

**Witold Niemiec**

**Feliks Stachowicz**

**Mariusz Szewczyk**

**Tomasz Trzepieciński**

Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza

## **POSTĘP TECHNICZNY W PRODUKCJI, POZYSKANIU I OBRÓBCE BIOMASY**

### **Abstrakt**

Znaczący wzrost ilości plantacji roślin energetycznych, głównie o zdrewniałych łodygach, powoduje konieczność poszukiwania nowych technologii pozwalających na sprawny zbiór plonu oraz dalsze jego docelowe przetwarzanie. O ile dla dużych wielohektarowych plantacji istnieją specjalistyczne środki techniczne, to w przypadku upraw na niewielkich obszarach, brak ekonomicznie uzasadnionych maszyn pozwalających pozyskać i przetworzyć uprawianą biomasę. Produkcja biomasy drzewnej na potrzeby własne w gospodarstwie o niewielkim areale wymaga zastosowania urządzeń agrotechnicznych dostosowanych do skali produkcji. W pracy przedstawiono unikatowe konstrukcje maszyn i urządzeń wchodzących w skład technologii produkcji roślin energetycznych. Rozwiązania techniczne tych urządzeń zostały opracowane i opatentowane w Politechnice Rzeszowskiej, a ich działanie zostało przetestowane we współpracy z producentami biomasy. Cechą szczególną zaprezentowanych maszyn jest stosunkowo prosta konstrukcja i łatwa obsługa, co przekłada się na niską cenę maszyny i wzrost niezawodności.

**Słowa kluczowe:** biomasa, uprawa, wierzba energetyczna, zbiór biomasy

## **TECHNICAL PROGRESS IN PRODUCTION, RECLAIMING AND PROCESSING OF THE BIOMASS**

### **Abstract**

Significant increase of the amount of plantations of energetic plants mainly with ligneous sprouts causes the necessity of searching new technologies allowing for efficient crop and further its in-coming processing. If for large-area plantations exist specialized technological means but in case of cultivation on small areas there is a lack of economically justified machines allowing logging and processing of plant biomass. The production of plant biomass for own needs by a small farm requires the application of agricultural machines adjusted for the scale of production. In the paper unique constructions of machines and devices being a composition of technology of energetic plant production were presented. Technical solutions of such machines and devices were worked out and patented in Rzeszow University of technology and they are to be wide tested together with the biomass producers and in cooperation with Lvov State Agricultural University within the framework. The particular feature of presented machines is relatively simple construction and easy service what is connected with a low price of machine and increase of operational reliability.

**Keywords:** biomass, cultivation, energetic willow, biomass harvest

### **1. Wprowadzenie**

W Polsce zawsze były i nadal są arealy do wykorzystania w produkcji biomasy, szczególnie o zdrewniałych pędach roślin przemysłowych. Aktualna polityka energetyczna państw UE sprzyja produkcji roślin przeznaczanych na cele energetyczne poprzez bezpośrednie spalanie, np. zdrewniałe części roślin lub po przetworzeniu na inny nośnik

energii, np. oleje, spirytus. Racjonalne wykorzystanie biomasy o zdrewniałych pędach, np. wierzba, rozpoczyna się w momencie zakładania plantacji. Zastosowanie wierzby, jako nośnika energii, to nowy kierunek produkcji rolniczej. Eksploatacja prawidłowo założonej plantacji powinna trwać co najmniej 15–20 lat z możliwością 5–8-krotnego pozyskiwania drewna w ilości 10–15 ton suchej masy w przeliczeniu na 1 ha rocznie<sup>1</sup>. Sadząc rośliny, należy mieć na uwadze problem ich zbioru i ostatecznego wykorzystania, tak by cały proces eksploatacji plantacji był opłacalny. Opracowana w Politechnice Rzeszowskiej technologia zakładania plantacji roślin energetycznych, pozyskania plonu i jego obróbki z wykorzystaniem komunalnych osadów ściekowych, bazuje na specjalistycznych maszynach zaprojektowanych i zastrzeżonych patentami oraz wzorami użytkowymi. Wydajność produkcji roślin energetycznych uwarunkowana jest zastosowaną agrotechniką, a zatem jakością i kolejnością wykonywanych zabiegów przy uprawie roli i pielęgnacji roślin w celu uzyskania obfitych plonów wysokiej jakości. Właściwości fizykochemiczne gleb, ich skład mechaniczny, hipsografia terenu, warunki klimatyczne i budowa hydrogeologiczna to podstawowa wiedza o przydatności arealu do produkcji rolniczej. Charakterystyka komunalnych osadów oraz zgodne z rozporządzeniem<sup>2</sup> i ustaw<sup>3,4,5</sup> ich wykorzystanie, to warunki stosowania tego nawozu w uprawach roślin energetycznych.

