

## KONSTRUKCJA ROZDRABNIACZY DO BIOMASY

### Wprowadzenie

Obserwowane jest duże zainteresowanie w zakresie opracowania i wdrożeń różnorodnych wariantów konstrukcyjnych rozdrabniaczy. Są one wykorzystywane praktycznie we wszystkich gałęziach przemysłu. Ze względu na rosnące znaczenie odnawialnych źródeł energii OZE, szczególną uwagę poświęca się obecnie konstrukcji rozdrabniaczy do biomasy. Jest to wynikiem poszukiwania odpowiedzi na problem zagospodarowania ogromnej ilości odpadów posiadających użyteczną wartość opałową [1, 2, 9, 20]. Cechy konstrukcyjne rozdrabniaczy niejednokrotnie zostały zapożyczone z maszyn rolniczych, np. siewczarni i innych rozdrabniaczy [2]. Z czasem ich budowa ulegała znacznym modyfikacjom. Obecnie mamy do czynienia z bardzo złożonymi konstrukcjami, integrującymi w sobie napędy mechaniczne i rozwiązania mechatroniczne [4, 7, 8, 10, 11, 14, 18].

Wartość opałowa biomasy w porównaniu z węglem jest stosunkowo wysoka i wynosi: dla drewna - 17 MJ/kg, dla słomy - 16 MJ/kg w porównaniu z wartością opałową dla węgla - 25 MJ/kg [22]. Korzystne, z punktu widzenia kosztów pozyskania 1 kWh energii, jest porównanie z innymi nośnikami, np. w oparciu o:

- energię elektryczną 0,37 zł,
- gaz 0,17 zł,
- olej opałowy 0,23 zł,
- pompy ciepła 0,07 zł,
- biomasę 0,02 zł.

Rozdrabnianie jest najczęściej postrzegane jako etap pośredni w zakresie przygotowania odpowiedniego produktu do dalszego przetwórstwa lub wytworzenia materiału opałowego [1]. Pozyskane w ten sposób paliwo opałowe z biomasy może być współpalone z innymi paliwami konwencjonalnymi, np. z węglem [Baxter 2005]. Instrumentem motywującym do wykorzystania biomasy jako paliwa jest m.in. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii nakłada na przedsiębiorstwo energetyczne obowiązek współspalania co najmniej 7% w 2008 r. i do 12,9% w 2017 r. biomasy pochodzenia roślinnego. Podaje się, że w jednostce wytwórczej, w której są spalane biomasa lub biogaz wspólnie z innymi paliwami, do energii wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii zalicza się część energii elektrycznej lub ciepła odpowiadającą udziałowi energii chemicznej biomasy, lub biogazu w energii chemicznej paliwa zużywanego do wytwarzania energii, obliczana na podstawie rzeczywistych wartości opałowych tych paliw, z zastrzeżeniem § 9 ust. 1, według wzoru:

$$E_{OZE} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Ri} W_{Ri}}{\sum_{i=1}^n M_{Bi} W_{Bi} + \sum_{j=1}^m M_{Kj} W_{Kj}} \quad (1)$$

gdzie:

- $E_{OZE}$  - ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii, MWh lub GJ,
- $E$  - ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w jednostce wytwórczej, w której jest spalana biomasa lub biogaz wspólnie z innymi paliwami, MWh lub GJ,
- $M_{Bi}$  - masa biomasy lub biogazu, spalonych w jednostce wytwórczej, Mg,
- $M_{Kj}$  - masa paliwa innego niż biomasa lub biogaz, spalonego w jednostce wytwórczej, Mg,
- $W_{Bi}$  - wartość opałowa biomasy lub biogazu spalonych w jednostce wytwórczej, MJ/Mg,
- $W_{Kj}$  - wartość opałowa paliwa innego niż biomasa lub biogaz, spalonego w jednostce wytwórczej, MJ/Mg,
- $n$  - liczba rodzajów biomasy lub biogazu spalonych w jednostce wytwórczej,
- $m$  - liczba rodzajów paliw innych niż biomasa lub biogaz, spalonych w jednostce wytwórczej.

<sup>1</sup> Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki, ul. Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz, Polska, tel. 523257623, mackomar@ukw.edu.pl



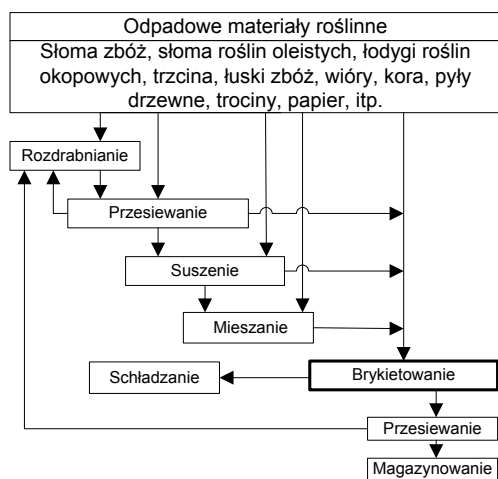
W myśl obowiązującego rozporządzenia zakłada się konieczność udziału wagowego biomasy pochodzącej z upraw energetycznych lub odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, z wyłączeniem odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty, w łącznej masie biomasy dostarczonej do procesu spalania, w zależności od wytwarzanej mocy elektrycznej oraz roku oddania inwestycji do eksploatacji, w ilości od 5 do 100% biomasy. Większość użytej w procesie spalania biomasy może zatem pochodzić z odpadów drewna i produkcji rolnej w postaci słomy zbóż, kukurydzy, roślin energetycznych (rzepak) oraz upraw traw energetycznych. W celu minimalizacji kosztów wytworzenia paliwa stałego o wartości energetycznej 1 GJ konieczne jest przetworzenie biomasy do postaci pozwalającej na jego współspalanie w istniejących kotłach przez produkcję peletu lub brykietu o gęstości 1,1 – 1,28 g/cm<sup>3</sup> [4].

Pośród wielu sposobów obróbki wstępnej biomasy najczęściej wymienia się: suszenie, balowanie, brykietowanie, płukanie, karbonizację (torrefaction), szybką pirolizę i peletyzację (rys.1). Peletyzacja biomasy powoduje zwiększenie jej gęstości energetycznej, przez co obniżeniu ulegają koszty transportu, umożliwia mieszanie tak przetworzonego paliwa razem z węglem w instalacjach z automatyczną linią podawania, mielenia, itp., polepsza właściwości przemiałowe, umożliwia też zwiększenie udziału współspalanego paliwa (co jest istotne przy ograniczonej wielkości kotła). Problemem jest wrażliwość pelet na wodę – po kontakcie z wodą mogą pęcznieć i rozpaść się, więc podobnie jak brykiety wymagają specjalnych warunków składowania. Pelety są aktualnie najpopularniejszą, najbardziej pożądaną i uniwersalną formą biomasy, stosowaną zarówno w dużych systemach współspalania, jak i małych, lokalnych kotłach na biomasę [Bergman, Boersma, Zwart, Kiel 2005].



**Rys. 1.** Biomasa w formie peletów (na lewo) oraz pelety po ekspozycji na wilgoć (po prawej).

Proces produkcji może przebiegnąć wg zamieszczonego poniżej diagramu. W zależności od surowca, od stopnia rozdrobnienia, wilgotności pewne etapy produkcji można pominąć (rys.2).



**Rys. 2.** Schemat wytwarzania brykietów [9]

poszczególnych elementów składowych. W zbiorniku można zastosować dodatkowe elementy do mieszania składników (trociny, słoma, dodatki ziaren itp). Tak przygotowany surowiec podawany jest do zespołu zasypowego brykietciarki. W wyniku przetwarzania otrzymujemy brykiet (kostka, walec, ośmiokąt itp). Ostatni etap - pakowanie i składowanie uzależnione są od wymagań odbiorcy. (worki, big-bagi, kontenery). Przechowywanie powinno odbywać się w pomieszczeniach suchych, aby wyprodukowany brykiet

W pierwszej części procesu technologicznego następuje rozdrobnienie surowca do postaci, którą będzie można zbrykietować (frakcja - kilka milimetrów). W zależności od surowca i jego pierwotnej struktury korzystamy z różnych urządzeń rozdrabniających (rębaki, młyny, sieczkarnie). Często trzeba zastosować dwustopniowe rozdrabnianie. Gdy wilgotność rozdrobnionego surowca nie pozwala na prawidłową aglomerację powinno się wprowadzić do suszarni - najczęściej bębnowej. Działają one na zasadzie przesuwania materiału dzięki wewnętrznej budowie ślimakowej. W wyniku styku z gorącym powietrzem następuje utrata wilgotności surowca. Wilgotność uzyskiwana powinna mieścić się w granicach do 15%, gdyż większa zawartość wody powoduje pogorszenie jakości brykietu. Kolejny etap to transport podajnikiem (najczęściej ślimakowym) rozdrobnionego i suchego surowca do zbiornika buforującego. Jest to często element niezbędny, który niweluje różnice wydajnościowe

