

Henryk HOLKA¹, Tomasz JARZYNA²

e-mail: hhenryk@vp.pl

¹ Bydgoska Szkoła Wyższa, Bydgoszcz² Zakład Mechaniki Stosowanej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Bilans energetyczny recyklingu opon przy wykorzystaniu technologii *water-jet*

Wstęp

Zużyte opony stanowią bardzo duży światowy problem ekologiczny. Szacuje się, że roczna ich podaż wynosi około 1 mld Mg. Wynika to z faktu, że w pojedynczym pojeździe samochodowym ich udział wagowy wynosi aż od 25÷40 kg [Wojciechowski i in., 2014]. Globalna tendencja do zwiększania rozmiaru opon w samochodach osobowych oraz dynamiczny wzrost sprzedaży pojazdów typu SUV, wpływają na rosnący udział wagowy masy opon w pojazdach.

Stosowane są różne metody zagospodarowania zużytych opon. Przegląd najpopularniejszych z nich znaleźć można np. w pracach [Holka i Jarzyna, 2014; Holka i Jarzyna, 2016]. Badania dotyczące możliwości recyklingu opon przy wykorzystaniu strumieni wody o wysokim ciśnieniu prezentowane były przez autorów w licznych pracach naukowych, a uzyskane wyniki potwierdziły skuteczność tej metody.

Zainteresowanie inwestorów tą metodą i jednocześnie ich obawy o jej opłacalność, skłoniło autorów do oszacowania bilansu energetycznego, co jest celem niniejszej pracy. Opracowanie to może stanowić przyczynek do podjęcia decyzji o budowie zakładu przetwarzającego opony z wykorzystaniem opisywanej metody.

Analiza energetyczna technologii *water-jet*

Rynek energetyczny. Budowa zakładu produkcyjnego niezależnie od jego wielkości zawsze wiąże się z zabezpieczeniem zakładu w energię elektryczną. Przy staraniu się o sprzedaż energii, podstawową wielkością jest ilość mocy jaka musi być zabezpieczona dla ciągłości produkcji. W ekstremalnych przypadkach przy dużym zapotrzebowaniu energii, inwestor narażony będzie na duże koszty, ewentualną budowę podstacji lub na zmianę lokalizacji zakładu. W przypadku budowy zakładu nietypowego, a takim jest niewątpliwie przedsiębiorstwo recyklingu opon stosujące technologię *water-jet*, ocenę zapotrzebowania w energię należy przeprowadzić bardzo ostrożnie i dokładnie. W Polsce nie ma zakładu przetwarzającego opony tą metodą, w związku z tym analizy zapotrzebowania energii nie można przeprowadzać na zasadzie porównania. Na polskim rynku energetycznym działa obecnie około 100 sprzedawców energii dla firm. Listę firm współpracujących z regionalnym operatorem można sprawdzić na stronach *Urzędu Regulacji Energetyki*. Jednocześnie należy dodać, że *Urząd Regulacji Energetyki* bardzo dokładnie monitoruje przekroczenia limitu zakupionej mocy, stąd duża presja na rzeczywistą wielkość pobieranej mocy, gdyż każde przekroczenie ustalonego limitu wiąże się z dużymi karami. Z podobnym przykładem autorzy niniejszej pracy zetknęli się podczas wnioskowania o dofinansowanie z *Urzędu Marszałkowskiego* na projekt dotyczący budowy zakładu recyklingu opon wykorzystującego technologię *water-jet*.

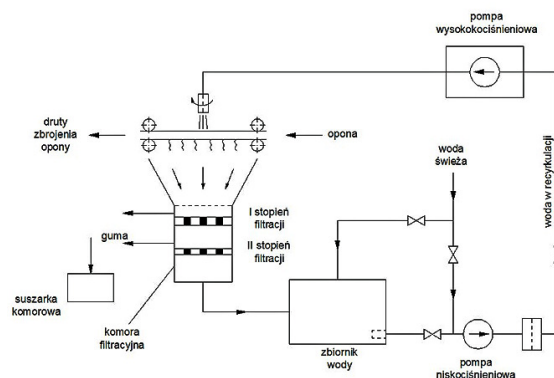
Wybór źródła zasilania. Zaopatrując zakład w energię elektryczną można skorzystać ze źródeł alternatywnych. Często stosowanym rozwiązaniem jest zastosowanie agregatu prądowłóczego (Rys. 1).



Rys. 1. Agregat prądowłóczy o mocy maksymalnej 220 kW [Agregaty, 2017]

Aby zdecydować się na wybór źródła zasilania, niezbędne jest oszacowanie zapotrzebowania zakładu w energię. Innowacyjność opisywanej metody powoduje, że praktycznie nie ma możliwości podpatrzenia gotowej linii technologicznej, co stanowiłaby bazę do opracowania bilansu energetycznego tej technologii. Jeżeli takowe powstają, to informacje na ich temat są chronione. Istnieją jednakże źródła literaturowe jak np. [Blair, 2003; Verri, 2010] przedstawiające pomysły na realizację procesu technologicznego *water-jet*.

