

## **NIEKONWENCJONALNE SPOSOBY CIĘCIA W INŻYNIERII ŻYWNOCI**

Mariusz Kosmowski, Andrzej Dowgiałło

Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy

**Streszczenie.** W pracy scharakteryzowano wykorzystywane w praktyce sposoby cięcia surowców i produktów spożywczych drutem, ultradźwiękami, wodą i laserem oraz przeprowadzono ich analizę. Wykazano wady i zalety metod cięcia, uwypuklając ograniczenia związane z niestandardowymi technikami tej obróbki.

**Słowa kluczowe:** cięcie, niekonwencjonalne sposoby

### **WSTĘP**

Cięcie jest podstawową operacją w inżynierii żywności, mającą na celu zmniejszenie wielkości materiału lub nadanie mu odpowiedniego kształtu. Polega ono na rozdzielaniu wiązań atomowych w płaszczyźnie cięcia wzdłuż określonej linii bez wpływu na stan fizyczny materiału [Dowgiałło 2006]. Na operację cięcia rzutują przede wszystkim właściwości materiału, ściśle związane z jego budową i strukturą wewnętrzną. Z tego względu konwencjonalny sposób cięcia – cięcie nożami wykonującymi ruch obrotowy, gilotynowy lub drgający – nie zawsze jest optymalny ze względu na takie kryteria, jak energochłonność operacji, jakość uzyskanej powierzchni rozdziału, występowanie odkształceń ciętego materiału, a także ze względu na możliwość uzyskiwania skomplikowanej linii cięcia. Dlatego też w różnych ośrodkach prowadzone są prace nad odmiennymi od konwencjonalnego systemami cięcia, optymalnymi ze względu na przyjęte kryterium.

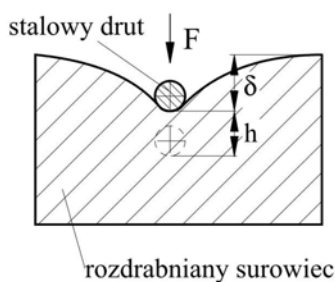
---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Andrzej Dowgiałło, Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Kołłątaja 1, 81-332 Gdynia, e-mail: adowgiallo@mir.gdynia.pl

## METODY CIĘCIA

### Cięcie drutem

Energochłonność konwencjonalnego sposobu cięcia jest pochodną właściwości ciętych materiałów oraz tarcia występującego pomiędzy nożem a obrabianym materiałem. Ponieważ przed operacją cięcia właściwości poddawanych cięciu materiałów rolnospożywczych można zmieniać w ograniczonym zakresie (np. w przypadku mięsa głównie poprzez oziębianie lub sprężanie w celu zwiększenia sztywności), prace usprawniające operację cięcia koncentrują się na poszukiwaniu sposobów zmniejszenia tarcia między surowcem a narzędziem tnącym. Jednym z nich jest zastąpienie klasycznego noża drutem. Schemat rozdrabniania przez cięcie drutem przedstawiono na rysunku 1. Dzięki działaniu siły  $F$  drut jest przemieszczany prostopadłe do kierunku przenikania przez masę surowca. Materiał początkowo odkształca się na głębokość  $\delta$ , zwaną głębokością penetracji. Przy dostatecznie dużej sile zostaje zainicjowane cięcie (rozrywanie) warstwy materiału, a drut przemieszcza się w nowo tworzonym rozdarciu. Proces jest kontynuowany przy zmniejszającej się sile cięcia do momentu uzyskania stanu ustalonego.



Rys. 1. Schemat cięcia drutem:  $\delta$  – wstępna deformacja,  $h$  – długość przecięcia (opracowanie własne)

Fig. 1. Shredding by cutting with metal wire device:  $\delta$  – initial deformation,  $h$  – intersection length (own elaboration)

W przypadku miękkich ciał stałych ostrze musi wniknąć głęboko w materiał, zanim osiągnięty zostanie krytyczny nacisk niezbędny do zerwania wiązań. W przeciwieństwie do klasycznego krojenia ruch prowadzi do zarodkowania pęknięć. Proces cięcia obejmuje zerwanie, a także duże odkształcenia. Eksperymenty wykazały [Gamonpilas 2009], że na powierzchni cięcia pojawiają się wtórne uszkodzenia, a tym samym wymagana jest większa energia zrywania niż wynikałoby z pojedynczych pęknięć.