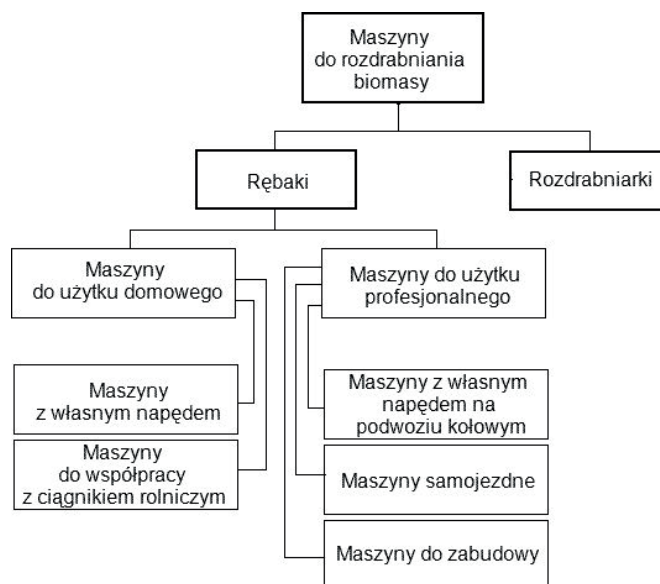


nie absorbował wilgoci z otoczenia. Złe warunki składowania mogą doprowadzić do rozwarstwiania się brykietu a w najgorszym wypadku powrotu do stanu sypkiego [9].

## 1. Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych rozdrabniaczy

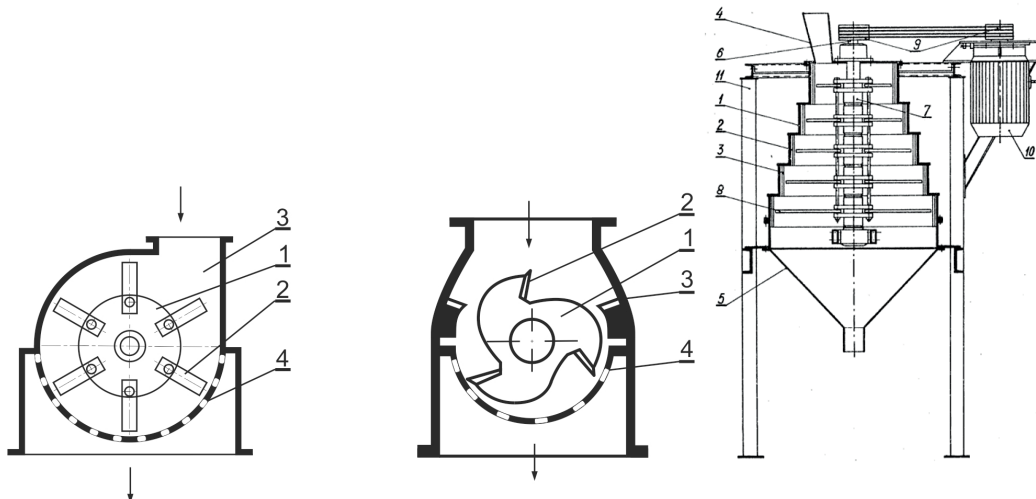
Rozdrabnianie biomasy przez cięcie czy mielenie jest podstawowym i bardzo popularnym sposobem obróbki wstępnej. Rozdrabnianie stosuje się często przed transportem biomasy, w celu zwiększenia jej gęstości nasypowej i obniżenia kosztów transportu. W tej grupie rozdrabniaczy można dokonać podziału maszyn do rozdrabniania biomasy wg poniższego schematu (rys.3).

Znane są prace z zakresu konstrukcji rozdrabniaczy specjalnych, szczególnie do materiałów twardych. Bogato jest również reprezentowany dorobek nt. maszyn rozdrabniających - tnących - młynów nożowych, wśród nich rozdrabniaczy hiperboloidalnych opracowanych przez Konieczkę [11]. Wśród przemysłowych rozwiązań konstrukcyjnych znane są rozdrabniacze walcowe, łamacze, gniotowniki, młyny kulowe, wibracyjne, prętowe oraz rozdrabniacze nożowe o specyficznych cechach geometrycznych wdrożone do produkcji (m.in. IMPB Toruń, Trymet Pilchowo, Instalwent Bydgoszcz, Heinrich Dreher GmbH & Co. KG, Hellweg Maschinenbau GmbH & Co. KG, Weima, Hosokawa Alpine). Wartościowe są również prace M. Pahla z zakresu rozdrabniaczy specjalnych oraz z zakresu rozdrabniaczy do drewna – rębaków [Pahl M. 1998]. W praktyce przemysłowej stosowane są rozdrabniacze o szerokim spektrum rozwiązań konstrukcyjnych i wydajności mierzonej w kg/godz. [2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 19, 20, 21].



Rys. 3. Podział maszyn do rozdrabniania biomasy [9].

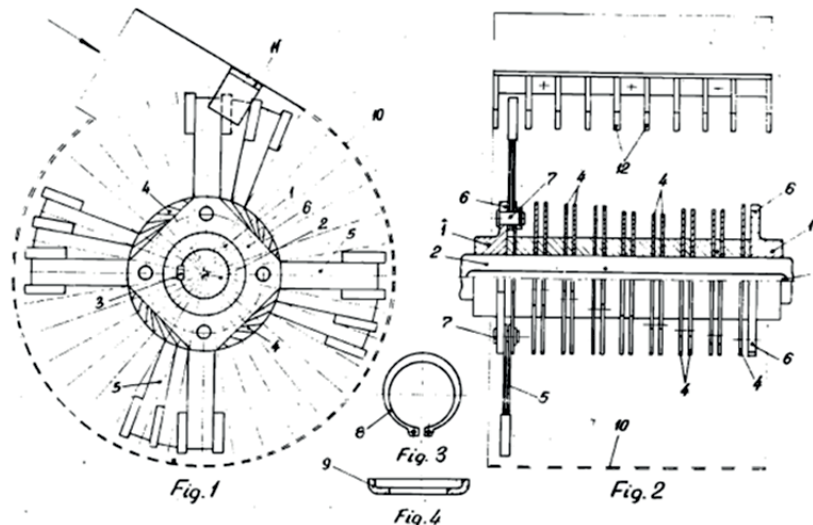
Do rozdrabniania biomasy stosowane są różnorodne rozwiązania konstrukcyjne [2], np. rozdrabniacze bijakowe i nożowe o bardzo zróżnicowanym ukształtowaniu przestrzeni roboczej (rys. 4.).



**Rys. 4.** Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne rozdrabniacza bijakowego - a) (1-wirnik, 2-bijak, 3-wsyp, 4-sito) i rozdrabniacza nożowego b) (1-wirnik, 2-nóż, 3-przeciwnóż, 4-sito).

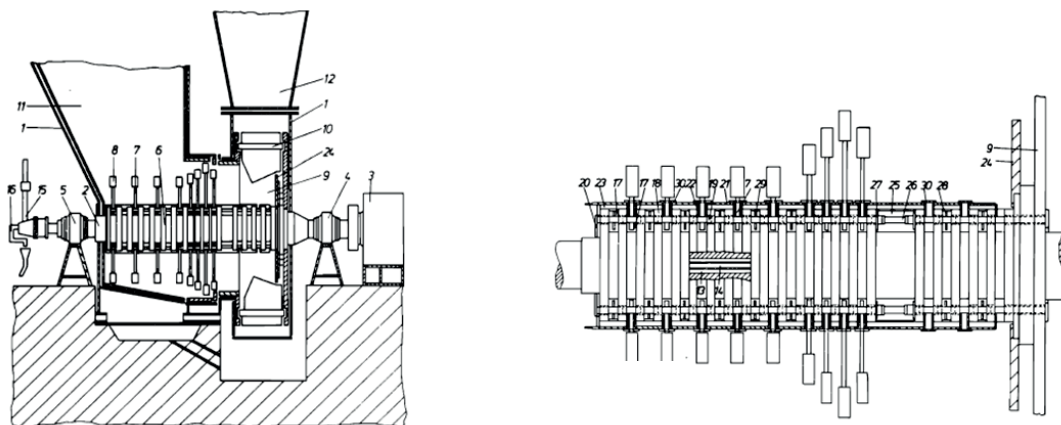
Znanych jest wiele rozwiązań konstrukcyjnych rozdrabniaczy bijakowych i nożowych o szczególnych wymaganiach, np. młyn udarowy przelotowy (na podst. patentu nr 73429 MKP B02C 13/00 z roku 1973). Cechą charakterystyczną jest to, że komora rozdrabniania pracująca w układzie pionowym składa się z szeregu pierścieni o średnicach zwiększających się od góry ku dołowi komory stanowiących jedną sztywną całość. Wewnątrz komory pracują bijaki rozdrabniające o długości właściwej dla danej średnicy pierścienia i zamocowane przegubowo na tarczach osadzonych na pionowym wale napędowym (rys. 5).