## 2. Maszyny do produkcji oraz pozyskiwania biomasy

Charakterystyczną cechą wspólną zaproponowanych przez Politechnikę Rzeszowską rozwiązań konstrukcyjnych maszyn jest dostosowanie ich dla potrzeb agrotechnicznych niewielkich gospodarstw południowej Polski. Z uwagi na prostą konstrukcję proponowane środki techniczne są również atrakcyjne cenowo. Jedną z przesłanek podjętych działań związanych z konstrukcją nowych maszyn do sadzenia, zbioru i przetwarzania biomasy roślin o zdrewniałych pędach jest wysoki koszt wysokowydajnych maszyn, których stosowanie w gospodarstwach małoobszarowych jest nieopłacalne.

Znaczący wzrost ilości plantacji roślin energetycznych, głównie o zdrewniałych łodygach, powoduje konieczność poszukiwania nowych technologii pozwalających na sprawny zbiór plonu oraz dalsze jego docelowe przetwarzanie. O ile dla dużych wielohektarowych plantacji istnieją specjalistyczne środki techniczne, to w przypadku upraw na niewielkich obszarach, brak ekonomicznie uzasadnionych maszyn pozwalających pozyskać i przetworzyć uprawianą biomasę.

Optymalnym zatem rozwiązaniem dla małych gospodarstw produkujących biomasę jest zbudowanie maszyn zaczepianych na typowym ciągniku rolniczym, który stanowi źródło ich napędu. Zbiór biomasy może odbywać się jedno- lub dwuetapowo. W pierwszym przypadku biomasa jest zbierana przez wyspecjalizowane samojezdne maszyny, których zadaniem jest ścinanie pędów wierzbowych z jednoczesnym ich

<sup>1</sup> *Energia odnawialna – szansą dla rozwoju gmin*, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach, Katowice 2010.

<sup>2</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 1.08.2002, w sprawie komunalnych osadów ściekowych, Dz. U. Nr 134, poz. 1140.

<sup>3</sup> Ustawa z dn. 27.04.2001 r. o odpadach, Dz. U. Nr 62, poz. 628 z późn. zm.

<sup>4</sup> Ustawa z dn. 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz. U. Nr 62, poz. 627 z późn. zm.

<sup>5</sup> Ustawa z dn. 18.07.2001 r. Prawo wodne, Dz. U. Nr 115, poz. 1229 z późn. zm.

rozdrobieniem oraz załadunkiem na zespół transportowy. Taki zbiór biomasy w małych gospodarstwach jest ograniczony ze względu na wysokie koszty związane z amortyzacją maszyn. W systemie dwuetapowym następuje najpierw zebranie biomasy z pola i późniejsze jej rozdrobnienie za pomocą rębaków. Pomimo wielu wad związanych z małą wydajnością podstawową zaletą tej metody jest możliwość zmniejszenia wilgoci biomasy przed ostatecznym jej rozdrobnieniem. Dotychczasowe kluczowe osiągnięcia w budowaniu technologii produkcji roślin energetycznych, przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie maszyn i urządzeń wchodzących w skład technologii produkcji roślin energetycznych

