

Sławomir Badura, Katarzyna Migacz**

BADANIA LABORATORYJNE I PÓŁPRZEMYSŁOWE RZECZYWISTYCH OBCIĄŻEŃ ELEMENTÓW SKRAWAJĄCYCH ZĘBÓW WKL ORAZ NOWEJ GENERACJI ZĘBÓW ACX-L

1. Wstęp

Koparka kołowa urabia kopalinę czerpakami zamocowanymi na obwodzie koła czerpakowego. Czerpaki i zamocowane na nich noże oraz zęby realizują odspajanie materiału od calizny który podawany jest na wysyp koła czerpakowego, a następnie na przenośniki taśmowe. Kontakt noży czerpaka oraz zębów z calizną powoduje ich zużycie i w konsekwencji wzrost obciążeń dynamicznych oddziaływujących na koło czerpakowe i konstrukcję koparki. Bardzo ważne jest aby czerpaki, noże i zęby były jak najlepiej zaprojektowane do pracy w określonym rodzaju skały dla danego typu koparki. Stąd od lat prowadzone są prace nad udoskonaleniem zębów i noży czerpakowych, które w optymalny sposób pozwoliły na wydłużenie czasu pracy zęba i noża oraz ograniczyły ich zużycie. W opracowaniu zamieszczono wyniki badań dynamicznych nowatorskiej konstrukcji stożkowego zęba czerpakowego oraz zębów aktualnie pracujących na koparkach kołowych.

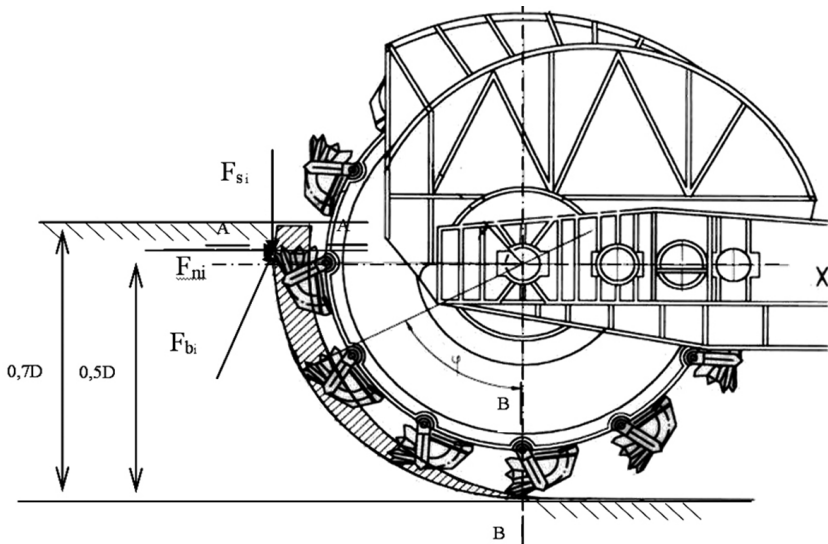
2. Technologia pracy koła czerpakowego koparki i rola zębów skrawających

Koparka kołowa (rys. 1) realizuje proces kopania kołem czerpakowym (rys. 2), na którym zamocowane są czerpaki uzbrojone w elementy skrawające: noże czerpaków, zęby lub noże zbrojone zębami.

* Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

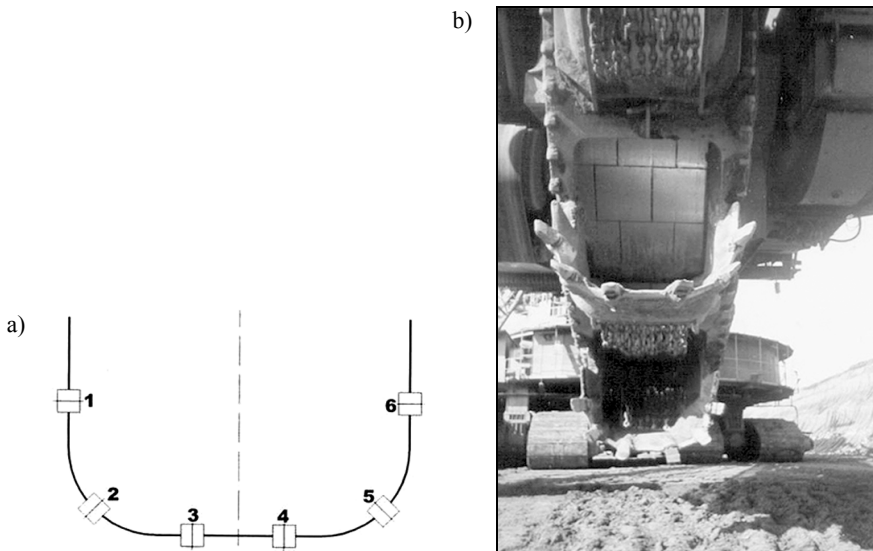


Rys. 1. Koparka kołowa



Rys. 2. technologia pracy koła czerpakowego

Zęby na czerpaku są zamontowane symetrycznie względem osi symetrii czerpaka (rys. 3). Ponieważ w trakcie urabiania biorą udział w zależności od kierunku ruchu wysięgnika zęby 1, 2, 3 lub 4, 5, 6 więc charakter obciążeń jest taki sam dla zęba 1 i 6, 2 i 5, 3 i 4.



Rys. 3. Rozmieszczenie zębów na czerpaku (a); czerpak zamocowany na kole czerpakowym (b)

Zęby zamocowane na nożu czerpaka spełniają rolę elementu niszczącego strukturę skały powodując jej spękanie wzdłuż tzw. linii „podzielności skały” tak że nóż a w zasadzie jego krawędzie łączące poszczególne zęby na całej długości kopania czerpaka spełniają rolę elementu nagarniającego rozkruszoną skałę.

3. Badania laboratoryjne

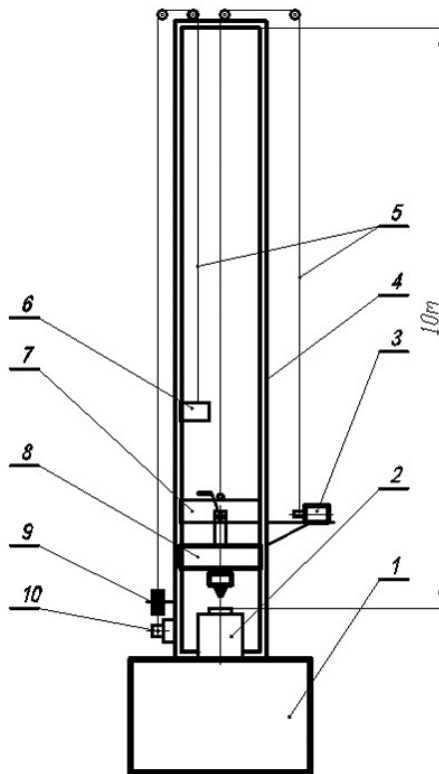
Badania przeprowadzono dla zębów WKL-3 (rys. 5), ACX-L481 (rys. 6), ACX-L483 (rys. 7), CX-25/28 (rys. 11), zęba kutego o kształcie ostrosłupowym i firmy Esco. Zęby stosowane do urabiania kopaliny trudno-urabialnej WKL-3, ACX-L481 oraz ACX-L483 przebadano chcąc określić jakie siły występują dla danego rodzaju noża przy niszczeniu struktury minerału i oddzieleniu go od calizny przez skrawanie.

Zęby stosowane do urabiania kopaliny bardzo trudno-urabialnej firmy Esco, CX-25/38 oraz kuty przebadano laboratoryjnie w celu stwierdzenia który z badanych zębów potrzebuje najmniejszej energii do zniszczenia badanej próbki przy tej samej energii potencjalnej E_p oraz przeprowadzenia obserwacji procesu niszczenia poszczególnych próbek w zależności od użytego zęba.

Do przeprowadzenia badań przygotowano specjalnie wykonane próbki skalne które modelowały zarówno jednolity minerał jak i kopalinę z wtrąceniami twardych minerałów które występują jako bardzo twarde przerosty w nadkładach kopalni odkrywkowych węgla brunatnego.

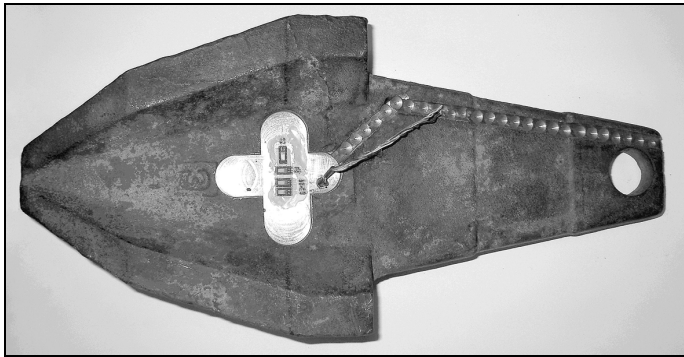
3.1. Stanowisko do badań laboratoryjnych

