

dr inż. Tomasz TRZEPIECIŃSKI; dr hab. inż. Witold NIEMIEC, prof. nadzw.;
prof. dr hab. inż. Feliks STACHOWICZ

Politechnika Rzeszowska, Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód, Katedra Przeróbki Plastycznej
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
e-mail: tomrz@prz.edu.pl; wniemiec@prz.edu.pl; stafel@prz.edu.pl

WYBRANE PROBLEMY PROJEKTOWANIA KOSIAREK DO ŚCINANIA DRZEWIASTYCH ROŚLIN I PIELEGNACJI TERENÓW ZIELENI

Streszczenie

Przedstawione rozwiązania techniczne kosiarek ciągnikowych do ścinania roślin o zdrewniałych pędach są częścią opracowywanej technologii produkcji, zbioru i przetwarzania roślin energetycznych. Proces projektowania nowej maszyny rozpoczęto od zbudowania koncepcyjnego modelu przestrzennego wraz z nałożeniem więzów kinematycznych pomiędzy poszczególnymi częściami ruchomymi maszyny wykorzystując program Autodesk INVENTOR. Wykonano również analizę wytrzymałościową konstrukcji kosiarki za pomocą programu ABAQUS wykorzystującego do obliczeń Metodę Elementów Skończonych (MES). Przedstawiono wybrane problemy związane z prawidłowym wykonaniem modelu geometrycznego do obliczeń oraz samego procesu tworzenia numerycznego opisu konstrukcji. Wykonane prototypy zastrzeżonych maszyn w Urzędzie Patentowym RP zostały zbadane i pozytywnie ocenione przez plantatorów biomasy drzewnej. Cechą szczególną opracowanych maszyn jest stosunkowo prosta konstrukcja i łatwa obsługa, co przekłada się na niską cenę maszyny i wzrost niezawodności eksploatacyjnej.

Słowa kluczowe: kosiarki ciągnikowe; maszyny rolnicze; rośliny energetyczne; zbiór biomasy

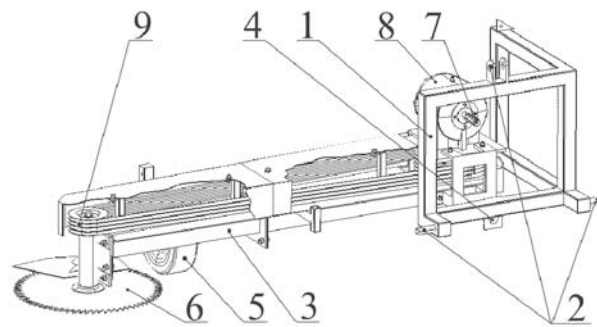
Wprowadzenie

Znaczący wzrost liczby 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 brakuje ekonomicznie uzasadnionych maszyn pozwalających pozyskać i przetworzyć produkowaną biomasę. Produkcja biomasy drzewnej na potrzeby własne w gospodarstwie o niewielkim areale wymaga zastosowania urządzeń agrotechnicznych dostosowanych do skali produkcji. Omawiane w artykule zagadnienia, związane z konstrukcją kosiarek do ścinania drzewiastych roślin, stanowią kontynuację prezentacji unikatowych konstrukcji maszyn i urządzeń wchodzących w skład technologii produkcji roślin energetycznych [1]. Rozwiązania techniczne tych urządzeń zostały opracowane w Politechnice Rzeszowskiej i opatentowane w UPRP, 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 [2, 3]. Optymalnym, ekonomicznie uzasadnionym rozwiązaniem dla małych gospodarstw produkujących biomasę jest zbudowanie maszyn współpracujących z typowym ciągnikiem rolniczym, który stanowi źródło ich napędu. Zastosowanie pełnej mechanizacji pozwala na zmniejszenie kosztów robocizny o ok. 90% w porównaniu z wariantem, w którym zbiór wykonywany jest ręcznie [4]. Badania pracochłonności ręcznego zbioru wierzby energetycznej z wykorzystaniem nożyc, sekatorów, kos mechanicznych i kosiarek listwowych były prowadzone przez Kwaśniewskiego [5]. W ostatnich latach zanotowano postęp w konstrukcji specjalistycznych maszyn do zbioru i przetwarzania biomasy pozyskiwanej ze zdrewniałych łodyg, takich jak: kosiarki, rębaki, sieczkarnie do drewna, ale problem nadal istnieje i wymaga dalszych poszukiwań trafnych rozwiązań [6]. W przypadku zakładania, pielęgnacji, pozyskiwania plonu oraz jego obróbki na plantacjach roślin energetycznych, ciągniki