Rodzaj operacji	Miejsce i sposób wykonania czynności	Uwarunkowania prawne
Obróbka osadu: – stabilizacja – zagęszczanie – higienizacja	Oczyszczalnia ścieków	Realizowana w oczyszczalni technologia oczyszczania ścieków
Transport osadów na użytki rolnicze	Drogi: – publiczne – prywatne	Prawo o Ruchu Drogowym, Kodeks Drogowy
Dawkowanie nawozów pod zakładaną plantację	Przygotowanie i nawożenie użytków rolnych: – powierzchniowe – iniekcyjne <sup>1,2</sup>	Ustawy, rozporządzenia, Dobra praktyka rolnicza
Badanie oddziaływania na ludzi i środowisko przyrodnicze	Elementy ekosystemu badane w otoczeniu założonej plantacji: – gleby – wody <sup>2,3</sup>	Ustawy, rozporządzenia, decyzje
Produkcja i przechowywanie zrzeczów	Teren gospodarstwa <sup>3,4</sup>	Warunki BHP oraz wymogi przechowywania sadzonek
Sadzenie, sianie	Areality uprawne <sup>4,5</sup>	Dobra praktyka rolnicza i wymogi żywieniowe roślin
Pielęgnacja i ochrona plantacji	Areality uprawne, praca: – ręczna – mechaniczna	Program ochrony i pielęgnacji zgodny z dobrą praktyką rolniczą
Zbiór wyprodukowanej biomasy	Na plantacji: – ręczny – mechaniczny <sup>5,6,7</sup>	Zgodnie z celem zagospodarowania
Wstępna obróbka zebranej biomasy	Na plantacji lub w jej pobliżu: – ręczna – mechaniczna <sup>6,8</sup>	Zgodnie z celem zagospodarowania

<sup>1</sup> W. Niemiec, *Urządzenie do iniekcyjnego dawkowania do gleby sypkich nawozów organicznych i mineralnych*, P 382062.

<sup>2</sup> W. Niemiec, J. Puchała, *Urządzenie do wprowadzenia cieczy pod powierzchnię gleb i łąk*, W 39050.

<sup>3</sup> W. Niemiec, *Urządzenie do zbierania i pomiaru infiltrującej wody w warunkach polowych*, W 116896.

<sup>4</sup> W. Niemiec i inni, *Urządzenie do produkcji zrzeczów*, P 384427.

<sup>5</sup> W. Niemiec i inni, *Sadzarka zrzeczów roślin o zdrewniałych pędach*, w trakcie zgłoszenia.

<sup>6</sup> W. Niemiec i inni, *Kombajn do zbioru i rozdrabniania zdrewniałych pędów roślin oraz gałęzi*, W 119895.

<sup>7</sup> W. Niemiec i inni, *Kosiarka do drzewiastych roślin*, P 386842.

<sup>8</sup> W. Niemiec i inni, *Sieczkarnia do drewna*, W 116926.

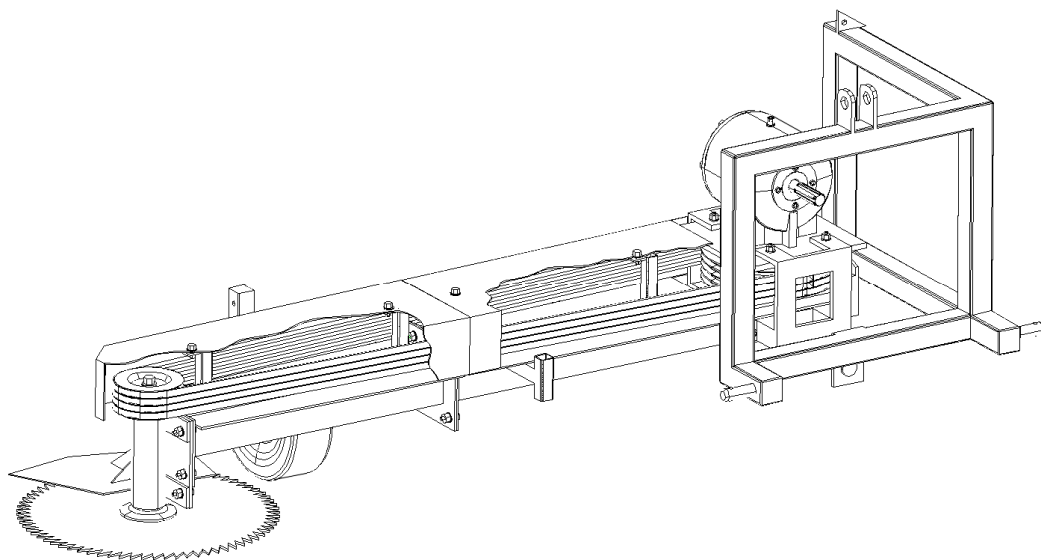
**Uwaga:** wymienione w tabeli pozycje literaturowe zawierają pełne informacje o wskazanych urządzeniach, skrót P oznacza słowo Patent – akt przyznający osobie fizycznej lub prawnej własność i prawo wyłącznego korzystania z wynalazku.