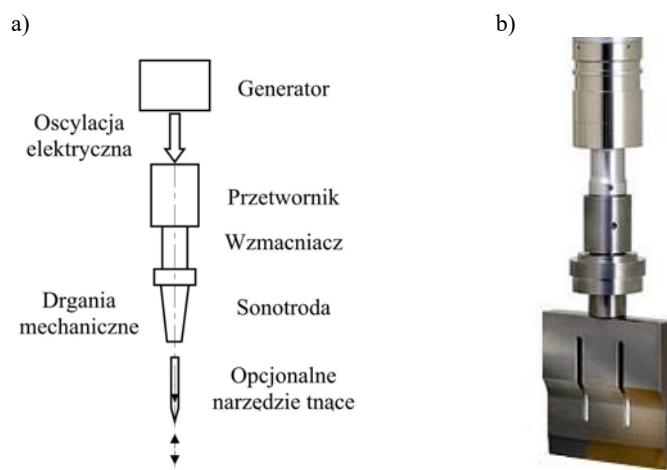
Siła  $F$  potrzebna do cięcia jest proporcjonalna do średnicy drutu [Goh i in. 2005], rośnie również wraz z prędkością cięcia (dla wszystkich średnic drutu). Zwiększanie średnicy drutu powoduje pogarszanie jakości uzyskiwanej powierzchni cięcia. Modyfikacją takiego cięcia jest cięcie drutem podgrzewanym. W przypadku cięcia surowców spożywczych o miękkiej konsystencji (owoce, warzywa, ser, masło, marmolady, gala-

retki itd.) za pomocą drutu ogrzanego do 97°C można uzyskać powierzchnie cięcia bardziej regularne przy niższych siłach cięcia oraz mniejszych stratach materiałowych [Panaite-Lehadus i in. 2016].

Cięcie metalowym drutem jest odpowiednie dla materiałów żywnościowych o miękkiej konsystencji i jednolitym składzie. Zastosowanie tej technologii skutkuje zmniejszeniem jednostkowej energochłonności procesu cięcia nawet o 80,3% dla sera i o 36,6% dla marchwi [Kowalik 2011]. Stosowanie drutu ogrzewanego pozwala użytkować powierzchnie tnące z niewielką liczbą zgrubień, zmniejszyć siły cięcia oraz zredukować straty soku i materiału powstałego w wyniku cięcia.

### Cięcie ultradźwiękowe

Kolejnym sposobem redukcji sił tnących jest cięcie ultradźwiękowe. Do cięcia ultradźwiękami wykorzystuje się ostrza, które w trakcie cięcia wibrują z częstotliwością 20 kHz (lub wyższą). Powoduje to wytwarzanie się poduszki powietrznej, która w dużym stopniu uniemożliwia przywieranie do powierzchni ostrza takich składników ciast, jak tłuszcze, cukry, miód, kremy itp.

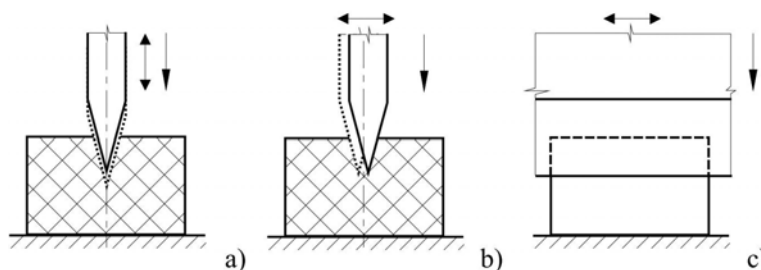


Rys. 2. Cięcie ultradźwiękowe: a – schemat układu tnącego (opracowanie własne), b – przykładowy nóż (opracowanie własne)

Fig. 2. Ultrasonic cutting: a – scheme of the cutting system (own elaboration), b – sample knife (own elaboration)

Systemy cięcia ultradźwiękowego składają się z łańcucha elementów (rys. 2), które generują i propagują ultradźwiękowe wibracje do strefy separacji. Typowy ultradźwiękowy system cięcia tworzą cztery zespoły [Schneider i in. 2011]: zasilacz, przetwornik, wzmacniacz i narzędzie tnące. Zasilacz soniczny (generator) generuje prąd o częstotliwości ultradźwiękowej (zazwyczaj w zakresie 20–50 kHz). Przetwornik ultradźwiękowy jest elektromechanicznym urządzeniem, które przekształca energię elektryczną o wysokiej częstotliwości na drgania mechaniczne (przetwornik piezoelektryczny).