Inne rozwiązanie rozdrabniacza bijakowego przedstawiono na rys. 6 charakteryzuje się tym, że bijaki rozmieszczono w rzędach - wzdłuż linii śrubowej jedno- lub kilkunastokrotnej rozwiniętego wirnika. Wyróżnia się ono tym, że przegubowo zawieszono bijaki na wirniku rozdrabniacza są rozmieszczone między tarczami na pojedynczych sworzniach.



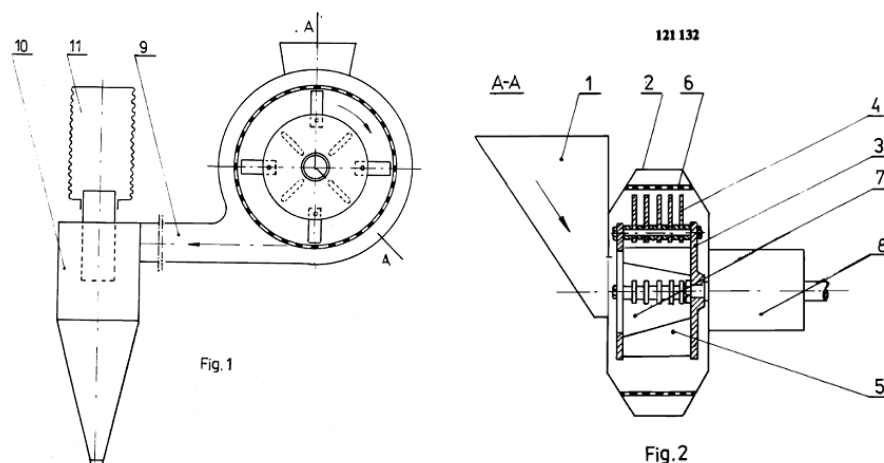
**Rys. 6.** Rozdrabniacz bijakowy, zwłaszcza do wysuszonych materiałów paszowych - Patent nr 102307 MKP B02C 13/04 z roku 1978.

Młyn bijakowy przedstawiony na rys. 7 posiada dodatkowo dmuchawę, służy do mielenia i suszenia oraz zawiera zespół bijaków z kołem łopatkowym umieszczonymi na wale młyna, posiada również wzdłuż osi podłużnej usytuowany układ chłodzenia wodą i osadzone ramiona bijaków, które stanowią zespół bijaków pomiędzy pierścieniami wału.



Rys. 7. Młyn bijakowy z dmuchawą (Patent nr 116535 MKP B02C 13/10 z roku 1980).

Znane są rozdrabniacze z dodatkową funkcją procesu, np. rozdzielania (rys. 8). Układ posiada wysokociśnieniową komorę rozdrabniania, w której nadciśnienie jest wytworzone przez radialnie usytuowane łopatki w przestrzeni międzybijakowej wirnika. Zaletą takiego rozwiązania jest zmniejszenie energochłonności jednostkowej procesu, polepszenie jakości produktu przez występowanie mniejszej ilości niepożądanej frakcji drobnej i pylistej, nienagrzewanie się rozdrabnianego materiału w trakcie procesu oraz możliwość transportu pneumatycznego produktu i rozdzielenia go od powietrza w filtrocyklonie bez dodatkowych urządzeń zasilających.



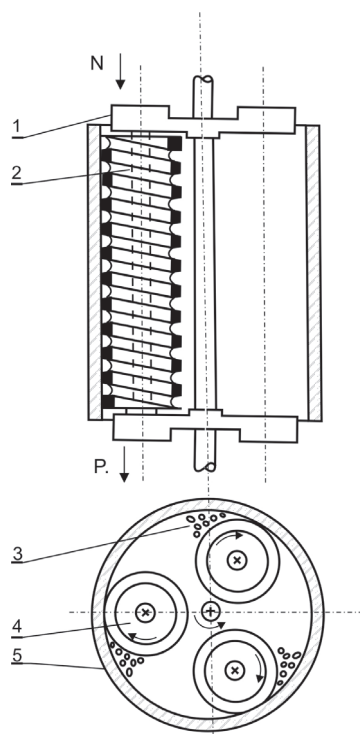
Rys. 8. Układ rozdrabniająco - rozdzielający zwłaszcza materiałów ziarnistych. Patent nr 121132 MKP B02C 13/286 z roku 1981.

W oparciu o istniejące teorie oraz na podstawie patentów, aktualnie konstruowane i produkowane są dla różnych materiałów następujące rodzaje rozdrabniaczy i młynów opisane w literaturze: bijakowe, nożowe, hiperboloidalne, rębakowe, quasi-ścinające, tarczowe, walcowe, specjalne (młyny kulowe, wibracyjne, obrotowo-wibracyjne, toczne) oraz inne rozwiązania jako modyfikacje wymienionych. W rozwiązaniach tych wyróżnić można elementarne sposoby rozdrabniania (rozciąganie, skręcanie, zgniatanie, rozbijanie, cięcie, rozcieranie) przy czym wszystkie wymienione procesy występują z reguły łącznie z przewagą jednego z nich, w zależności od konstrukcji rozdrabniacza.

Ciekawym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest np. młyn Szego [18], stosowany m.in. do rozdrabniania odpadów papierowych, polimerowych, produktów roślinnych (np. łupin ryżu), używanych następnie jako wypełniacze w kompozycjach polimerowych. Konstrukcja oparta jest o walce z zarysem spiralnym, usytuowane wewnątrz komory i obracające się wokół własnej osi (rys. 9). Średni rozmiar produktu rozdrabniania waha się w granicach 425µm - 3000 µm a wydajność na poziomie 200 kg/h.



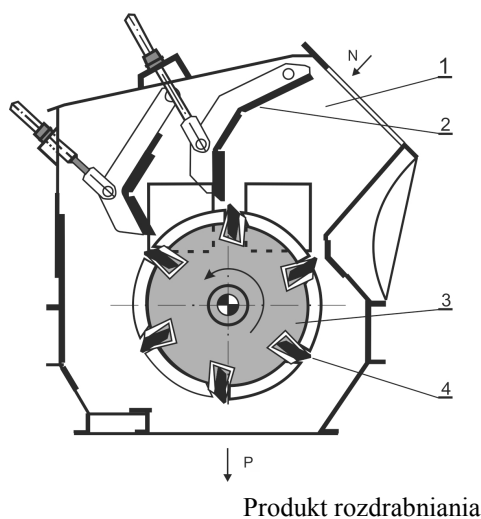




**Rys. 9.** Widok rozdrabniacza Szego [18]: 1 – pokrywa górną, 2 – spiralne walce, 3 – rozdrabniany materiał, 4 – walce rozdrabniające wirujące wokół osi (zgodnie ze wskazówkami zegara), 5 – nieruchoma obudowa, N – nadawa, P – produkt rozdrabniania

Interesującą grupę konstrukcyjną stanowią również rozdrabniacze, w których wykorzystuje się udarowy charakter pracy elementów osadzonych na obwodzie wirnika wraz z występowaniem naprężeń stycznych. Przykładem może być rozdrabniacz przedstawiony na rys. 10.

Schemat turboskrawarki z głowicą nożową przedstawiono na rys. 11 a. Stożkowy kształt pierścienia i wirnika umożliwia regulowanie wielkości szczeliny między krawędzią tnącą noży a przeciwnożami w celu uzyskania optymalnej wartości, niezależnie od wielkości wysunięcia noży. Regulacja szczeliny odbywa się przez poosiowe przesunięcie wirnika. Noże wymienia się po wymontowaniu pierścienia nożowego. Wydajność tego typu rozdrabniaczy dochodzi do 5t/h. W rozdrabniaczu krzyżakowym (rys. 11 b) elementem rozdrabniającym jest poziomy wirnik w kształcie krzyżaka, obracający się wewnątrz pierścienia utworzonego przez sito lub segmenty sitowe i rozdrabniające. Pierścień ten może być nieruchomy lub wirujący przeciwbieżnie. Materiał jest doprowadzany poosiowo do komory rozdrabniania przez wysp i po rozbiciu przez sito odprowadzany dołem.



**Rys. 10.** Widok rozdrabniacza z bijakami rozmieszczonymi na obwodzie wirnika, pełniącymi jednocześnie funkcje ścinania materiału w komorze rozdrabniania.