*Źródło: Badania własne*

W ostatnich latach zanotowano postęp w przedstawianiu ofert rozwiązań specjalistycznych maszyn do zbioru i przetwarzania biomasy pozyskiwanej ze zdrewniałych łodyg, np. kosiarki, rębaki, sieczkarnie do drewna, ale problem nadal istnieje i wymaga dalszych poszukiwań trafnych rozwiązań. Szczególnie poszukiwane są maszyny przeznaczone dla niewielkich plantacji i dostosowane do hipsografii terenu. Jak do tej pory, podstawowym źródłem napędu dla maszyn rolniczych są ciągniki o zróżnicowanej mocy. W przypadku zakładania, pielęgnacji, pozyskiwania plonu oraz jego obróbki na plantacjach roślin energetycznych, ciągniki stanowią podstawowe źródło napędu specjalistycznych maszyn. Ponadto najczęściej za pomocą ciągników transportuje się plon z pól do dalszej obróbki lub do ostatecznego energetycznego zagospodarowania.

Proces projektowania nowej maszyny rozpoczęto od zbudowania koncepcyjnego modelu przestrzennego konstrukcji w programie Autodesk Inventor wraz z nałożeniem więzów kinematycznych pomiędzy poszczególnymi częściami ruchomymi maszyny. Pozwala to prześledzić ewentualne kolizje pomiędzy częściami wchodzącymi w skład maszyny. Przykładowy model koncepcyjny maszyny przedstawiono na rysunku 1 w odniesieniu do kosiarki do krzewiastych roślin. Autodesk Inventor pozwala na przeprowadzanie kinematycznej oraz dynamicznej analizy działania mechanizmów. Do określenia relacji pomiędzy współpracującymi komponentami można skorzystać z szerokiej palety wiązań ruchu oraz dodać elementy sprężyste i tłumiące, a także zdefiniować współczynnik tarcia w każdym wiązaniu. Aby zrozumieć istotę zjawisk kinematycznych, program pokazuje symulację w postaci wizualizacji 3D bezpośrednio na modelu analizowanego zespołu. Etapy procesu projektowania mechanizmu rozpoczyna synteza, a następnie stosując techniki analizy sprawdza się funkcjonalność mechanizmu i w razie konieczności powraca do procesu syntezy w celu wykonania koniecznych zmian i tak aż do uzyskania zadowalającej konstrukcji.