Badania laboratoryjne dynamicznego oddziaływania ostrza zęba na podłoże skalne przeprowadzono na specjalnie przygotowanym stanowisku do badań procesów o charakterze uderowym. Stanowisko znajduje się w laboratorium Katedry Przeróbki Plastycznej Metali w pawilonie B-4 Akademii Górniczo-Hutniczej. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 4. Zęby wszystkich trzech typów mocowane były w oryginalnym uchwycie wyciętym z noża czerpaka koparki. Uchwyt wraz z zamontowanym zębem podnoszony był przy pomocy układu linek stalowych nawijanych na bęben poruszany silnikiem elektrycznym i na ustawionej wysokości zwalniany przez zderzak. Po zwolnieniu spadał wolnym ruchem, a ostrze zęba uderzało centralnie w próbkę skalną. Wokół stanowiska ustawiono ekrany z pleksi chroniące przed odłamkami skalnymi powstałymi wskutek uderzenia zęba w skałę.

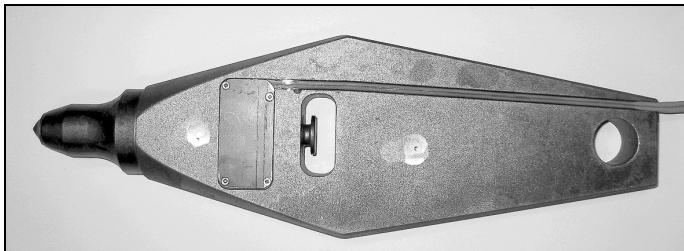


Rys. 4. Schemat stanowiska do badań dynamicznych: 1 — szabota (fundament), 2 — kowadło dolne z płytą, 3 — silnik elektryczny do podnoszenia „bijaka”, 4 — rama urządzenia zrzutowego, 5 — ciągną (linki) do podnoszenia „bijaka” i zderzaka, 6 — zderzak wciągający „bijak”, 7 — uchwyt „bijaka”, 8 — „bijak” z uchwytem, 9 — skrzynka do ustawienia i prowadzenia linki zderzaka z licznikiem wysokości, 10 — napęd linki zderzaka

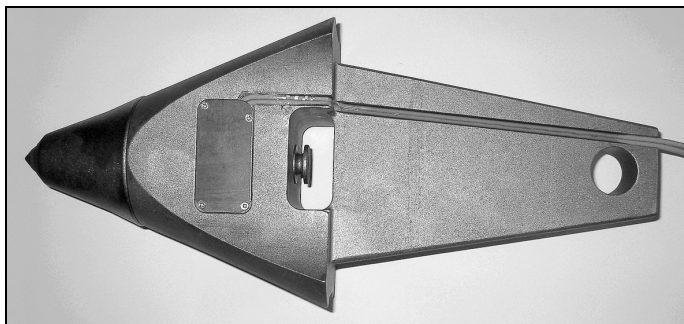
Do przeprowadzonych badań zęby WKL-3, ACX-L481, ACX-L483 zostały odpowiednio przygotowane. W przygotowanej na każdym zębie bazie pomiarowej naklejono czujniki tensometryczne pozwalające na rejestrację siły występującej przy skrawaniu minerału. Na rysunkach 5–7 przedstawione są fotografie użytych w próbach zębów. Na rysunkach pokazano miejsce i sposób naklejenia oraz zabezpieczenia tensometrów i przewodów odprowadzających sygnał.



Rys. 5. Ząb WKL-3 z tensometrami i przewodami sygnału



Rys. 6. Ząb ACX L481

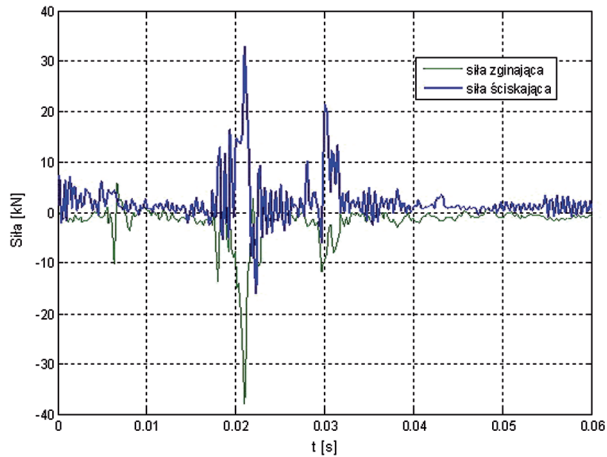


Rys. 7. Ząb ACX-L483

Gniazda na tensometry wyfrezowane zostały w tej samej odległości od uchwytu zęba dla wszystkich rodzajów zębów użytych w badaniach.