stanowią podstawowe źródło napędu specjalistycznych maszyn. Większość plantatorów wierzby energetycznej wykorzystuje własny park maszynowy do produkcji biomasy [7].

Wybrane problemy projektowania kosiarek ciągnikowych

Proces projektowania nowej maszyny opisano na przykładzie kosiarki do drzewiastych roślin, zwłaszcza do zbioru roślin energetycznych w małoobszarowych uprawach (rys. 1).



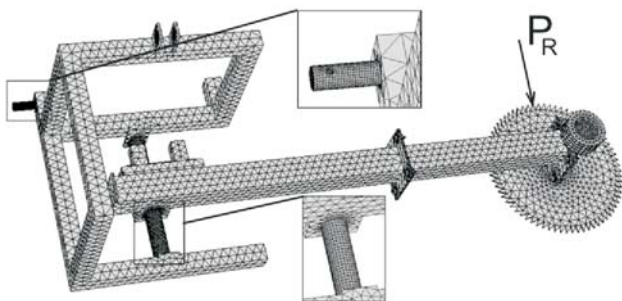
Rys. 1. Model kosiarki ciągnikowej do drzewiastych roślin opracowany w programie Autodesk INVENTOR {8}: 1 - rama, 2 - trzypunktowy układ zawieszania, 3 - ramię robocze, 4 - przegub, 5 - koło podporowe, 6 - piła tarczowa, 7 - wałek łączący, 8 - zębata przekładnia kąтова, 9 - przekładnia pasowa
Fig. 1. Model of tractor mower for woody plants elaborated in Autodesk INVENTOR program {8}: 1 - frame, 2 - three-point linkage, 3 - working arm, 4 - articulated joint, 5 - supporting wheel, 6 - circular saw, 7 - shaft, 8 - intersecting axis gear, 9 - belt transmission

Kosiarka posiada ramę (1) w formie przestrzennej kratownicy, trzypunktowy układ zawieszania (2) do agregatowania z ciągnikiem rolniczym i ramię robocze (3) sprzężone z ramą za pomocą przegubu (4). Do ramienia roboczego, w pobliżu jego końca, zamocowane jest koło kopiujące teren (5). Na końcu ramienia roboczego znajduje się piła tarczowa (6). Napęd piły tnącej jest przekazywany od WOM ciągnika poprzez wałek (7),

zębatą przekładnię kątową (8) oraz przekładnię pasową z pasami klinowymi (9). Wszystkie elementy ruchome maszyny są zabezpieczone osłonami bezpieczeństwa. Alternatywnym rozwiązaniem przeniesienia napędu od ciągnika rolniczego do piły tnącej jest zastosowanie zębatach przekładni kątowych i długiego wałka w miejsce przekładni pasowej.

Proces projektowania nowej maszyny rozpoczęto od zbudowania koncepcyjnego modelu przestrzennego wraz z nałożeniem więzów kinematycznych pomiędzy poszczególnymi częściami ruchomymi maszyny. Szczegóły procesu projektowania przedstawiono w literaturze [1]. W złożonych konstrukcjach bardzo trudne lub czasami niemożliwe jest określenie w sposób analityczny miejsc najbardziej wyężonych, 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 MES. Dyskretyzacja modelu geometrycznego polega na podziale ośrodka ciągłego, jakim jest dana konstrukcja na skończoną liczbę elementów o określonym kształcie. Model kosiarki zdyskretyzowano za pomocą 88147 elementów czterowęzłowych (rys. 2). W modelu uwzględniono lokalne zagęszczenie siatki elementów skończonych w obszarach konstrukcji o małych wymiarach oraz w miejscu spodziewanego dużego gradientu naprężeń (przegub mocujący ramię robocze z ramą kosiarki).