Rys. 1. Model kosiarki opracowany w programie Autodesk INVENTOR



Źródło: Badania własne

Przy projektowaniu części mechanicznych często pojawia się pytanie, czy dany element wytrzyma obciążenia pojawiające się podczas normalnej eksploatacji. W złożonych konstrukcjach bardzo trudne lub czasami niemożliwe jest w sposób analityczny określenie miejsc najbardziej wyęzonych, a więc miejsc potencjalnie odpowiedzialnych za zniszczenie elementu. Aby rozwiązać ten problem, przeprowadzono optymalizację numerycznego zapisu konstrukcji kosiarki korzystając z programu ABAQUS działającego z zastosowaniem Metody Elementów Skończonych (MES). Model geometryczny kosiarki zaimportowano z programu Inventor w uniwersalnym formacie .igs. Warunkiem koniecznym rozpoczęcia obliczeń MES jest wykonanie dokładnych modeli numerycznych wybranej konstrukcji, a następnie ich uproszczenie i poddanie dyskretyzacji w wybranym środowisku MES, aby otrzymać model ekwiwalentny do modelu matematycznego ośrodka ciągłego. Uproszczenie modelu polega na usunięciu niepotrzebnych detali jak małe otwory, zaokrąglenia, fazowania, które znacząco nie wpływają na rozwiązanie w celu przyspieszenia przetwarzania modelu. Dyskretyzacja polega na podziale ośrodka ciągłego, jakim jest dana konstrukcja na skończoną liczbę elementów o określonym kształcie. W celu uzyskania wymaganej dokładności poszukiwanego rozwiązania, wykorzystywane elementy powinny być na tyle małe, aby aproksymowane wewnątrz nich funkcje mogły być przybliżone za pomocą wielomianów. Jednakże zmniejszanie elementów prowadzi do zwiększania liczby wartości poszukiwanej funkcji wartości węzłowych, a to powoduje jednocześnie wydłużenie czasu obliczeń. Stosuje się więc najczęściej nierównomierny podział na elementy. W miejscach spodziewanego dużego gradientu naprężeń należy zagęścić siatkę elementów. Kolejnym etapem tworzenia modelu MES jest wprowadzenie warunków brzegowych oraz parametrów opisujących materiał konstrukcji. Do tulei w miejscu zamocowania piły przyłożono wypadkowe siły wynikające z oporów cięcia: składową obwodową  $P_O$  oraz składową promieniową  $P_R$ . Wartości tych sił dobrano w ten sposób, aby doprowadzić do pierwszych odkształceń plastycznych w konstrukcji. Celem symulacji było określenie miejsc potencjalnie narażonych na zniszczenie. Aby określić faktyczną wartość odkształceń w ramie nośnej, konieczne jest analityczne lub eksperymentalne wyznaczenie rzeczywistych wartości sił obciążających ramę. Miejscem najbardziej obciążonym jest połączenie spawane ramy nośnej z ramą wysięgnika (rys. 2).

Poddawana analizie konstrukcja jest stosunkowo prosta i możliwe było z pewnym przybliżeniem określenie miejsc narażonych na zniszczenie bez użycia skomplikowanych narzędzi, lecz przedstawiony tutaj tok postępowania zostanie wykorzystany do analizy bardziej złożonych konstrukcji, między innymi kombajnu do zbioru krzewiastych roślin<sup>6</sup>.

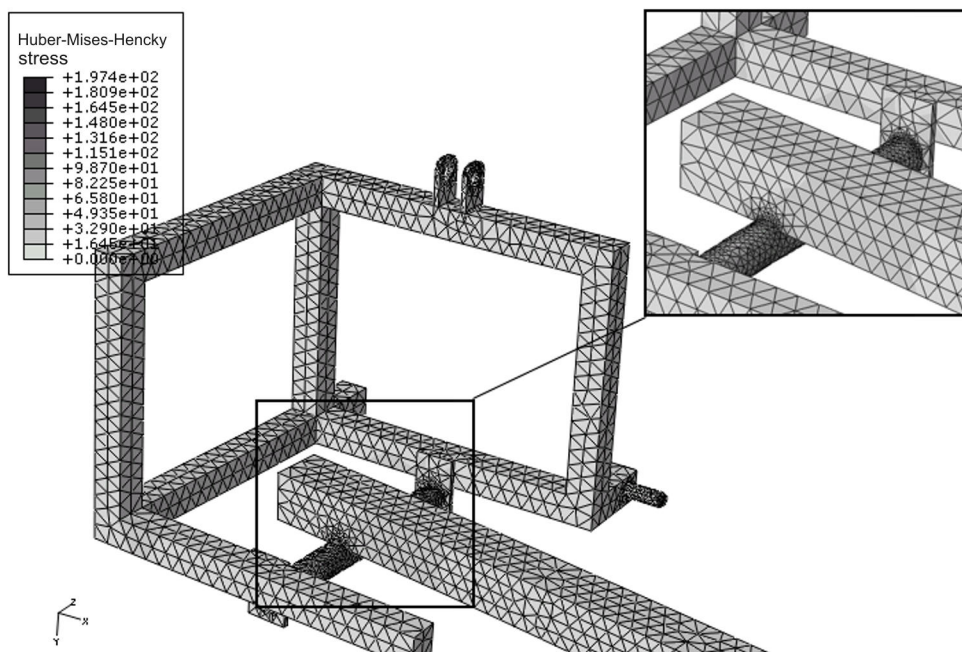
Biomasę można przerabiać bezpośrednio na zrębki za pomocą kombajnu<sup>7</sup> lub za pomocą sieczkarni do drewna<sup>8</sup>, zwłaszcza do cięcia na określone odcinki ściętych z plantacji roślin energetycznych lub gałęzi stanowiących odpad przy wycince drzew w lesie lub przecince drzew owocowych w sadach. Zgodnie ze wzorem użytkowym, charakteryzuje się tym, że zespół tnący posiada wymienne głowice trzy, cztery lub sześćonożowe, pozwalające na zmianę długości ciętych elementów.