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE

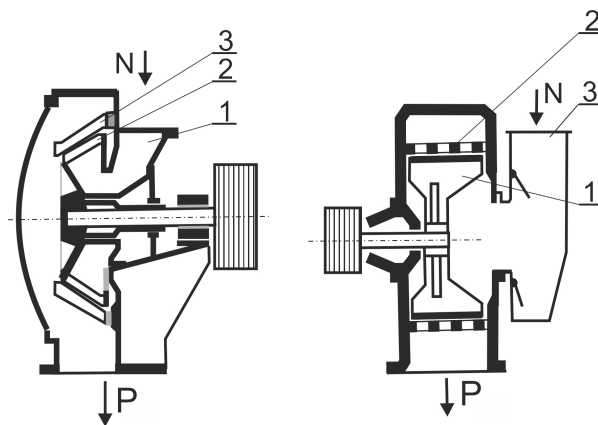


UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



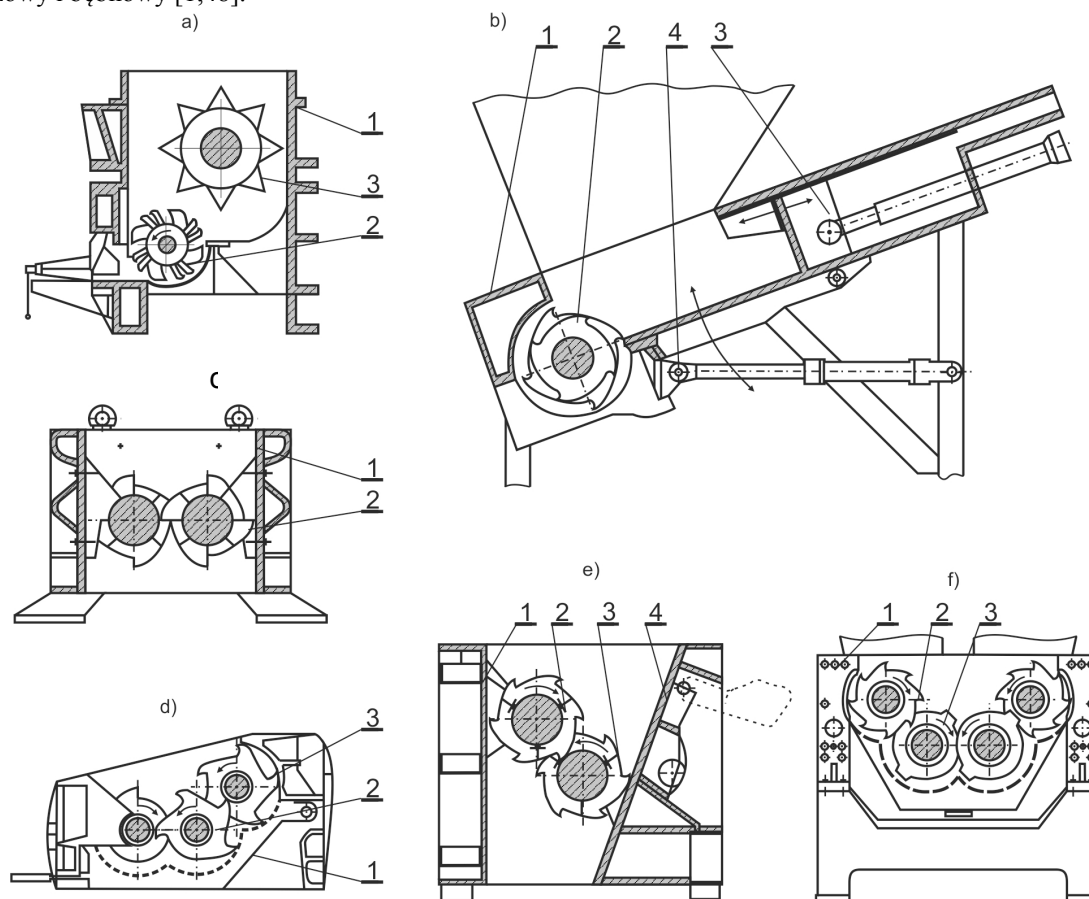
Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

*Mój region w Europie*



**Rys. 11.** Schemat budowy turboskrawarki (Maier): 1 wał, 2 wirnik, 3 pierścień nożowy – a), schemat budowy rozdrabniarki krzyżakowej: 1 wirnik, 2 pierścień sitowy, 3 wysp – b).

Na rys. 12 a) – f) zostały zaprezentowane rozwiązania konstrukcyjne rozdrabniaczy, w których instalowane są silniki o mocy mniejszej niż 10 kW (ale również do 800 kW – szczególnie dla rozdrabniaczy nożowych). W celu zapewnienia równomierności zasilania stosowane są układy zagęszczające i transportujące, a prędkość liniowa między nożem stałym i ruchomym wynosi  $5 \div 20$  m/s. Na rys. 13 i 14 przedstawione zostały schematy i zespoły: tarczowy i bębnowy [1,48].



**Rys. 12.** Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne rozdrabniaczy nożowych: a) jednoosiowego z podajnikiem walcowym firmy Alpine/Niemcy, b) jednoosiowego z hydraulicznym układem docisku firmy Metso Lindemann/Niemcy, c) dwuosiowego firmy Hoger/Niemcy, d) trójosiowego z układem sit firmy Erdwich/Niemcy, e) dwuosiowego z uniwersalnym układem podajno-zagęszczającym firmy SID/Szwajcaria, f) czteroosiowego z zestawem sit firmy Untha/Niemcy .

<p><b>Rys. 13.</b> Zespół rozdrabniający tarczowy</p> <p>1- tarcza nożowa, 2- nóż, 3- wałki podające materiał, 4- materiał rozdrabniany, 5- zrębki, 6- kowadełko.</p>	<p><b>Rys. 14.</b> Zespół rozdrabniający bębnowy</p> <p>1- bęben nożowy, 2- nóż, 3- wałki podające materiał, 4- materiał rozdrabniany, 5- zrębki, 6- kowadełko.</p>
<p>Rębaki tarczowe zbudowane są z ciężkich obracających się tarcz, z prostokątnymi otworami umieszczonymi promieniście na każdym nożu. Podczas obracania tarcza z nożami mija kowadło, którym jest stały blok stalowy, umieszczony w małej odległości. Wielkość zrębów może być kontrolowana poprzez zmianę ustawień kowadła względem noży. Rębarka taka produkuje jednakowej jakości zrębki drzewne i zużywa znacznie mniej energii niż podobnej jakości rębarka bębnowa.</p>	<p>Rębarka bębnowa składa się z bębna obrotowego, w którym znajdują się 2-4 długie otwory wyposażone w noże. Wielkość zrębów kontrolowana jest na podobnej zasadzie jak w rębarkach tarczowych, czyli odległością noży od kowadła. Otrzymane zrębki charakteryzują się wielkością od 10 do 50 mm. Rębarka bębnowa tnie całą długością noży dzięki czemu jest bardziej odporna na piach i inne zanieczyszczenia.</p>

Produktem końcowym rębarek są zrębki. Są to małe kawałki w miarę o regularnych kształtach, odcięte od rodzimego materiału. Powstające w ten sposób zrębki charakteryzują się tymi samymi właściwościami co materiał rodzimy. Ze względu na niedostateczne rozdrobnienie nie nadają się zbyt do brykietowania. Wydajność brykietarek jest wówczas mniejsza. Do wytwarzania brykietu nadaje się idealnie produkt końcowy z rozdrabniarek. Są to małe kawałki o różnym kształcie, bardzo dużej powierzchni właściwej, oraz małym ciężarze objętościowym. Istotną cechą rozdrabniania jest dynamiczny proces rozrywania, cięcia oraz miążdżenia rozdrobnionego materiału poprzez wirujące z dużą prędkością elementy zespołu roboczego [8].

Młyny młoteczkowe przeznaczone są do rozdrabniania surowca np. siana, słomy, przed pelletowaniem lub brykietowaniem. W zależności od zastosowanego sita otrzymujemy odpowiednią frakcję. Innowacyjna konstrukcja układu szarpiąco-tnącego i rotora powoduje wysoką wydajność urządzenia przy stosunkowo niewielkiej zainstalowanej mocy oraz nie następuje maszynie trudności podczas przerabiania surowca nawet o wilgotności 40%. Nowością jest również kształt bijaka, który posiada cztery pozycje pracy dzięki czemu kilkukrotnie wydłużył się czas eksploatacji. Konstrukcja układu wsadowego zwiększa bezpieczeństwo podczas pracy.