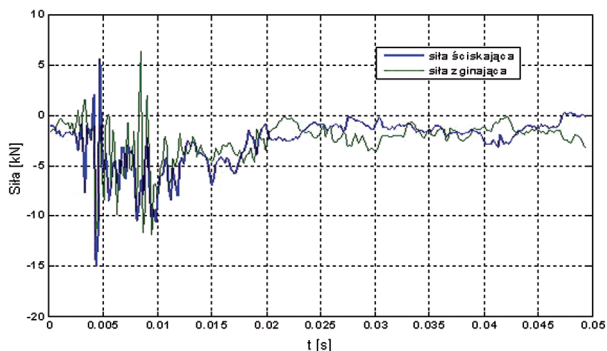
Zabudowany pomiarowy układ tensometryczny wzmacniający i rejestrujący sygnały pomiarowe pozwalał zmierzyć i zarejestrować siłę skrawania na zębie zarówno w czasie badań laboratoryjnych jak i w czasie urabiania kopaliny.

W trakcie udarowego oddziaływania ostrza na bryłę skalną dla trzech typów zębów użytych w badaniach, zaobserwować można impulsowy przyrost wartości sił charakterystyczny dla zjawisk udarowych.

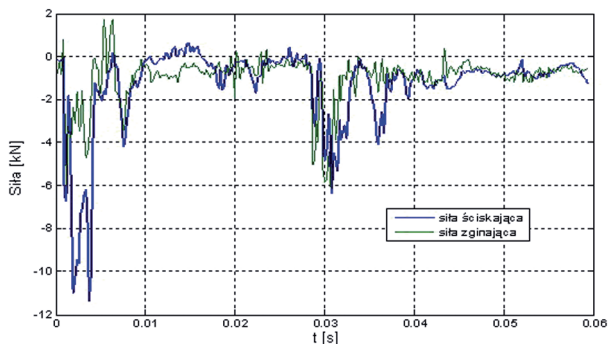


Rys. 8. Przebieg sił dla noża WKL-3

Dla ostrzy o kształcie stożkowym ACX-L481 (rys. 9) oraz ACX-L483 (rys. 10) impuls sił rozbijających próbkę występuje bezpośrednio po zetknięciu się ostrza z powierzchnią skały — jest to czas rzędu 0,005 sekundy. Dla ostrza zęba WKL-3, który ma formę liniową, maksymalne siły występują po czasie około 0,020 sekundy (rys. 8), a więc czterokrotnie większym.



Rys. 9. Przebieg sił dla noża ACX-L481



Rys. 10. Przebieg sił dla noża ACX-L483

Zgodnie z przewidywaniem siły przenoszone przez zęby o stożkowatym kształcie ostrza i uzbrojone węglikiem spiekanych są prawie trzykrotnie mniejsze od sił przenoszonych przez nóż WKL-3.

3.2. Badania laboratoryjne zębów CX-25/28, zęba kutego o kształcie ostrosłupowym i zęba Firmy Esco

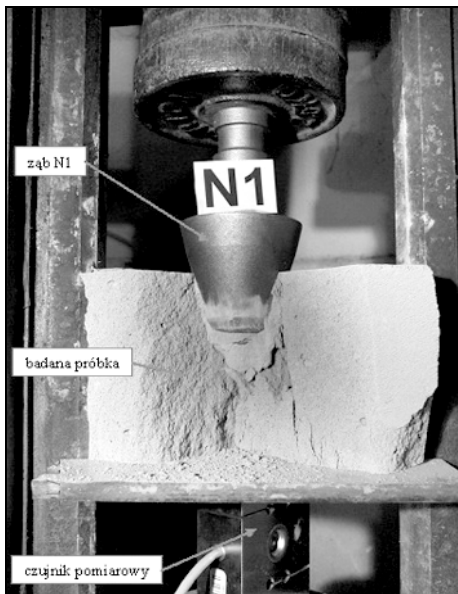
Przeprowadzone pomiary miały za zadanie stwierdzić który z badanych zębów potrzebuje najmniejszej energii do zniszczenia badanej próbki przy tej samej energii potencjalnej E_p oraz zaobserwowanie procesu niszczenia (struktura spękania) poszczególnych próbek w zależności od użytego zęba. Zęby: kuty, Firmy Esco i głowica skrawająca zęba CX-25/38 przedstawione są na rysunku 11.