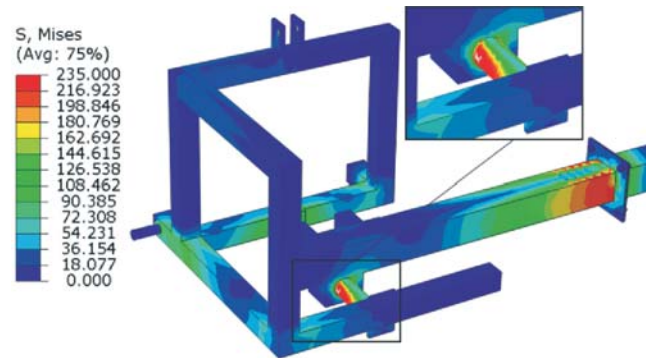
W krytycznym przypadku obciążenia, gdy moment obrotowy piły tarczowej będzie niewystarczający do przecięcia pnia drzewa, nastąpi wyłączenie napędu piły przez sprzęgło przeciążeniowe i decydujący wpływ na zniszczenie konstrukcji kosiarki będzie miała składowa promieniowa P_R wypadkowej siły cięcia (rys. 2). Wartość tej siły dobrano w ten sposób, aby doprowadzić do inicjacji odkształceń plastycznych w konstrukcji. Celem symulacji było określenie miejsc narażonych na zniszczenie. Aby określić faktyczną wartość odkształceń w ramie nośnej konieczne jest analityczne lub eksperymentalne wyznaczenie rzeczywistych wartości sił obciążających ramę.



Rys. 2. Model numeryczny ramy kosiarki ciągnikowej
Fig. 2. Numerical model of the frame of the tractor mower

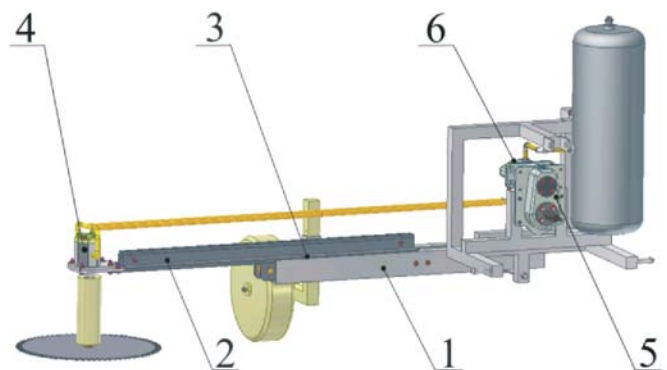
W celu uzyskania wymaganej dokładności poszukiwanego rozwiązania, wykorzystywane elementy powinny być na tyle małe, aby aproksymowane wewnątrz nich funkcje mogły być przybliżone za pomocą wielomianów. Kolejnym etapem tworzenia modelu MES jest wprowadzenie warunków brzegowych oraz parametrów opisujących materiał konstrukcji. W modelu na powierzchniach mocowania kosiarki z ciągnikiem rolniczym odebrano wszystkie stopnie swobody. Poszukując krytycznych miejsc w konstrukcji kosiarki w szczególności obciążenia ramy przyjęto do obliczeń, że rama jest wykonana ze stali S235JRG2 o następujących parametrach mechanicznych: moduł Younga $E = 206000$ MPa, współczynnik Poissona $\nu = 0,29$, granica plastyczności $R_{ch} = 235$ MPa. Obciążenie grawitacyjne konstrukcji [9] uwzględniono przez wprowadzenie gęstości materiału, z którego wykonano poszczególne elementy kosiarki $\rho = 7860$ kg·m⁻³. Założono, że

wytrzymałość połączenia spawanego jest bliska wytrzymałości materiału części łączonych, dlatego kosiarkę zamodelowano jako konstrukcję jednorodną. Miejscem najbardziej obciążonym jest połączenie spawane ramy nośnej z ramą wysięgnika (rys. 3). 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 [5].