Technologia *water-jet*. Autorzy pracy są twórcami pierwszej kompleksowej metody *water-jet* w Polsce (Rys. 2).



Rys. 2. Schemat instalacji do recyklingu opon technologią *water-jet*

W zaproponowanym procesie, najbardziej energochłonną operacją jest obróbka opony za pomocą strug wody o wysokim ciśnieniu. W związku z tym skoncentrowano się na aspektach energetycznych tej operacji.

W wyniku przeprowadzonych badań doświadczalnych ustalono, że najbardziej efektywna do obróbki opon prowadzona jest przy zastosowaniu trójdysowych głowic natryskowych (Rys. 3) [Holka i Jarzyna, 2011].



Rys. 3. Widok ogólny trójdysowej głowicy natryskowej [Holka i Jarzyna, 2011]

W czasie pracy głowica wykonuje ruch posuwisty i jednocześnie obrotowy, a wypływające z głowicy trzy strumienie wody o wysokim ciśnieniu rozdrabniają oponę na pewnej szerokości zależnej od ustawienia dysz i wysokości głowicy nad oponą (Rys. 4).

Wycięcie pokazane na rysunku uzyskano podczas obróbki, gdy ciśnienie natryskiwanej wody wynosiło $p = 200$ MPa, odległość czoła głowicy od powierzchni opony była równa 20 mm, prędkość posuwu głowicy natryskowej wynosiła $v = 0,00625$ m/s, a średnica dysz $d = 0,4$ mm. Takie parametry uznano za bardzo efektywne pod



Rys. 4. Szerokość wycięcia po zastosowaniu głowicy natryskowej



Rys. 5. Widok opony po trzykrotnej obróbce głowicą natryskową [Holka i Jarzyna, 2010]

względem zapotrzebowania na energię, o czym świadczą zarówno przeprowadzone obliczenia jak i wydajność procesu. Powstałe wycięcie o szerokości około 50 mm jest zbyt wąskie, aby rozdrobnić całą szerokość bieżnika. Dla większości typowych opon samochodów osobowych należałoby wykonać równoległe 4 przejścia głowicy, aby bieżnik został rozdrobniony. Przykład trzykrotnego zastosowania głowicy pokazano na rys. 5.

Obliczenia wydatku wody. Przeprowadzono obliczenia metodą opisaną w pracy [Holka i Jarzyna, 2010] dla pojedynczych głowic natryskowych oraz dla układu czterech głowic pracujących jednocześnie. W pierwszym etapie wyznaczono strumienie masy wody wypływającej z głowic. W tym celu wykorzystano zależność na wartość strumienia masy wody wypływającej z pojedynczej dyszy

$$m = \alpha \epsilon F \sqrt{2p\rho} \quad [\text{kg/s}] \quad (1)$$

gdzie:

α – współczynnik oporu przepływu przez dyszę zależny od cech geometrycznych dyszy

ϵ – liczba ekspansji uwzględniająca kontrakcję strumienia wody przepływającej przez dyszę (dla wody $\epsilon \cong 1$)

F – powierzchnia otworu dyszy, [m²]

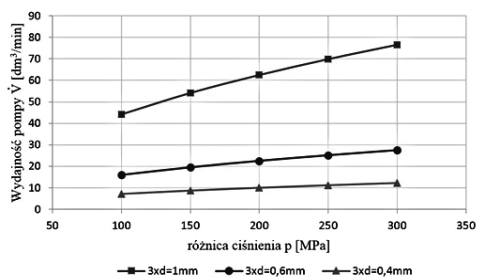
p – różnica ciśnienia po stronie wlotowej i wylotowej dyszy, [Pa]

ρ – gęstość wody, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

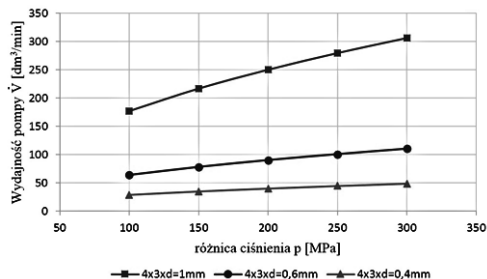
Wyniki obliczeń wydatku wody wypływającej z pojedynczych głowic jak i układów głowic zamieszczono w tab. 1 oraz pokazano na rys. 6 i 7.