Wzmacniacz (jednostka sprzęgająca) przenosi wibracje mechaniczne w postaci fali dźwiękowej na sonotrodę, zwiększa lub obniża amplitudę mechanicznego ruchu narzędzia (w zależności od układu mas na każdym końcu). Sonotroda działa jak mechaniczny rezonator, który wibruje głównie wzdłuż osi drgań. Narzędzie tnące jest urządzeniem, które wykonuje rzeczywiste cięcie.



Rys. 3. Główne interakcje między ciętym materiałem i narzędziem tnącym (opracowanie własne): strzałki pojedyncze – kierunek cięcia, strzałki podwójne – kierunek drgań

Fig. 3. Principle of ultrasonic cutting systems and main configurations for interaction between cutting material and the cutting tool (own elaboration): single arrows – direction of cut, double arrows – direction of vibration

Mechaniczne oddziaływanie pomiędzy powierzchniami styku narzędzia i materiału zależy od względnego ukierunkowania ruchu przesuwanego i ultradźwiękowego (rys. 3). Występują trzy przypadki: oś wibracji i oś ruchu pokrywają się (rys. 3a), kierunek wibracji jest prostopadły zarówno do osi narzędzia, jak i krawędzi tnącej (rys. 3b), kierunek drgań jest prostopadły do narzędzia, ale równoległy do krawędzi tnącej (rys. 3c). Wszystkie trzy konfiguracje mogą prowadzić do zmniejszenia siły tarcia [Littmann i in. 2001]). Przyjmuje się, że wibracje w wyniku bezwładności masy lub zależnego od czasu odtwarzania odkształcenia ciętego materiału prowadzą do zmniejszenia średnich nacisków na narzędzie i w rezultacie siła potrzebna do oddzielenia materiału maleje.

Wartość siły cięcia zależy od parametrów przetwarzania, takich jak geometria cięcia, prędkość cięcia, kierunek, częstotliwość i amplituda wibracji, a także od właściwości produktu, takich jak mikrostruktura, wilgotność, zawartość tłuszczu, wrażliwość na temperaturę. Na przykład wykazano [Wang i in. 2002], że siły cięcia kruchych materiałów są odwrotnie proporcjonalne do czasu kontaktu narzędzia tnącego z produktem.

Charakterystyczne dla cięcia ultradźwiękowego jest to, że siła cięcia rośnie, podobnie jak podczas cięcia gilotynowego, ale tylko do niewielkiego zagłębienia się noża w materiał. Jej dalsze zwiększanie następuje w niewielkim stopniu lub siła pozostaje na niezmiennym poziomie.

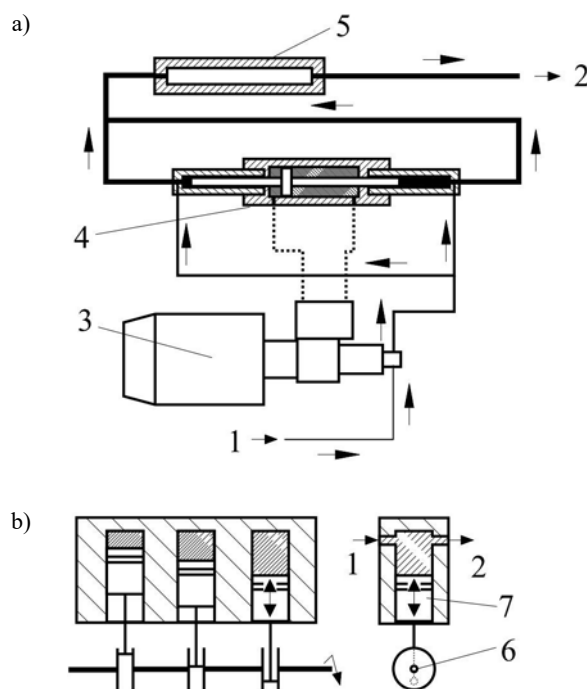
Do zalet cięcia ultradźwiękowego należy doskonała powierzchnia cięcia, zmniejszone deformacje, mniejsza tendencja do rozbicia (kruszenia), niewielkie rozmazywanie. Szczególną zaletą jest możliwość wycinania cienkich plastrów (np. chleba).