<sup>6</sup> W. Niemiec i inni, *Kombajn do zbioru i rozdrabniania zdrewniałych pędów roślin oraz gałęzi*, W 119895.

<sup>7</sup> Ibidem.

<sup>8</sup> W. Niemiec i inni, *Sieczkarnia do drewna*, W 116926.

Rys. 2. Rozkład naprężeń zastępczych Huber-Mises-Hencky w ramie nośnej kosiarki

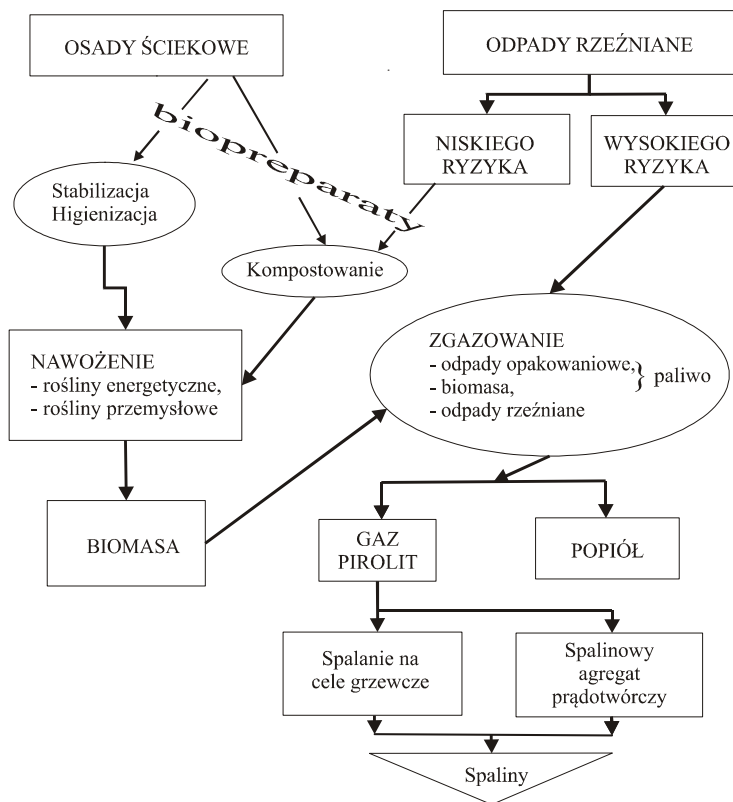


Źródło: Badania własne

Odnawialne źródła energii mogą stanowić istotny udział w bilansie energetycznym poszczególnych gmin czy nawet województw naszego kraju. Mogą przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego regionu, a zwłaszcza do poprawy zaopatrzenia w energię na terenach o słabo rozwiniętej infrastrukturze energetycznej. Potencjalnie największym odbiorcą energii ze źródeł odnawialnych może być rolnictwo, a także mieszkalnictwo i komunikacja. Szczególnie dla regionów, dotkniętych bezrobociem, odnawialne źródła energii stwarzają nowe możliwości w zakresie powstawania nowych miejsc pracy. Natomiast tereny rolnicze, które z uwagi na silne zanieczyszczenie gleb, nie nadają się do uprawy roślin jadalnych, mogą być wykorzystane do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji biopaliw.

Odpadowa biomasa, np. drewno, komunalne osady ściekowe, odpady przetwórstwa rolno-spożywczego, to główne źródła ukrytej i często traconej bezpowrotnie energii. Gospodarcze znaczenie posiadają również odpady powstające w procesie pozyskiwania surowców do przemysłowej produkcji, np. pozyskiwanie drewna w lasach: gałęzie, obrzynki, prace porządkowe w miastach i zakrzaczonych terenach. Istotne znaczenie w ochronie środowiska, energetycznego wykorzystania i produkcji roślin posiadają komunalne osady ściekowe, których ilość w zurbanizowanych obszarach szybko wzrasta. Na rys. 3 pokazano przykładową technologię ich wykorzystania.