Do pomiarów wykorzystano mostek pomiarowy HMB MGCplus przystosowany do pomiarów czujnikami rezystancyjnymi i indukcyjnymi. Podczas pomiarów mostek podłączony był do komputera przenośnego laptop, który wyposażony w profesjonalny program „Catman” firmy HMB rejestrował sygnał pomiarowy z czujnika. Do pomiarów wykorzystano czujnik siły firmy HBM typu S9 o zakresie pomiarowym 50 kN. Wszystkie badane zęby zostały wyposażone w specjalne uchwyty montażowe umożliwiające zamocowanie w uchwyt „bijaka” (rys. 4, poz. 7). Aby uzyskać taką samą energię uderzenia badanego zęba w próbkę, wszystkie zęby zostały dociążone odważnikami. Każdy pomiar obejmował podniesienie zęba na zadaną wysokość H , gdzie ustawiony był zderzak wczepiający (zwalnający) „bijak” (rys. 4, poz. 6) który powodował zwolnienie zęba. Zamocowany uchwyt „bijaka” wraz z zębem prowadzony wewnątrz ramy urządzenia zrzutowego (rys. 4, poz. 4) zapewniał stabilne prowadzenie zęba i gwarantował uderzenie zęba w tym samym miejscu dla każdej badanej próbki. Ząb uderzał w próbkę umieszczoną nad czujnikiem pomiarowym (rys. 4 poz. 2) gdzie w czasie rzeczywistym dokonywany był pomiar siły. W trakcie badań prowadzony był dziennik pomiarowy oraz prowadzono pełną dokumentacją fotograficzną i filmową. Rejestracja filmowa obejmowała zapis kamerą z możliwością nagrywania 600 klatek na sekundę kl/s oraz 30 kl/s.

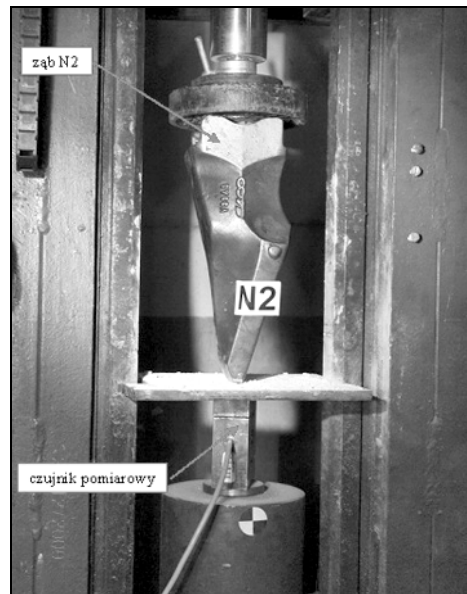


Rys. 11. Ząb kuty o kształcie ostrosłupowym (a); ząb firmy Esco (b); głowica skrawające zęba CX-25/38 (c)

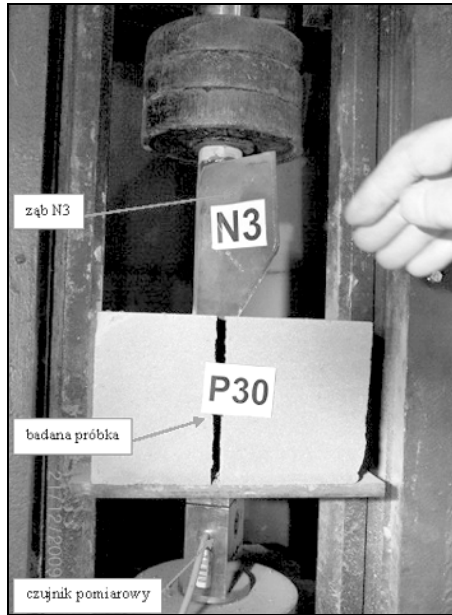
Na rysunkach 12–14, Przedstawiono zęby w czasie pomiarów.