Oprócz narzędzi do cięcia klasycznego typu gilotynowego produkowane są ostrza, które pozwalają na kreowanie produktów spożywczych o różnych formach i kształtach (np. ostrza okrągłe).

Metoda jest uniwersalna, dobre efekty uzyskujemy zarówno przy cięciu produktów kruchych i heterogenicznych (ciasta, wyroby cukiernicze i piekarnicze), jak i tłustych (lepkich) [Arnold i in. 2009]. Przykładowo nadaje się do cięcia serów, gotowanego mięsa, pasztetów, szynki, wypieków i wyrobów cukierniczych, kanapek oraz żywności mrożonej.

### Cięcie wodą

Cięcie wodą jest technologią przecinania materiałów za pomocą strumienia wody pod bardzo wysokim ciśnieniem. Stosując wysokociśnieniowe pompy lub hydrauliczne wzmacniacze ciśnienia, doprowadza się wodę do ciśnienia powyżej 500 MPa – w efekcie prędkość strumienia często przekracza prędkość dźwięku.



Rys. 4. Schemat pompy wysokociśnieniowej – a) ze wzmacniaczem (opracowanie własne), b) z napędem bezpośrednim (opracowanie własne): 1 – woda, 2 – woda pod ultrawysokim ciśnieniem, 3 – pompa, 4 – wzmacniacz hydrauliczny, 5 – akumulator, 6 – wał korbowy, 7 – tłok

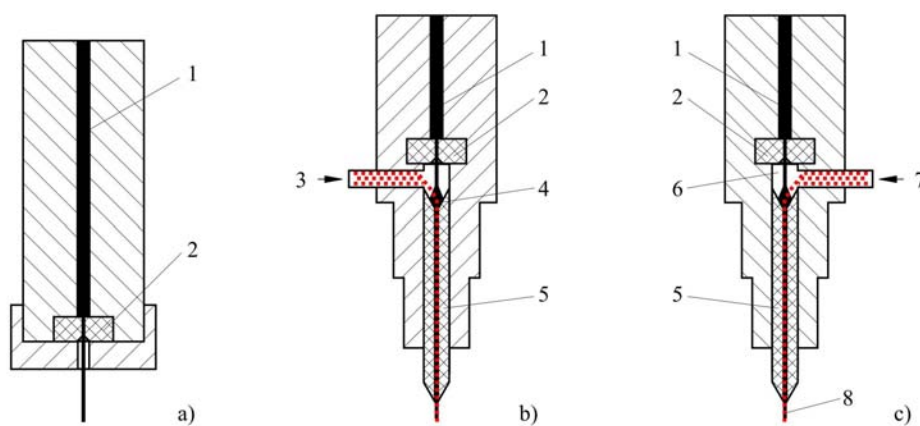
Fig. 4. Diagram of a high pressure pump – a) with amplifier (own elaboration), b) with direct drive (own elaboration): 1 – water, 2 – water under ultra high pressure, 3 – pump, 4 – hydraulic amplifier, 5 – battery, 6 – crankshaft, 7 – piston

**Wytwarzanie wysokiego ciśnienia wody.** Powszechnie stosowane są pompy ze wzmacniaczem (rys. 4a). W tych rozwiązaniach ciśnienie wody podnoszone jest w dwóch etapach. W pierwszym pompa podnosi ciśnienie wody do ok. 0,7 MPa, w następnym wzmacniacz hydrauliczny zagęszcza wodę do ok. 600 MPa. Akumulator ciśnienia (tłumik wartości szczytowych ciśnienia) utrzymuje ciśnienie na stałym poziomie na wyjściu. Pompa połączona jest z głowicą tnącą za pomocą przewodów rurowych.

