektu: LIDER/003/408/L-4/12/NCBR/2013).

Literatura

- Kudasik M., Skoczylas N., Murzyn T., Wierzbicki M., 2014: *Efektywność rozdrabniania skał w kontekście oceny zawartego w nich gazu*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Tom 16, nr 3-4, s. 81-84.
- Kudasik M., Skoczylas N., Murzyn T., Wierzbicki M., 2016: *Ocena zawartości gazu w rozdrabnianych skałach*. Wiadomości Górnicze, Nr 7-8, s. 450-457.
- PN-G-44200:2013-10: *Górnictwo – Oznaczanie metanonośności w pokładach węgla kamiennego – Metoda zwiercinowa*. Polski Komitet Normalizacyjny, 2013.
- Schön J.H., 2011: Chapter 7 – *Geomechanical Properties, Handbook of Petroleum Exploration and Production*. Vol. 8, p. 245-271.
- Wierzbicki M., Młynarczuk M., 2013: *Structural aspects of gas and dolomite outburst in Rudna copper mine*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 57, p. 113-118.

Estimating the energy of comminution the rocks by impact milling

Abstract

In the Laboratory of Micrometrics of the Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences a device for rock comminution by impact milling is being developed. The power and energy required for grinding dolomite samples using the developed device was examined. Dolomite samples from “Rudna” copper mine were used for the study. The power and energy of rock comminution depending on the grain size of the samples and depending on the weight of the samples were estimated. The obtained results showed that by increasing the grain size of the samples from about 0.4 cm to more than 2 cm the power of comminution is similar, and amounted to about 1.2 kW. Whereas by increasing the weight of the samples, the power necessary for comminution increased.

Keywords: energy of rock comminution, impact milling, dolomite