## 2. Kryteria procesu rozdrabniania

W układach roboczych rozdrabniaczy zachodzą złożone procesy dezintegracji. Wpływ na przebieg procesu mają cechy geometryczne elementów roboczych (kształt, wielkość), porowatość elementów rozdrabnianych oraz szereg parametrów eksploatacyjnych. Podatność biomasy na rozdrabnianie związana jest z szeregiem właściwości, do których zaliczyć można: małą gęstość, dużą wytrzymałość mechaniczną w stosunku do masy.



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

*Mój region w Europie*



Kryteria oceny procesu rozdrabniania uwarunkowane są rodzajem realizowanego w nich procesu oraz skalą technologii rozdrabniania, określaną wydajnością młyna. Wymienia się wskaźniki technologiczne, techniczne i ekonomiczne. Spośród wskaźników technologicznych wskazuje na parametry jakości produktu rozdrabniania, w szczególności: parametry uziarnienia – wymiary jednego lub więcej ziaren kontrolnych, powierzchnię właściwą, kształt ziaren, ilość zanieczyszczeń, barwę, połysk, przydatność produktu rozdrabniania jako produktu finalnego lub jako półproduktu do realizacji następnych etapów procesu technologicznego oraz wydajność całkowitą. Wskaźniki techniczne obejmują dane dotyczące jednostkowego zapotrzebowania energetycznego, możliwości współpracy rozdrabniacza z innymi urządzeniami technologicznymi. Wskaźniki ekonomiczne obejmują koszty inwestycyjne rozdrabniacza, koszty eksploatacyjne: zapotrzebowania energetycznego na proces rozdrabniania i procesy towarzyszące, zużycia elementów roboczych rozdrabniaczy.

Do szybkiego i jednoznacznego porównania jakości rozdrabniania biomasy i parametrów zastosowanych w tym procesie wymienia się:

- określony stopień rozdrobnienia,
- powierzchnię właściwą lub stopień wzrostu powierzchni,
- wydajność całkowitą lub wydajność klasy użytecznej,
- jednostkowe zapotrzebowanie energii na proces rozdrabniania,
- wskaźniki skuteczności procesu rozdrabniania.

Wskaźniki skuteczności są niezwykle przydatne dla celów porównawczych, gdyż łączą dwa lub więcej parametrów procesu w jeden złożony wskaźnik, np. wskaźnik ilości pracy poniesionej na proces rozdrabniania, zwany wskaźnikiem efektywności procesu rozdrabniania jako iloczyn kinetycznej powierzchni właściwej zmielonego materiału i masy tego materiału.

Zastosowanie ma trójparametrowy wskaźnik skuteczności energetycznej procesu rozdrabniania, który uwzględnia kinetyczną powierzchnię właściwą produktu rozdrabniania, wydajność rozdrabniacza i pobór mocy, wg wzoru:

$$W_j = \frac{\Delta S \cdot m_s}{P_{sr} \cdot t} \quad (2)$$

gdzie:

- $W_j$  – wskaźnik skuteczności procesu rozdrabniania,  $m^2/(W \cdot h)$ ,
- $\Delta S$  – przyrost kinetycznej powierzchni właściwej mielonego materiału,  $m^2/kg$ ,
- $M_s$  – masa mielonego materiału,  $kg$ ,
- $P_{sr}$  – moc średnia pobrana na proces mielenia określonej masy próbki,  $W$ ,
- $t$  – czas mielenia określonej masy próbki,  $h$ .

Na produkt otrzymany podczas mechanicznych metod rozdrabniania mają wpływ czynniki związane z parametrami technologicznymi procesu i właściwościami surowca:

- konstrukcja użytego narzędzia, prędkość obrotowa, sposób podawania surowca itp.
- wielkość i kształt rozdrabnianych elementów, jego rodzaj.

Zagadnienia zapotrzebowania energii na proces stanowią ważny nurt w zakresie poszukiwań konstrukcyjnych. Pod pojęciem  $E_{JM}$  zdefiniowano jednostkowe masowe zapotrzebowanie energii, natomiast  $E_{JO}$  jako jednostkowe objętościowe zapotrzebowanie energii. Porównując zapotrzebowanie masowe i objętościowe otrzymujemy:

$$\frac{E_{JM}}{E_{JO}} = \frac{\dot{Q}_v}{\dot{Q}_m} \quad (3)$$

Wraz ze zmniejszeniem się jednostkowego zapotrzebowania energii podwyższa się sprawność energetyczna procesu. Jako miarę użyteczności zaproponowano do dalszych rozważań pojęcie energochłonności na zadany wymiar przetwórczy - tzw. energochłonność celowa (np. 80% ziaren o średnim rozmiarze 4,8 mm)  $E_{Rq}$ :

$$E_{Rq} = \frac{P_r}{W_{fq}} = \frac{P_j + P_s + P_d}{W_{fq}} = \frac{k_j \cdot v_R + \delta_{q-s} + A_R + \varepsilon \cdot F_r' \cdot v_R^2}{W_{fq}} \quad (4)$$

gdzie:

- $P_r$  – moc przeznaczona na rozdrabnianie,  $kW$ ,
- $W_{fq}$  – wydajność mierzona ilością rozdrobnionej biomasy o pożądanym rozmiarach ziarna ( $f_q = 4,8$  mm),  $kg/h$ .



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

*Mój region w Europie*

W rozważaniach teoretycznych i analityczno-koncepcyjnych doboru rozdrabniaczy współczynnikiem funkcjonalności jest parametr opisywany stosunkiem siły dezintegracji do warstwy przekroju (powierzchni) rozdziału. Charakterystyki użytkowe w procesie rozdrabniania i granulowania należą do grupy estymatorów efektywności procesu użytkowania rozdrabniaczy jako układów materialnych opisywanych cechami konstrukcyjnymi. Wśród zasadniczych charakterystyk najczęściej przyjmuje się jednostkowe zapotrzebowanie energii przetwórstwa mechanicznego i relacji korzyści do nakładów energetycznych w procesie przygotowania biomasy.

Model efektywnościowo-sprawnościowy przyjęto w postaci:

$$\Delta e_R = \frac{K}{N_E} \quad (5)$$

gdzie:

$\Delta e_R$  – przyrost energetycznej efektywności rozdrabniania, -,  
 $K$  – korzyści energetyczne, J/g,  
 $N_E$  – nakłady energetyczne, J/g.

W modelu sprawnościowym wykorzystano związek między energią w warunkach fenomenu i maszynowych:

$$\eta_{q-s} = \frac{E_{R(f)}}{E_{R(m)}} \quad (6)$$

gdzie:

$\eta_{q-s}$  – sprawność quasi-ścinania, (-),  
 $E_{R(f)}$  – energia quasi-ścinania w warunkach fenomenu (maszyna wytrzymałościowa badania statyczne), J/kg,  
 $E_{R(m)}$  – energia quasi-ścinania w warunkach rzeczywistych (maszynowych – konkretny zespół rozdrabniający), J/kg.

### 3. Badania laboratoryjne rozdrabniania biomasy

W badaniach eksperymentalnych zweryfikowano podstawowe charakterystyki wybranego sposobu rozdrabniania w warunkach laboratoryjnych. Należą do nich stany postulowane: zapotrzebowanie energii na proces, momenty obrotowe i wydajność.

Z punktu widzenia energetyczno-środowiskowego dla wybranego rozwiązania ważne są aspekty zapotrzebowania energetycznego na rozdrabnianie. Przy wyznaczeniu naprężeń korzystano z zależności matematycznych, które opisują pole powierzchni rozdrabniania z uwzględnieniem cech konstrukcyjnych zespołu rozdrabniającego:

$$2A_r = \frac{6,11}{\rho \cdot s_i} ((0,043 \cdot s_i)^{-1,12 D_{oi} + 1,18}) \cdot v_r \cdot e^{1,88 \cdot n_w^2} \quad (6)$$

gdzie:

$A_r$  – pole powierzchni rozdrabniania, mm<sup>2</sup>,  
 $\rho$  – gęstość rozdrabnianych materiałów, g/cm<sup>3</sup>,  
 $s_i$  – wskaźnik szczeliny między tarczami (bębnami) rozdrabniacza, (-),  
 $D_{oi}$  – wskaźnik średnicy i-tej tarczy (bębna) z otworami, (-),  
 $n_w$  – współczynnik zależny od rodzaju rozdrabnianych tworzyw;  $n = 0,75 \div 1,00$ ,  
 $v_r$  – prędkość między krawędziami quasi-ścinającymi, m/s.