Rys. 12. Struktura spękania próbki dla zęba CX-25/38

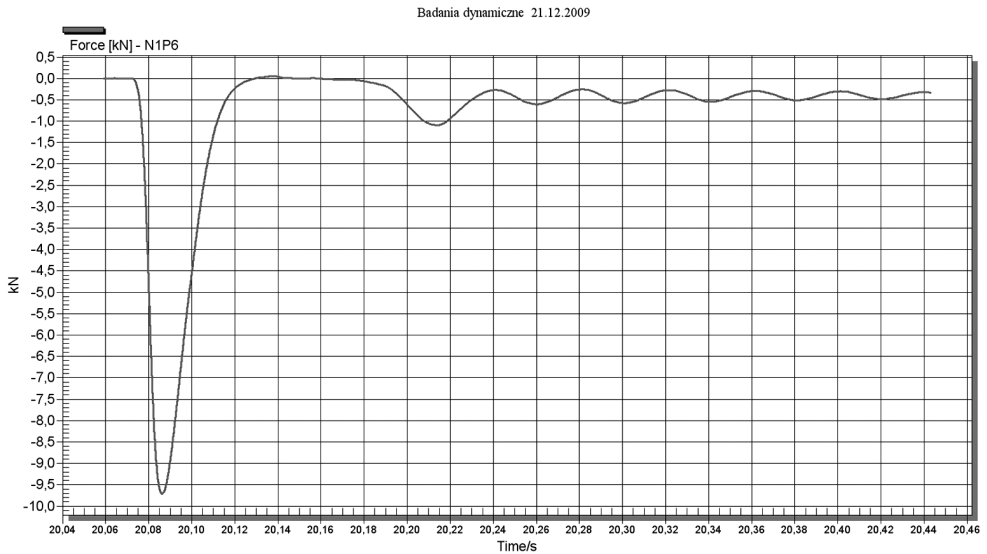


Rys. 13. Struktura spękania próbki dla zęba firmy Esco



Rys. 14. Struktura spękania próbki dla zęba kutego

Na rysunku 15 przedstawiono przykładowy wykres siły zarejestrowanej przez czujnik pomiarowy występującej przy niszczeniu próbki głowicą skrawającą zęba CX-25/35.



Rys. 15. Zarejestrowany przebieg siły niszczącej strukturę próbki

Badania wykazały że najmniejsza energia do zniszczenia próbki dowolnego rodzaju występuje dla głowicy stożkowej zęba CX-25/38.

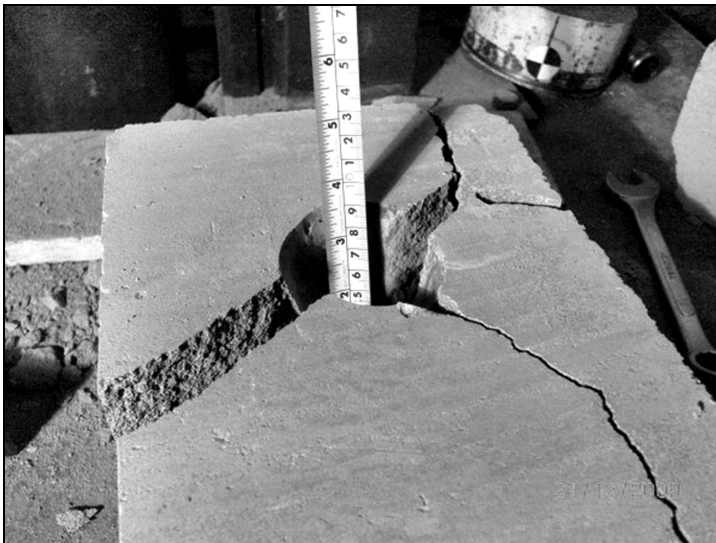
Do zniszczenia próbki zębem firmy Esco niezbędna energia była od 30 do 40% większa niż dla zęba CX-25/38. Natomiast ząb typu kuty odlewany potrzebował do zniszczenia próbki ilości energii porównywalnej z zębami Esco.

Obserwacja kierunków spękania przy niszczeniu próbek badanymi zębami potwierdziła że spękanie minerału w czasie niszczenia go zębem stożkowym CX-25/38 występuje w kilku kierunkach (rys 16). Natomiast dla dwóch pozostałych typów zębów wyłącznie w jednym kierunku (rys 17 i 18).