Rys. 3. Zarys technologii zagospodarowania odpadów organicznych



Źródło: Ze zbiorów autorów

### 3. Podsumowanie

W zakresie maszyn o niewielkiej wydajności i przeznaczonych do obsługi małych plantacji i sprawdzonych w praktyce podczas prac polowych w ofertach handlowych jest niewiele. Charakterystyczną cechą polskiego rozdrobnionego rolnictwa szczególnie terenów południowych kraju jest niski stopień mechanizacji prac oraz ograniczona siła nabywcza. W tej sytuacji trwają poszukiwania rozwiązań konstrukcyjnych spełniających zapotrzebowania drobnych producentów, w dyspozycji których w gospodarstwie znajduje się ciągnik, najczęściej małej mocy i z podstawowym wyposażeniem umożliwiającym agregowanie z maszynami roboczymi. Rozpatrując efektywność zastosowania zaproponowanych maszyn do produkcji, zbioru oraz przetwarzania w małych gospodarstwach produkujących biomasę, należy brać pod uwagę kilka czynników. Przede wszystkim odnośnie wielkości gospodarstwa, a w konsekwencji zapotrzebowania na siłę roboczą oraz stopnia dostępności ciągników o większej mocy. Z punktu widzenia możliwości wykorzystania maszyn należy uwzględnić hipsografię terenu oraz strukturę gleby. Zaletą zaproponowanych rozwiązań jest ich nieskomplikowana konstrukcja, a co za tym idzie, niski koszt wytworzenia oraz prosta obsługa. Niska masa narzędzi sprzyja wykonywaniu prac rolnych w podmokłym terenie.

## Bibliografia

1. *Energia odnawialna – szansą dla rozwoju gmin*, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach, Katowice 2010.
2. Niemiec W., *Urządzenie do iniekcyjnego dawkowania do gleby sypkich nawozów organicznych i mineralnych*, P<sup>9</sup> 382062.
3. Niemiec W., *Urządzenie do zbierania i pomiaru infiltrującej wody w warunkach polowych*, W 116896.
4. Niemiec W., Puchała J., *Urządzenie do wprowadzenia cieczy pod powierzchnię gleb i łąk*, W 39050.
5. Niemiec W. i inni, *Kombajn do zbioru i rozdrabniania zdrewniałych pędów roślin oraz gałęzi*, W 119895.
6. Niemiec W. i inni, *Kosiarka do drzewiastych roślin*, P 386842.
7. Niemiec W. i inni, *Sadzarka zrzeczów roślin o zdrewniałych pędach*, w trakcie zgłoszenia.
8. Niemiec W. i inni, *Sieczkarnia do drewna*, W 116926.
9. Niemiec W. i inni, *Urządzenie do produkcji zrzeczów*, P 384427.
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 1.08.2002, w sprawie komunalnych osadów ściekowych; Dz. U. Nr 134, poz. 1140.
11. Ustawa z dn. 27.04.2001 r. o odpadach, Dz. U. Nr 62, poz. 628 z późn. zm.
12. Ustawa z dn. 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz. U. Nr 62, poz. 627. z późn. zm.
13. Ustawa z dn. 18.07.2001 r. Prawo wodne, Dz. U. Nr 115, poz. 1229 z późn. zm.
14. [http://www.edupedia.pl/words/index/show/279974\\_slownik\\_wyrazow\\_obcych-patent.html](http://www.edupedia.pl/words/index/show/279974_slownik_wyrazow_obcych-patent.html) [hasło: patent].

---

<sup>9</sup> Patent – akt przyznający osobie fizycznej lub prawnej własność i prawo wyłącznego korzystania z wynalazku, [http://www.edupedia.pl/words/index/show/279974\\_slownik\\_wyrazow\\_obcych-patent.html](http://www.edupedia.pl/words/index/show/279974_slownik_wyrazow_obcych-patent.html)