Istnieją również pompy o napędzie bezpośrednim (rys. 4b). Korzystają z silnika elektrycznego napędzającego wał korbowy, który porusza trzy lub więcej tłoków przenoszących ciśnienie na wodę. Stosuje się je, gdy wymagane jest niższe ciśnienie. Ponadto pompy o napędzie bezpośrednim mogą uruchamiać więcej niż jedną głowicę tnącą tylko w przypadku, gdy wszystkie głowice tną ten sam element w tym samym czasie. Z pompą ze wzmacniaczem można uruchamiać głowice tnące na wielu maszynach tnących różne elementy, włączając i wyłączając głowice w dowolnej kolejności.

**Wytwarzanie strugi wodnej.** Do tej pory opracowano dwie technologie – technologię przecinania samą wodą oraz technologię przecinania wodą z dodatkiem ścierniwa.

Zasada powstawania strugi czystej wody polega na „przeciskaniu” jej przez bardzo mały otwór (0.18–0.4 mm) w tzw. dyszy wodnej, najczęściej wykonanej z diamentu (rys. 5a). W celu uzyskania wydajnego strumienia wody potrzebne jest ciśnienie ok. 130–400 MPa. Powstały w ten sposób cienki strumień wody o bardzo wysokiej gęstości energii jest w stanie przeciąć miękkie materiały.



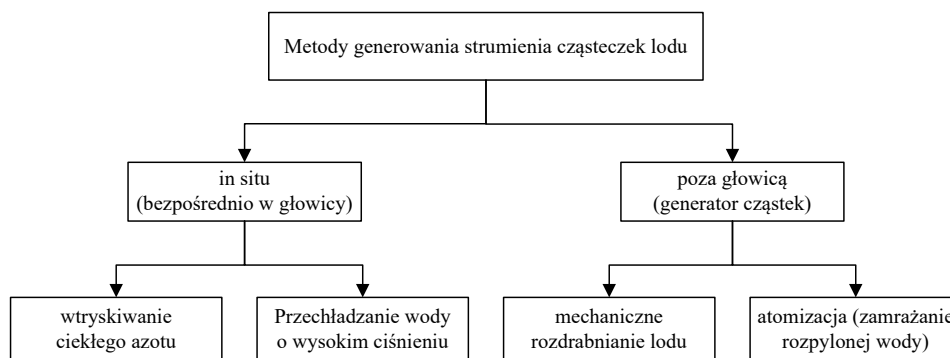
Rys. 5. Cięcie wodą – głowice tnące: a – zasada powstawania strumienia wody, b – zasada powstawania strugi wodno-ściernej (opracowanie własne), c – zasada powstawania strugi wody z lodem (opracowanie własne): 1 – woda pod wysokim ciśnieniem, 2 – dysza wodna, 3 – ścierniwo, 4 – mieszanina woda-ścierniwo, 5 – dysza mieszająca, 6 – komora mieszania, 7 – ciekły azot, 8 – trójfazowy strumień woda (lód), woda (płyn), azot (gaz)

Fig. 5. Cutting with water – cutting heads: a – the principle of creating a stream of water, b – the principle of creating a water-abrasive jet (own elaboration), c – principle of ice water flow (own elaboration): 1 – high pressure water, 2 – water jet, 3 – abrasive, 4 – water-abrasive mixture, 5 – mixing jet, 6 – mixing chamber, 7 – liquid nitrogen, 8 – three-phase water (ice), water (liquid), nitrogen (gas)

Zasada powstawania strugi wodno-ścierniej polega na użyciu wody do przyspieszenia ziaren ścierniwa (rys. 5b). Poniżej poziomu dyszy wodnej bardzo duża prędkość wody pod wysokim ciśnieniem wywołuje podciśnienie, które prowadzi do samoczynnego zasysania ścierniwa. Ścierniwo po wymieszaniu z wodą w komorze mieszania i uformowaniu w tzw. dyszy mieszającej tworzy strugę zdolną przeciąć twarde materiały.