Tab. 1. Wydatek wody wypływającej z głowic

Różnica ciśnienia p [MPa]	Wydatek [dm ³ /min]					
	Głowica z 3 dyszami o średnicy d [mm]			4 głowice, każda z 3 dyszami o średnicy d [mm]		
	1	0,6	0,4	1	0,6	0,4
100	44,2	15,9	7,1	176,9	63,7	28,4
150	54,2	19,5	8,7	216,7	78	34,7
200	62,5	22,5	10	250,2	90,1	40
250	69,9	25,2	11,2	279,7	100,7	44,8
300	76,6	27,6	12,2	306,5	110,3	49



Rys. 6. Zależność wydatku wody trójdzysowej głowicy od różnicy ciśnień



Rys. 7. Zależność wydatku wody czterech trójdzysowych głowicy od różnicy ciśnień

Obliczenia zapotrzebowania mocy do napędu pompy tłoczącej wodę do dysz natryskowych przeprowadzono wg wzoru

$$N = \frac{p\dot{V}}{\eta} \quad (2)$$

gdzie:

N – zapotrzebowanie mocy do napędu pompy, [kW],

p – ciśnienie wody w przewodzie tłocznym pompy, [kPa]

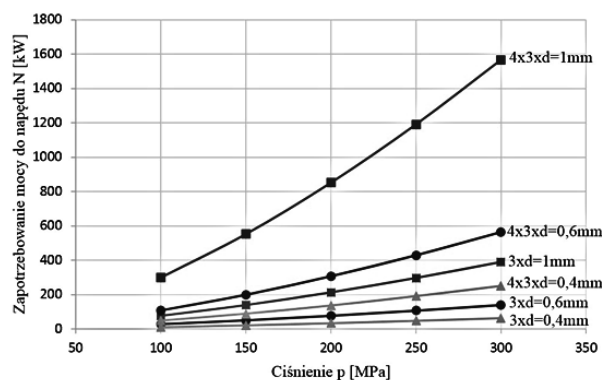
\dot{V} – strumień objętości tłoczonej wody, [m³/s]

η – sprawność ogólna pompy będąca iloczynem sprawności wolumetrycznej η_w i mechanicznej η_m .

Wyniki obliczeń przedstawiono w tab. 2 i na rys. 8.

Tab. 2. Zapotrzebowanie mocy do napędu pompy tłoczącej wodę do dysz natryskowych

Ciśnienie p [MPa]	Zapotrzebowanie mocy [kW]					
	Głowica z 3 dyszami o średnicy d [mm]			4 głowice, każda z 3 dyszami o średnicy d [mm]		
	1	0,6	0,4	1	0,6	0,4
100	75,2	27,1	12	300,7	108,4	48,1
150	138,2	49,7	22,1	552,8	199	88,4
200	212,8	76,6	34	851	306,5	135,8
250	297,3	107	47,5	1189,2	428,04	190,2
300	390,9	140,6	62,4	1563,6	562,6	249,7



Rys. 8. Zależność zapotrzebowania mocy do napędu pompy od ciśnienia

Wnioski

- Już w początkowym etapie projektowania zakładu recyklingu opon należy oszacować zapotrzebowanie energii do realizacji procesu.
- Zakłady recyklingu opon niezależnie od wykorzystywanej metody (mechanicznej, czy wodnej) wymagają zaangażowania stosunkowo dużych mocy energetycznych.
- Należy również wziąć pod uwagę przykłady alternatywnego zasilania energetycznego np. za pomocą generatorów.
- Przeprowadzone obliczenia i przedstawione wykresy wskazują na dużą zależność wydajności i efektywności obróbki od średnicy dysz, ciśnienia natryskiwanej wody oraz wysokości głowicy nad oponą.

LITERATURA

- Agregaty PEX-POOL PLUS. (12.2017): <http://www.generatory.pl>
- Blair D. (2003). *The disintegration of rubber tyres using ultra high pressure fluid jets*. Patent WO2003057442 A1
- Holka H., Jarzyna T., (2010). Aspekty energetyczne dekompozycji opon samochodowych metodą *water-jet*. *Inż. Ap. Chem.* 49(5), 43-44
- Holka H., Jarzyna T., (2011). Zastosowanie trójdzysowych głowic natryskowych w metodzie *water-jet* do recyklingu opon samochodowych. *Inż. Ap. Chem.* 50(3), 29-3
- Holka H., Jarzyna T., (2016). *Analysis of innovative methods for car tire comminution*. Conf.: Engineering Mechanics, 9-12.05.2016, Svratka, Czech Republic, 198-201
- Holka H., Jarzyna T., Sołtysiak R., (2014). Wpływ parametrów pracy strugi wody na skuteczność recyklingu opony. *Logistyka*, 6, 4481-4486
- Verri R., (2010). *A plant for recycling tires*. Patent WO/2010/023548 A2
- Wojciechowski A., Żmuda W., Doliński A., (2014). Rozkład termiczny opon - zagospodarowanie karbonizatu. *Logistyka*, 6, 11278-11288