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

Mój region w Europie

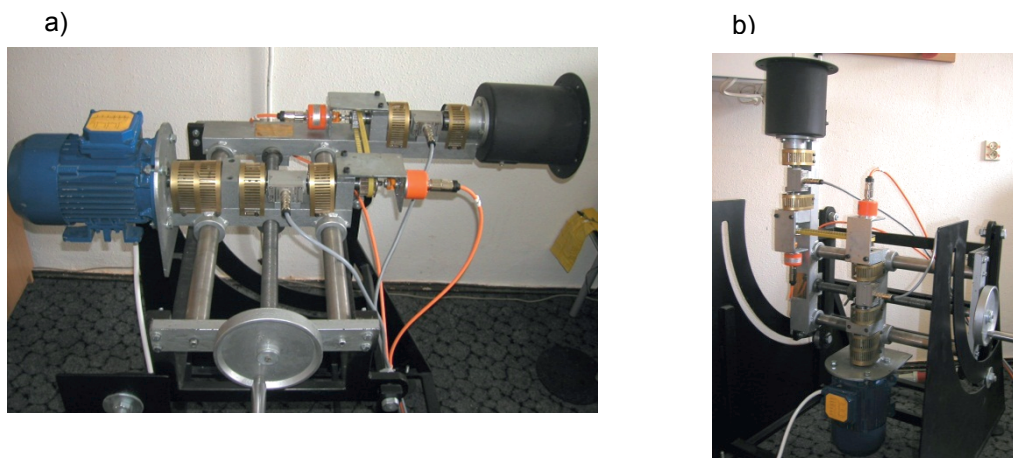
## Cel i zakres badań

Celem badań była weryfikacja wyników doboru zmiennych rozdrabniania uzyskanych na podstawie symulacji komputerowych, implementacji sztucznej inteligencji oraz z badań rozdrabniania jednokrotnego. Dodatkowo oceniono produkt rozdrabniania pod względem uziarnienia.

Badania laboratoryjne rozdrabniania biomasy prowadzono dla trzech wariantów konstrukcyjnych zespołów rozdrabniaczy, wybranych na podstawie macierzy możliwych rozwiązań, wypełniających wstępne kryteria w zakresie efektywności energetycznej i krzywej uziarnienia: bębnowego, tarczowego z otworami walcowymi oraz tarczowego z otworami wielokątnymi.

## Opis stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko laboratoryjne zbudowano wg własnej koncepcji w ramach projektu badawczego KBN w latach 2003-2005, a następnie zmodyfikowano do potrzeb badań efektywności energetycznej rozdrabniania w ramach projektu MNiSW (rys. 15). Ramę i układ napędowy wykonano w taki sposób, aby możliwy był pomiar momentów obrotowych i prędkości kątowych w dowolnym ustawieniu wałka napędowego (od pionowego do poziomego). Stanowisko aktualnie znajduje się w laboratorium Zakładu Mechatroniki UKW w Bydgoszczy. Zaproponowano taką budowę stanowiska, w którym układ napędowy wraz z czujnikami pomiarowymi stanowi zintegrowaną bazę do prowadzenia badań przy zastosowaniu różnych typów układów dezintegrujących. Wykorzystuje się wówczas końcówkę wału maszynowego, na którym osadzone są układy robocze rozdrabniacza. Taki sposób zapewnia zachowanie niezmiennych parametrów pomiarowych i gwarantuje możliwość oszacowania zapotrzebowania energii na rozdrobnienie jednostkowej biomasy (objętości) tworzywa, przy różnych konfiguracjach - sposobach dezintegracji. Badania mogą być prowadzone przy płynnie regulowanej prędkości obrotowej silnika w zakresie od 0 ÷ 2900 obr/min.



Rys. 15. Stanowisko uniwersalnego rozdrabniacza laboratoryjnego ULR-2,0/2004: a) z poziomym ustawieniem wałka napędowego, b) z pionowym ustawieniem wałka napędowego.

## Wpływ cech geometrycznych tarczy, bębna, listwy

Badania weryfikacyjne przeprowadzono dla próbek z drewna. Poniżej przedstawiono wyniki zapotrzebowania mocy i momentu obrotowego dla trzech wariantów konstrukcyjnych rozdrabniaczy, dla próbki PVC przy prędkości obrotowej 1300 obr/min.



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE

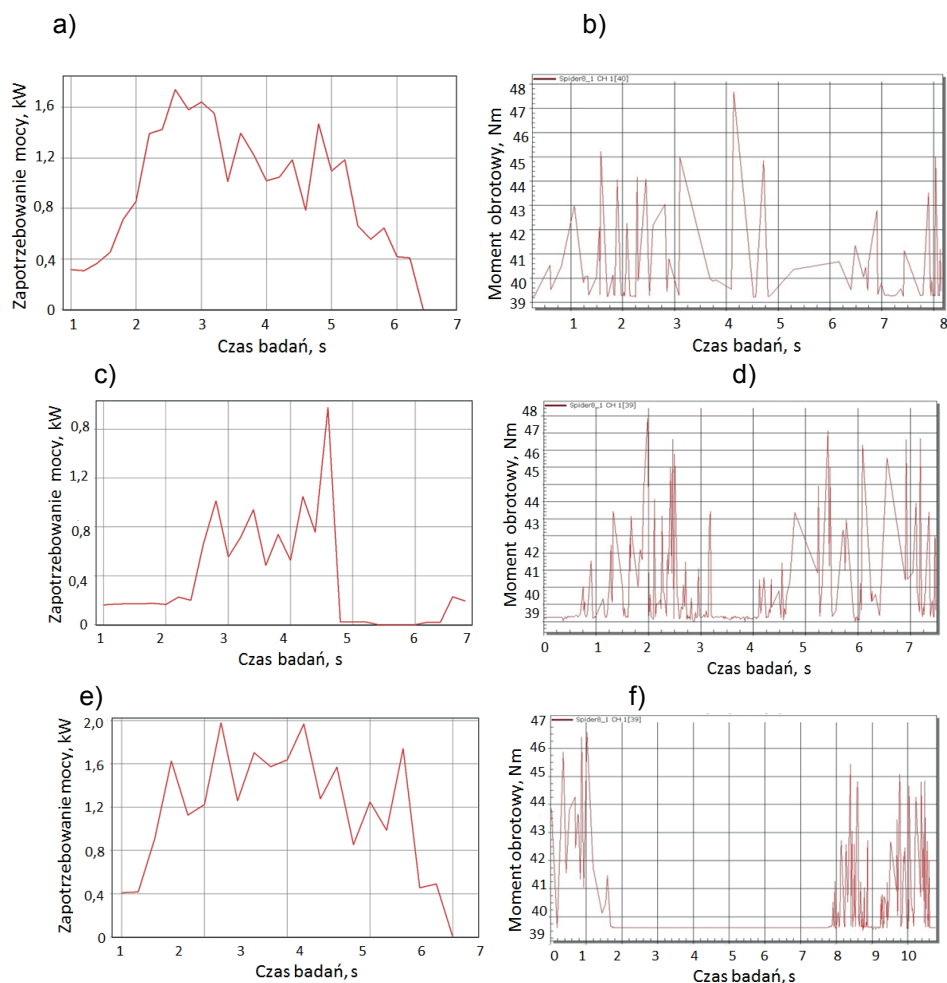


UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

*Moja region w Europie*



**Rys. 16.** Wyniki badań laboratoryjnych: a) zapotrzebowanie mocy - rozdrabniacz bębnowy, b) moment obrotowy - rozdrabniacz bębnowy, c) zapotrzebowanie mocy - rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi, d) moment obrotowy - rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi, e) zapotrzebowanie mocy - rozdrabniacz tarczowy z otworami wielokątnymi, f) moment obrotowy - rozdrabniacz tarczowy z otworami wielokątnymi. Próbka sosnowa,  $n = 1300$  obr./min.

Metoda badań weryfikujących wybór idei, konstrukcji i stanów postulowanych obejmowała wyznaczenie parametrów rozdrabniania wielokrawędziowego, takich jak momenty obrotowe, wydajność i zapotrzebowanie mocy elektrycznej dla kilku wybranych koncepcji narzędzia – wariantów konstrukcyjnych rozdrabniacza wielokrawędziowego.

Podstawowe parametry i możliwości badawcze stanowiska:

- prędkość obrotowa wałka napędowego:  $n = 0 \div 2600$  obr./min ( $9 \div 15$  m/s),
- moc napędu rozdrabniacza: 1,4/2,0 kW,
- układ elektryczny zasilania i sterowania od rozdrabniacza laboratoryjnego: falownik pDrive CX compact/3kW
- możliwość ciągłego pomiaru prędkości obrotowej, momentów obrotowych i poboru mocy elektrycznej,
- możliwość obserwacji, rejestracji fotograficznej lub kamerą CCD komory rozdrabniacza podczas rozdrabniania.