**Cięcie samą wodą.** Cięcie samą wodą pozwala stosować dysze o mniejszych otworach i przez to uzyskiwać większe prędkości strugi (do  $Ma = 3$ ). Szybkość i siła strumienia wody tnącej jest wystarczająca do cięcia niektórych materiałów. Główną wadą takiego cięcia jest niska efektywność przenoszenia energii pomiędzy strumieniem i przedmiotem obrabiania. To ogranicza stosowanie strumienia wody do obróbki materiałów stosunkowo miękkich i cienkich. Przykładowo sama woda jest stosowana do cięcia owoców, warzyw, miękkiego mięsa, pieczywa i wyrobów cukierniczych.

**Cięcie wodą z materiałem ściernym.** Gdy mają być penetrowane duże przekroje poprzeczne lub produkt zawiera twardsze elementy, konieczne jest dodanie ścierniwa do strumienia wody. Stosowane w innych dziedzinach mineralne materiały ściernie (np. granat) są niedopuszczalne w produktach spożywczych. Inne rodzaje ścierniwa (sól, cukier, skrobia) mają niewystarczające działanie ściernie. Najbardziej obiecującą alternatywą okazały się cząstki (kryształki) lodu. Istnieją dwa podejścia do generowania cząstek lodu – zastosowanie generatora lodu lub tworzenie cząstek lodu *in situ* (rys. 6).



Rys. 6. Klasyfikacja metod generowania cząstek lodu wg sposobu ich produkcji (opracowanie własne)  
Fig. 6. Classification of methods of ice particles generating according to the method of its production (own elaboration)

Przykładowy generator lodu przedstawiono na rysunku 7. Ciekły azot ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) wprowadzany jest do zatomizowanych kropeł wody, woda jest zamieniana na cząstki lodu, które gromadzą się w chłodzonym zbiorniku. Cząstki ze zbiornika zasysa głowica wodno-ścierna (rys. 5b).

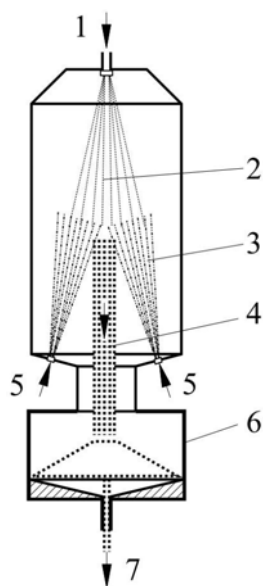
Wytwarzanie cząstek lodu *in situ* polega na krystalizacji wody podczas tworzenia strumienia. W tym przypadku strumień cząstek może być wytwarzany albo przez wstępne przechłodzenie wody pod wysokim ciśnieniem i kontrolowaną przemianę fazową podczas zmniejszania jej ciśnienia w obszarze dyszy strumieniowej, albo przez przemianę fazową w czasie porywania wody przez ciekły azot w komorze mieszania (rys. 5c).

Dokonując technicznej analizy technologii IceJet, można stwierdzić, że produkcja i wstrzykiwanie cząstek lodu do strumienia wody nie jest skomplikowanym zadaniem, jednak wymaga ciągłego monitorowania i kontrolowania temperatury w celu uniknięcia zatykania i topnienia cząstek lodu. Można to jednak zautomatyzować.

Mniejsza twardość cząstek lodu w porównaniu z klasycznymi materiałami ściernymi prowadzi do mniejszych prędkości cięcia. Jednak mimo to cząstki lodu wspomagające cięcie strumieniem wody dają do 40% większą skuteczność cięcia w porównaniu z cięciem czystą wodą [McGeough 2016]. Pozwala to na cięcie nawet mięsa z kością oraz mrożonych produktów spożywczych.

Szybkość cięcia jest bardzo zróżnicowana. W konkretnym przypadku można ją określić tylko za pomocą testów.

Do zalet cięcia produktów spożywczych strumieniem wody zaliczamy: eliminację zagrożenia bakteryjnego, brak potrzeby czyszczenia lub ostrzenia narzędzia tnącego, mniejsze straty produktów, dysze tnące mogą być nieruchome (co pozwala na podawanie produktów spożywczych przez przenośnik), możliwe jest cięcie we wszystkich kierunkach z dużą precyzją.