Rys. 3. Rozkład naprężeń zastępczych Huber-Mises-Hencky w ramie kosiarki ciągnikowej
Fig. 3. Distribution of Huber-Mises-Hencky equivalent stress in frame of tractor mower

Analiza pracy w warunkach eksploatacyjnych znanych na rynku pił mocowanych na stałym ramieniu wykazała dużą częstość niszczenia ogumienia ciągników w trakcie pracy na plantacjach, wynikającą z najeżdżania na pozostałości po ściętych pędach. Powyższy problem stał się przesłanką do konstrukcji kosiarki o zmiennym położeniu wysięgnika kosiarki. Odmianą omawianej kosiarki do drzewiastych roślin jest kosiarka z wysuwającym ramieniem i hydraulicznym napędem piły tnącej (rys. 4). W odróżnieniu od wcześniej omówionej konstrukcji kosiarka posiada ramię robocze (1) z wysięgnikiem (2), z którym sprzężony jest siłownik hydrauliczny, umieszczony wewnątrz ramienia roboczego, którego końcówka wyposażona jest w rolki współpracujące z prowadnicą (3). Silnik hydrauliczny (4) piły tnącej napędzany jest przez pompę hydrauliczną (6) z reduktorem (5).



Rys. 4. Model kosiarki ciągnikowej: 1 - ramię robocze, 2 - wysięgnik, 3 - prowadnica, 4 - silnik hydrauliczny, 5 - reduktor, 6 - pompa hydrauliczna
Fig. 4. Model of tractor mower: 1 - working arm, 2 - outrigger, 3 - guide, 4 - hydraulic engine, 5 - reduction gear; 6 - hydraulic pump

Monitorowanie plantacji wieloletnich roślin o zdrewniałych pędach wykazało rozrost w różnych kierunkach bryły

korzeniowej, co powoduje wyrastanie pędów w miejscach znacznie odbiegających od linii sadzenia. Ścinanie pędów w takich warunkach wymaga stałego manewrowania kierunkiem jazdy ciągnika, co związane jest ze znacznym nakładem pracy operatora kosiarki. Natomiast w prezentowanym rozwiązaniu ciągnik zachowuje prostoliniowy stały kierunek jazdy, a ruchome ramię zmienia swoje położenie dostosowując się do faktycznego położenia pędów. Dodatkową zaletą ruchomego wysięgnika jest uniknięcie niszczenia opon ciągnika w wyniku najechania na pozostałości po ściętych pędach.

Podsumowanie

Wieloletnie obserwacje założonych plantacji i ich eksploatacja stały się podstawą do optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych kosiarek ciągnikowych do ścinania roślin o zdrewniałych pędach. Rozwijająca się szybko technika komputerowa systemów wspomagania projektowania została wykorzystana do optymalizacji powstających maszyn i urządzeń opisanych wcześniej. Zastosowanie komputerowego systemu wspomagania tworzenia dokumentacji konstrukcyjnej maszyny pozwala na szybką modyfikację zmian konstrukcyjnych w zależności od potrzeb.

Rozpatrując efektywność zastosowania zaproponowanych maszyn do zbioru biomasy na małych plantacjach należy brać pod uwagę kilka czynników - przede wszystkim wielkość gospodarstwa, a w konsekwencji zapotrzebowanie na siłę roboczą oraz stopień dostępności ciągników o dużej mocy. Z punktu widzenia możliwości wykorzystania maszyn należy uwzględnić hipsografię terenu, strukturę gleby oraz charakterystykę rosnących roślin (rozzrzut miejsc wzrostu roślin wieloletnich w stosunku do kierunku sadzenia). Zaletą zaproponowanych rozwiązań jest ich nieskomplikowana konstrukcja, niski koszt wytworzenia oraz prosta obsługa.