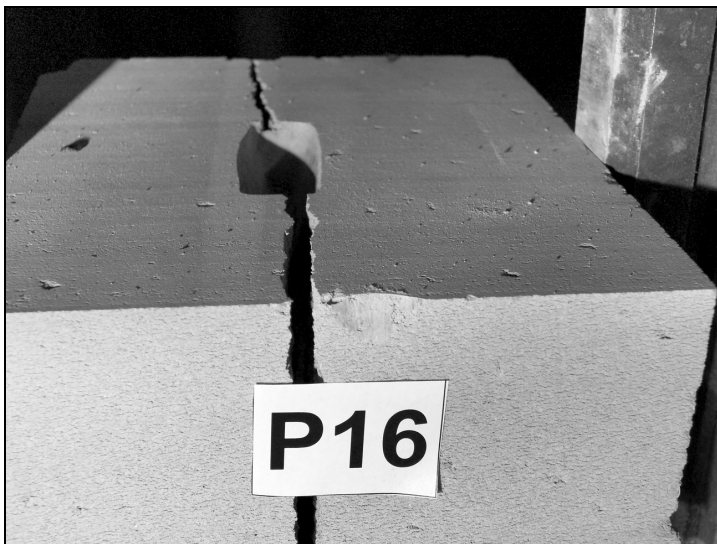
Urabianie kopaliny jest procesem stochastycznym, więc nie jest możliwe określenie w urabianej caliznie kierunku najmniejszej wytrzymałości na spękanie (rys. 16).

W związku z tym siła zewnętrzna pochodząca od ostrza skrawającego która powoduje powstanie spękań kopaliny w różnych kierunkach zwiększa możliwość pokrycia się ich z płaszczyzną podzielnosci czyli płaszczyzną najmniejszej wytrzymałości na spękanie co powoduje oddzielenie minerału od calizny. Wytworzenie naprężeń tylko w jednym kierunku tzw. działanie „klinu” jest korzystne tylko w przypadku urabiania gruntów średniourabialnych a szczególnie minerałów plastycznych typu ily.

Badane zęby analizowano pod względem wytrzymałościowym, w tym celu przeprowadzono na podstawie numerycznych modeli obliczeniowych analizę wytrzymałościową. Wyniki analizy potwierdzają, że w zębach o kształcie klinowym największe naprężenie występują na krawędzi tnącej zęba a naprężenia maksymalne na jej końcach. Natomiast w zębie o kształcie stożkowym rozkład naprężeń jest równomierny wzdłuż tworzącej stożka [3].