Rys. 7. Układ generowania cząstek lodu przez atomizację i zamrażanie kropelek wody (opracowanie własne): 1 – ciekły azot ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), 2 – rozproszone krople ciekłego azotu, 3 – rozproszone krople wody, 4 – cząstki lodu, 5 – woda + powietrze, 6 – chłodzony kolektor cząstek lodu, 7 – przewód do głowicy tnącej

Fig. 7. System for ice particles generating by atomizing and freezing of water droplets (own elaboration): 1 – liquid nitrogen ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), 2 – scattered drops of liquid nitrogen, 3 – scattered drops of water, 4 – ice particles, 5 – water + air, 6 – cooled ice particles collector, 7 – wire for cutting head



Cięcie czystą wodą jest skuteczną metodą cięcia owoców i warzyw, mięsa, wypieków i wyrobów cukierniczych, pizzy, kanapek oraz wszystkich rodzajów mrożonek. Jest to jedna z droższych metod cięcia. Jej wadą jest duży koszt sprzętu – głównie koszt pompy próżniowej z wysokimi wymaganiami energetycznymi. Niższe ciśnienie potrzebne do cięcia miękkich biomateriałów zmniejsza ten koszt, jednak nadal jest on istotny.

### Cięcie laserem

Dzięki swym szczególnym właściwościom w przybliżeniu równoległy promień światła kierowany jest bezpośrednio na obrabiany materiał. Ostro skupiony promień o wysokiej gęstości energetycznej przemieszcza się po konturach cięcia lub grawerki wczytanych w układzie CNC. Obróbka promieniem lasera odbywa się całkowicie bezdotykowo. Brak jest oddziaływania siłowego spowodowanego posuwem narzędzi. Nie mocuje się ciętego materiału. Dzięki absorpcji energii na jego powierzchni następuje obróbka. Cięcie laserem może odbywać się przez: odparowanie, topienie lub wypalanie. Najczęściej mamy do czynienia z kontrolowanym spalaniem lub rozkładem termicznym w temperaturach do 1000°C (piroliza).

a)



b)

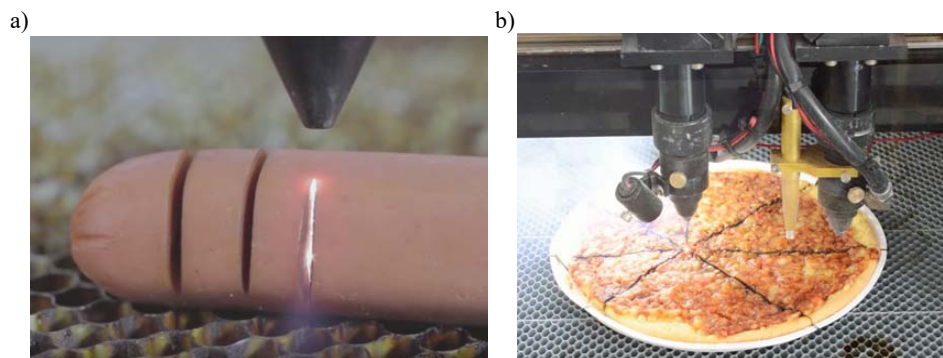


c)



Rys. 8. Lasery w przemyśle spożywczym: a – grawerowanie [MDUST 2018], b – wycinanie [Stellitano 2018b], c – dekorowanie [Stellitano 2018a]

Fig. 8. Lasers in the food industry: a – engraving [MDUST 2018], b – cutting [Stellitano 2018b], c – decorating [Stellitano 2018a]



Rys. 9. Przykłady cięcia laserem: a – parówka [Osman 2016], b – pizza [Sandqvist 2013]  
 Fig. 9. Examples of laser cutting: a – sausage [Osman 2016], b – pizza [Sandqvist 2013]

Mimo wysokich temperatur cięcie laserowe znajduje zastosowanie w obróbce żywności. Stosujemy lasery do oznaczania żywności, dekorowania i wycinania (rys. 8).

Cięcie laserem, gdy mamy do czynienia z dużą grubością materiału, prowadzi do rozdziału surowca (rys. 9), lecz wysoka temperatura na tyle zmienia właściwości i smak, że otrzymane produkty nie nadają się do spożycia.

## PODSUMOWANIE

1. Ograniczeniem metody cięcia drutem jest uzyskiwanie dobrych efektów jedynie przy cięciu produktów jednolitych (bez skóry, nasion, niejednorodnej struktury wewnętrznej).