Kształtowanie ekosystemu miejskiego, polegające na tworzeniu zieleni przyulicznej, zieleńców i rewitalizacji istniejących terenów zieleni miejskiej, wymaga wypracowania odpowiednich narzędzi ich pielęgnacji. Zaproponowane rozwiązania konstrukcyjne wychodzą naprzeciw potrzebom firm zarządzających terenami zieleni oraz zajmujących się utrzymaniem zieleni towarzyszącej ulicom, lotniskom,

obiektom kolejowym i przemysłowym. Kosiarki z piłą tarczową są szczególnie przydatne przy wycinie zakrzaczeń i niewielkich drzew w przydrożnych rowach, których wycięcie za pomocą kosiarek listwowo-palcowych lub rotacyjnych do koszenia trawy jest utrudnione. Przedstawione maszyny mogą być wykorzystane również do likwidacji plantacji uprawnych krzewów owocowych (agrest, porzeczka, aronia).

Bibliografia

- [1] Niemiec W., Stachowicz F., Trzepieciński T.: Maszyny przeznaczone do zbioru wysokołodygowych roślin energetycznych na małych plantacjach. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2012, 4, s. 10-12.
- [2] Niemiec W., Stachowicz F., Szewczyk M., Trzepieciński T.: Technological progress in production, logging and processing of the biomass, SSC Journal of Civil Engineering, 2011, 6, s. 85-92.
- [3] Niemiec W., Stachowicz F., Szewczyk M., Trzepieciński T.: Rozwój technologii produkcji, zbioru i przetwarzania roślin energetycznych o zdrewniałych pędach. Ekologia i Technika, 2012, 3, s. 186-191.
- [4] Pawlak J.: Wpływ wybranych czynników na koszty wykonania prac na plantacjach wierzby energetycznej. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2009, Nr 3(66), s. 39-47.
- [5] Kwaśniewski D.: Koszty mechanizacji uprawy na plantacjach wierzby energetycznej. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2007, 1, s. 117-123.
- [6] Lisowski A.: Technologie zbioru roślin energetycznych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2010.
- [7] Kwaśniewski D.: Techniczno-ekonomiczne aspekty zbioru na plantacjach wierzby energetycznej. Inżynieria Rolnicza, 2007, Nr 6(94), 129-135.
- [8] Niemiec W., Skiba S., Ślenzak W.: Kosiarka do drzewiastych roślin, Patent PL nr 386842 (2010 r.).
- [9] Łowiński Ł., Zbytek Z., Pawłowski T., Spychała W.: Analiza wpływu hamowania podczas transportu na obciążenia ramy nośnej maszyny do zbioru wierzby energetycznej. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2010, 2, s. 10-12.

SELECTED DESIGN PROBLEMS OF MOWERS FOR FELLING WOODY PLANTS AND PROTECTION OF GREEN AREAS

Summary

Technical solutions of a tractor mower for cutting plants with ligneous sprouts presented in this article are a part of developed technology of production, harvesting and processing of energetic plants. The design process of a new machine was started from building of a conceptual spatial model of a construction with attribute kinematic bonds between particular movable parts of the machine using Autodesk INVENTOR program. The strength analysis of the tractor mower construction was carried out by using ABAQUS program based on finite element method. The selected problems connected with correct developing of geometrical model for numerical solutions and creating the numerical description of the construction have been presented. The manufactured prototypes of machines patented in Polish Patent Office have been tested and positively estimated by planters of wood biomass. Relatively simple construction and easy operation which generate a low cost of machine and the increase of operational reliability characterize the developed machines.

Key words: tractor mower; agricultural machinery; energetic plants; biomass harvesting