Rys. 16. Spękanie minerału w czasie niszczenia go zębem stożkowym CX-25/38

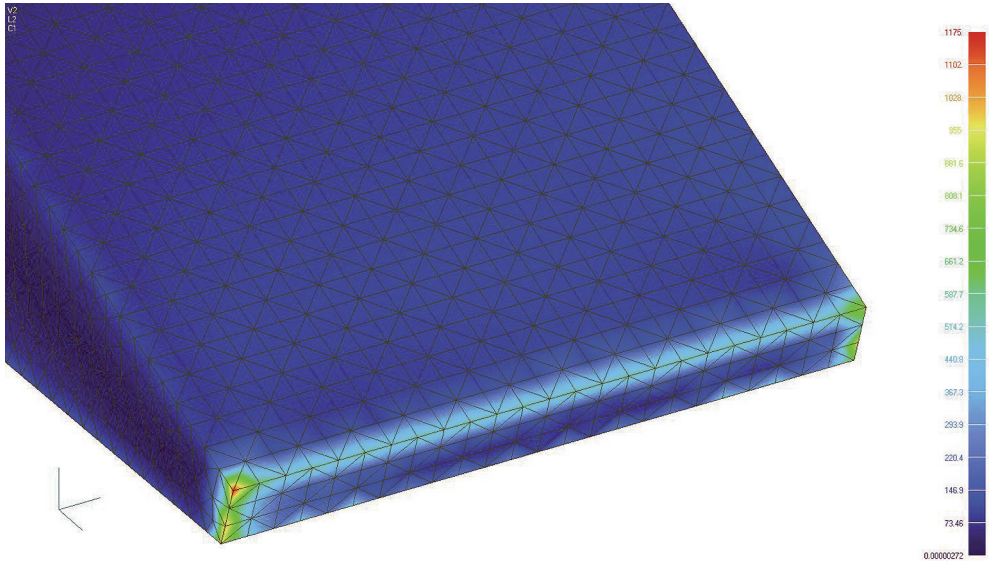


Rys. 17. Spękanie minerału w czasie niszczenia go zębem firmy Esco

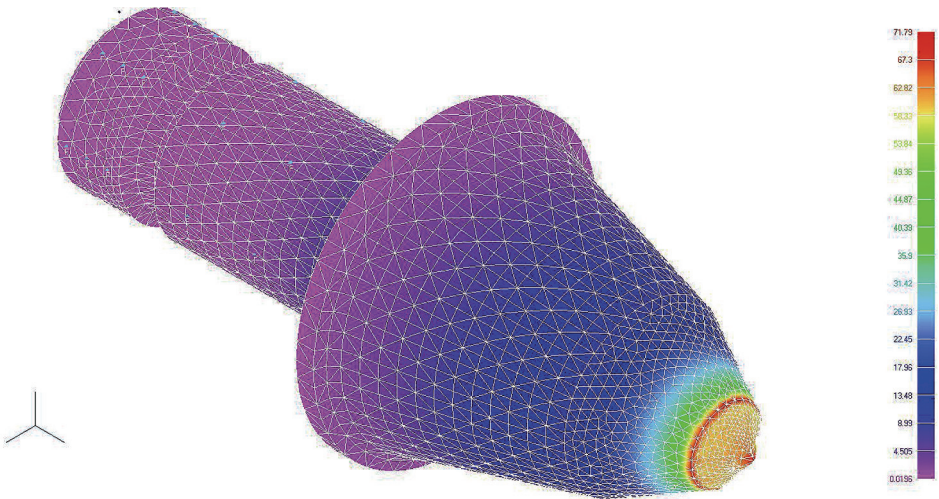


Rys. 18. Spękanie minerału w czasie niszczenia go zębem kutym ostrosłupowym

Maksymalne siły i naprężenia występują na wierzchołku stożka. Przykładowo na rysunku 19 przedstawiono naprężenia zredukowane σ_z pod działaniem zadanego obciążenia dla zęba o układzie klinowym, a na rysunku 20 σ_z dla zęba typu stożkowego.



Rys. 19. Rozkład naprężeń zredukowanych σ_z dla zęba klinowego



Rys. 20. Rozkład naprężeń zredukowanych σ_z dla głowicy zęba stożkowego CX-25/3

4. Wnioski

Analiza wyników badań wraz z analizą wytrzymałościową pozwoliły na weryfikację nowatorskiej konstrukcji zębów stożkowych ACX oraz CX-25/38.

Analizując dotychczasowe opracowania i badania dotyczące zębów stosowanych w kopalniach odkrywkowych można stwierdzić że zastosowanie zębów stożkowych może okazać się bardzo korzystne mając na uwadze obciążenia dynamiczne koparki, a także z punktu widzenia ekonomii.

LITERATURA

- [1] *Alenowicz J.*: Kształtowanie nowej generacji zębów do koparek kołowych wieloczynnościowych eksploatowanych w utworach trudno urabialnych kopalń odkrywkowych. Górnictwo Odkrywkowe, Wrocław 2003
- [2] *Alenowicz J.*: Zastosowanie zębów wymiennych napawanych w koparkach górnictwa odkrywkowego. Górnictwo Odkrywkowe, nr 1, Wrocław 2000
- [3] *Badura S., Bando D., Migacz K., Krakowski M.*: Wytrzymałościowa analiza porównawcza zębów czerpakowych koparek kołowych z uwzględnieniem rzeczywistych warunków przy użyciu metody elementów skończonych. Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych AGH TUR 2007
- [4] *Badura S., Lopata A., Migacz K.*: Badania dynamiczne i statyczne zębów czerpakowych koparek kołowych. „Technical Systems Degradation. Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne Liptawski Mikulas 7–10 kwiecień 2010
- [5] *Bęben A., Lopata A., Tella K., Tomczyk P.*: Analiza obciążeń napędu koparki kołowej KWK 1500s w zależności od jej wydajności urabiania i zużycia zębów. Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych AGH TUR 2007
- [6] *Lopata A., Michurski J., Stamblewski B., Kras R.*: Badanie trwałości zębów wykonanych przez FUGO Konin na koparce KWK 1500s. Sprawozdanie z pracy naukowo badawczej KWB „Konin”, 2002
- [7] Materiały wewnętrzne KWB „Turów” S.A.: Analiza gospodarki czerpakami KWB „Turów”, Turów 2006
- [8] Musiał W., Alenowicz J.: Kinematyka współdziałania zębów czerpaków koparek z calizną w czasie urabiania. Górnictwo Odkrywkowe, nr 4–5, Wrocław, 1999
- [9] *Orzechowski J., Alenowicz J., Urbaniak Z.*: Badanie w warunkach rzeczywistych trwałości zębów doświadczalnych i dostosowanie ich konstrukcji w oparciu o uzyskane wyniki. Instytut Górnictwa Odkrywkowego „Poltegor-Instytut”, Wrocław 1998
- [10] *Orzechowski J., Alenowicz J.*: Badania strukturalne napoin oraz wybór optymalnej technologii napawania. Instytut Górnictwa Odkrywkowego „Poltegor-Instytut”, Wrocław 1998