2. Cięcie ultradźwiękowe charakteryzuje się wysoką precyzją, a przede wszystkim czystością i estetyką cięcia (nawet produktów wielowarstwowych), gwarantuje wysoką wydajność i powtarzalność. W zależności od zapotrzebowania możliwe są rozwiązania o różnym stopniu automatyzacji (od rozwiązań manualnych do pełnej automatyzacji linii produkcyjnych).

3. Podstawowym wyróżnikiem technologii cięcia wodą jest jakość i precyzja cięcia. Nowoczesne oprogramowanie sprzężone z maszyną pozwala na wycinanie dowolnych kształtów. Żadna z pozostałych metod nie dorównuje cięciu wodą w tej kwestii. Wodą ciąć można wszystkie materiały (przeszkodą mogą być materiały zbyt twarde w grubych warstwach). Podstawową wadą są wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.

4. W obecnym stanie techniki cięcie laserem nadaje się w ograniczonym zakresie do cięcia produktów spożywczych. Cięcie laserowe to precyzyjna metoda cięcia sterowana numerycznie (pliki CAD).

**PIŚMIENNICTWO**

- Arnold, G., Leiteritz, L., Zahn, S., Rohm, H. (2009). Ultrasonic cutting of cheese: Composition affects cutting work reduction and energy demand. *Int. Dairy J.*, 19, 314–320.
- Dowgiało, A., 2006. Modelowanie operacji cięcia materiałów rolno-spożywczych. *Post. Tech. Przetw. Spoż.*, 1, 47–49,
- Gamonpilas, C., Charalambides, M., Williams, J. (2009). On the study of fracture properties of starch gels. *5th International Symposium on Food Rheology and Structure*, 276–279.
- Goh, S.M., Charalambides, M.N., Williams, J.G. (2005). On the mechanics of wire cutting of cheese. *Engin. Fract. Mech.*, 72, 931–946.
- Kowalik, K. (2011). Wpływ technologii cięcia wybranych produktów spożywczych na energochłonność procesu. *Rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska, Lublin.*
- Littmann, W., Storck, H., Wallaschek, J. (2001). Sliding friction in the presence of ultrasonic oscillations: Superposition of longitudinal oscillations. *Arch. Appl. Mech.*, 71, 549–554,
- McGeough, J.A. (2016). Cutting of Food Products by Ice-particles in a Water-jet. *18th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM XVIII). Procedia CIRP*, 42, 863–865.
- MDUST (2018). Znakowanie żywności. <https://www.reklama.pl/realizacja/znakowanie-zywnosci,28006>.
- Osman, W. (2016). Can a laser cut meat? <https://www.youtube.com/watch?v=au315F03JDc>.
- Panaite-Lehadus, M., Olaru, C., Nedeff, V., Olaru, I., Mosnegutu, E. (2016). The study behavior of food materials with soft texture subjected to shredding by cutting. *7th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering IOP Publishing IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 147, 012150, doi:10.1088/1757-899X/147/1/012150.
- Sandqvist, F. (2013). Cutting a pizza with 150W (150000 mW) laser! <https://www.youtube.com/watch?v=uVQFI9mJagA>.
- Schneider, Y., Zahn, S., Rohm, H. (2011). Ultrasonic Cutting of Foods. In: *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, Feng, H., Barbosa-Cárovas, G.V., Weiss, J. (eds). Chapter 9. Springer, New York–Dordrecht–Heidelberg–London.
- Stellitano, A. (2018a). Banana leaf. <http://www.cutlaser.com/showcase/astarism-laser-cutting-food>.
- Stellitano, A. (2018b). Crackers. <http://www.cutlaser.com/showcase/astarism-laser-cutting-food>.
- Wang, X., Zhou, M., Gan, J.G.K., Ngoi, B. (2002). Theoretical and experimental studies of ultra-precision machining of brittle materials with ultrasonic vibration. *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, 20, 99–102.

**UNCONVENTIONAL CUTTING METHODS IN FOOD ENGINEERING**

**Abstract.** The methods of raw materials and food products cutting used in practice were characterized by wire, ultrasonic, water and laser. The disadvantages, advantages and limitations of cutting methods were showed standard of such treatment techniques were indicated.

**Key words:** cutting, unconventional methods