Do rejestracji sygnałów z momentomierza wykorzystano 4 – kanałowy wzmacniacz pomiarowy Spider 8 firmy HBM, a do obróbki wyników badań wykorzystano oprogramowanie CATMAN firmy HBM. Pomiaru mocy elektrycznej dokonano w oparciu o wielofunkcyjny miernik mocy Hioki 3169 – 20/21 wraz z oprogramowaniem (power measurement suport software) Hioki 9625. Do obserwacji komory rozdrabniacza wykorzystano aparat Exilim EX-F1 Casio oraz zestaw żarówek doświetlających E27 LED/Niviss, z możliwością rejestracji max. 1200 klatek/s o rozdzielczości obrazu 336 x 96 pikseli.



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE



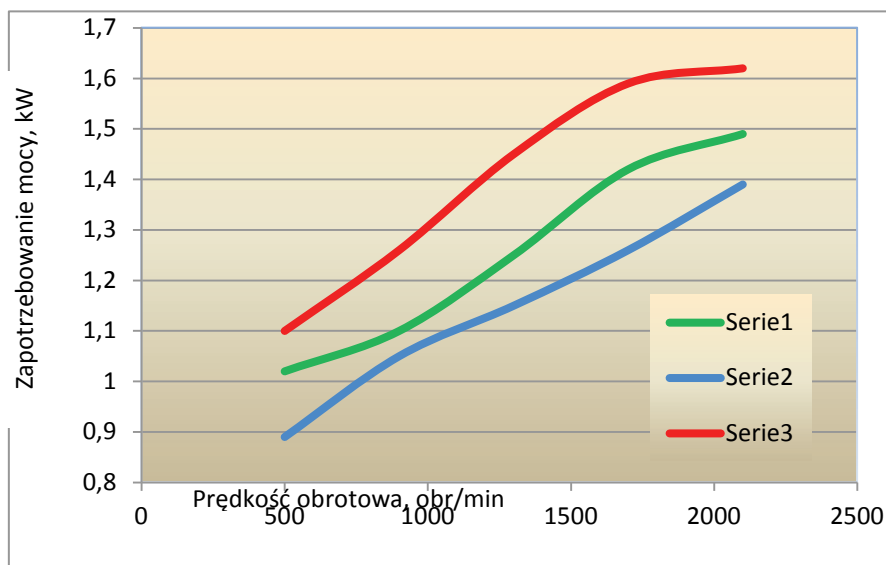
UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



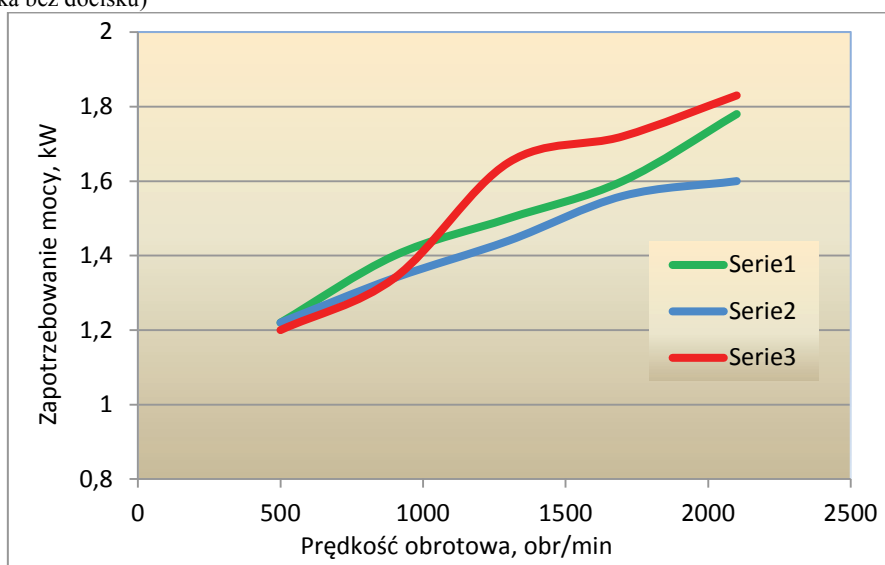
Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

*Mój region w Europie*

Badania weryfikujące zrealizowano wg planu dla próbek z drewna przy prędkościach 500, 900, 1700 i 2100 obr/min. Na podstawie wyników – wartości średnich – sporządzono wykresy zapotrzebowania mocy w zależności od prędkości obrotowej i siły docisku dla trzech rodzajów próbek.

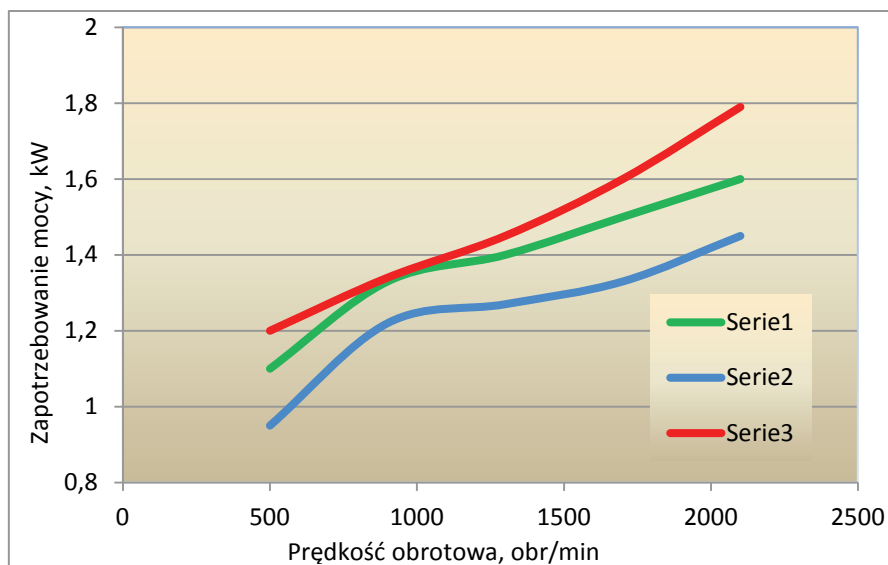


**Rys. 17.** Wpływ prędkości obrotowej na zapotrzebowanie mocy podczas rozdrabniania próbki z drewna topoli (10mm x 20mm), seria 1 – rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi, seria 2 – rozdrabniacz bębnowy 3 – rozdrabniacz z frezem tarczowym (próbka bez docisku)

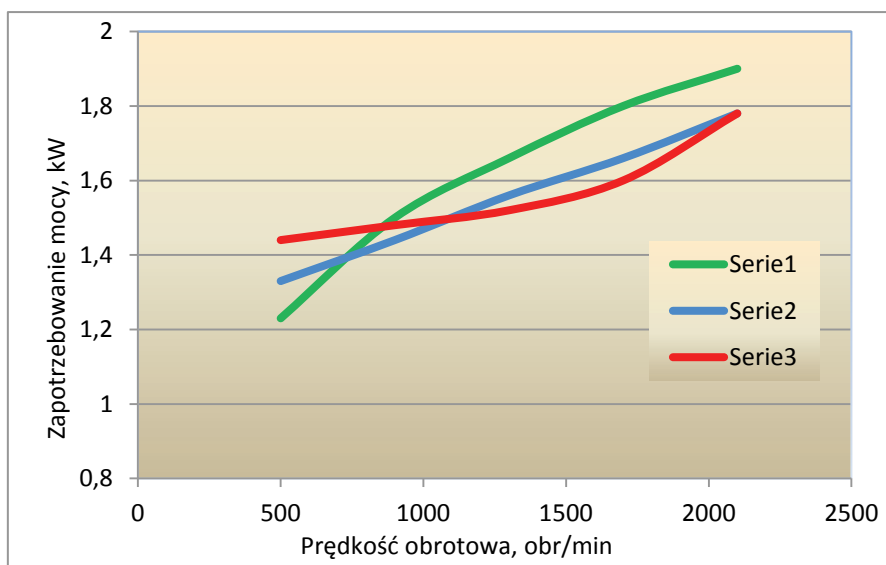


**Rys. 18.** Wpływ prędkości obrotowej na zapotrzebowanie mocy podczas rozdrabniania próbki z drewna topoli (30mm x 15mm), seria 1 – rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi, seria 2 – rozdrabniacz bębnowy 3 – rozdrabniacz z frezem tarczowym (próbka bez docisku)





Rys. 19. Wpływ prędkości obrotowej na zapotrzebowanie mocy podczas rozdrabniania próbki z drewna topoli (10mm x 20mm), seria 1 – rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi, seria 2 – rozdrabniacz bębnowy 3 – rozdrabniacz z frezem tarczowym (docisk 50 kN)



Rys. 20. Wpływ prędkości obrotowej na zapotrzebowanie mocy podczas rozdrabniania próbki z drewna topoli (30mm x 15mm), seria 1 – rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi, seria 2 – rozdrabniacz bębnowy 3 – rozdrabniacz z frezem tarczowym (docisk 50kN)

#### 4. Analiza uzyskanych wyników

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy wyników sformułowano następujące wnioski szczegółowe:

- podczas rozdrabniania próbek z drewna **topoli** (10mm x 20mm), w całym zakresie prędkości obrotowych (od 500 – 2100 obr/min) najlepszym wariantem konstrukcyjnym okazał się **rozdrabniacz bębnowy**.
- podczas rozdrabniania próbek z drewna **topoli** (30mm x 15mm), dla prędkości 500 obr/min najlepszym wariantem był rozdrabniacz z **frezem tarczowym**, w pozostałym zakresie prędkości najlepszym wariantem konstrukcyjnym okazał się **rozdrabniacz bębnowy**.
- podczas rozdrabniania próbek z drewna **topoli** (10mm x 20mm), z **dociskiem próbki 50kN**, w całym zakresie prędkości obrotowych (od 500 – 2100 obr/min) najlepszym wariantem konstrukcyjnym okazał się **rozdrabniacz bębnowy**.
- podczas rozdrabniania próbek z drewna **topoli** (30mm x 15 mm), z **dociskiem próbki 50kN**, w zakresie prędkości



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

*Mój region w Europie*

obrotowych powyżej 1000 obr/min najlepszym wariantem konstrukcyjnym okazał się **rozdrabniacz z frezem tarczowym**, a poniżej 1000 obr/min **rozdrabniacz tarczowy** z otworami walcowymi.

- podczas rozdrabniania próbek z drewna **topoli** (10mm x 20 mm), z **dociskiem próbki 100kN**, w zakresie prędkości obrotowych poniżej 1500 obr/min najlepszym wariantem konstrukcyjnym okazał się **rozdrabniacz tarczowy** z otworami walcowymi, a powyżej 1500 obr/min **rozdrabniacz bębnowy**.

## 5. Podsumowanie

Dzięki zrealizowanym badaniom określającym konstrukcję rozdrabniaczy do biomasy, szczególnie próbek drewnianych w kierunku podwyższania efektywności energetycznej osiągnięto cel badawczy pracy polegający na doborze i weryfikacji idei rozdrabniacza, konstrukcji zespołów i stanów postulowanych rozdrabniaczy wielootworowych i wielokrawędziowych próbek drewnianych.

Zapotrzebowanie mocy na rozdrabnianie kształtuje się na poziomie 1 – 2 kW, w zależności od wybranego wariantu konstrukcyjnego i prędkości obrotowej wału napędowego.

Przebiegi oraz zmienność zapotrzebowania mocy na wykresach posiadają charakter powtarzalny. Przyrost prędkości obrotowej powoduje zwiększenie wartości w sposób nieliniowy. Przyczyną takiego stanu jest wzrost sił i obciążeń występujących między tarczą i bębniem a rozdrabnianą próbka.

Badania eksperymentalne potwierdziły występowanie zakresów prędkości, dla których obserwowane są korzystne warunki rozdrabniania, ze względu na niższe wartości momentu i zapotrzebowania mocy. Dla próbek świerkowych jest to prędkość obrotowa 1300 obr/min (rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi), a dla próbek z topoli 900 obr/min (rozdrabniacz bębnowy). Niekorzystne warunki występują podczas rozdrabniania próbek z drewna topoli rozdrabniaczem bębnowym przy prędkości 1300 obr/min, podczas rozdrabniania próbek z drewna świerkowego rozdrabniaczem tarczowym z otworami walcowymi przy prędkości 1300 obr/min.

W zakresie warunków konstrukcyjnych rozdrabniacza wielootworowego i wielokrawędziowego oraz procesu rozdrabniania określono relacje między pracą quasi-ścianania a prędkością względną między listwami w warunkach maszyny wytrzymałościowej.

Najwyższą efektywność energetyczną w zakresie badawczym kąta ostrza krawędzi otworu ( $\beta = 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ, 120^\circ$ ) dla  $\beta = 60^\circ$ . Minimalna użyteczność pracy quasi-ścianania występuje dla kąta  $\beta = 90^\circ$  oraz dla kąta  $\beta = 120^\circ$ .

Wyniki badań eksperymentalnych oraz odpowiedni sposób ich wprowadzenia do zintegrowanego systemu baz danych, przyczyniają się do otrzymania odpowiedzi układu wskazujących na zakres szczegółowych cech konstrukcyjnych układu roboczego rozdrabniacza przeznaczonego do biomasy.

## Bibliografia

- [1] COCKER-MACIEJEWSKA A.: Obróbka wstępna biomasy na potrzeby systemów energetycznych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 30, 2007.
- [2] DMITREWSKI J.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T.3, PWRiL Warszawa 1978.
- [3] DOBROWOLSKA E.: Mechaniczne rozdrabnianie użytkowych elementów meblowych. Drewno – materiał o wszechstronnym przeznaczeniu i zastosowaniu. SGGW Warszawa 1999 (s. 181 – 186).
- [4] DZIK T., MIĘSO R.: Konstrukcja młyna nożowego do rozdrabniania biomasy włóknistej. Przegląd Mechaniczny, rok wyd. LXVIII Zeszyt 9/2009.
- [5] FLIZIKOWSKI J., MACKO M.: Metodyka badań obciążeń i odkształceń quasi-ścianających przy
- [6] rozdrabnianiu wielotarczowym tworzyw – Zeszyty naukowe Politechniki Łódzkiej nr 28 – Spała 2000, s. 67–73.
- [7] FLIZIKOWSKI J.: Micro- and Nano-energy Grinding. ISBN-10 9814303534. Pan Stanford Publishing. 2011.
- [8] GRADZIUK P., GRZYBEK A., KOWALCZYK K., KOŚCIK K.: Biopaliwa. Przegląd komunalny 4.2006.
- [9] HEJFT R.: Ciśnieniowa Aglomeracja Materiałów Roślinnych. Radom Eksp. 2002.
- [10] KAWKA W.: The resistances of the wood subdivision in the drum chipper. Folia Forestalia Polonica. Seria B, zeszyt 34, p. 79-89. 2003, Wyd. AR Poznań.
- [11] KONIECZKA R.: Podstawy mechanicznych procesów recykulacji folii z polietylenu małej gęstości. Rozprawy ATR nr 74, Bydgoszcz 1996.
- [12] GOLDSTEIN N. Wood recycling equipment trends and innovations. Biocycle (Biocycle) ISSN 0276-5055, 2006, vol. 47, no1, p. 26-33.
- [13] HOLTZAPPLE M. T., HUMPHREY A. E., TAYLOR J., D.: Energy requirements for the size reduction of poplar and aspen wood, Biotechnology and Bioengineering, Volume 33, Issue 2, Pages 207 – 210, Published Online: 18 Feb 2004.
- [14] JEKIEL J.L., TAM E.L.K.: Plastics Waste Processing: Comminution Size Distribution and Prediction. J. Envir. Engrg., Volume 133, Issue 2, pp. 245-254 (February 2007).
- [15] LEWICKI P.(praca zbiorowa): Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. Wyd. 3 zm. WNT, Warszawa, 1999.



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

*Mój region w Europie*

- [16] MACKO M.: Metoda doboru rozdrabniaczy wielokrawędziowych do przeróbki materiałów polimerowych. Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2011, ISBN 978-83-7096-821-2, ss. 177.
- [17] MACKO M., FLIZIKOWSKI J.: The method of the selection of comminution design for non-brittle materials. AIChE 2010 (The American Institute of Chemical Engineers) Annual Meeting in Salt Lake City - session: Comminution - Experiments, Theory & Modeling, 11.2010.
- [18] MÖLDER T., TRASS O.: Grinding of waste paper and rice hulls with the Szego Mill for use as plastics fillers. Int. J. Miner. Process. 44-45.1996.
- [19] PERRY R. H., GREEN D. W., MALONEY J.O.: Size Reduction and Size Enlargement. The McGraw-Hill Companies, Inc.1997. <http://www.file4ever.com/uploads/BOOKS/perry/CHAP20.PDF>
- [20] RÓŻANSKI H.: Badania nad określeniem wpływu wybranych czynników na zrębkowanie drewna sosnowego i zużycie noży rębarki DVWB-112. WYDAW. Poznań : Wydaw. AR , 1991. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu . Rozprawy Naukowe.
- [21] SALOPEK B., BEDEKOVIĆ G., SOBOTA I.: The Comminution of Solid Waste. Annual 2005 of the Croatiaian Academy of Engineering Editor-in-Chief Kniewald Z., ISSN 1332-3482, 139 – 149.
- [22] WYSOKIŃSKI A.: Porównanie cen nośników energii. 1/2004 Rurociągi – Polish pipeline journal
- [23] Dz.U. 2008 nr 156 poz. 969 Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii



PROGRAM REGIONALNY  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO  
KUJAWSKO-POMORSKIE

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

*Mój region w Europie*