

dr hab. inż. Tomasz NUREK, prof. nadzw. SGGW
dr inż. Arkadiusz GENDEK
SGGW w Warszawie, Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa
e-mail: tomasz_nurek@sggw.pl; arkadiusz_gendek@sggw.pl

WYKORZYSTANIE PAKIETU WITNESS DO MODELOWANIA PRZEBIEGU PROCESÓW PRODUKCYJNYCH W LEŚNICTWIE

Abstrakt

Nowoczesne narzędzia do symulacji procesów umożliwiają ocenę i porównanie wielu wariantów technologicznych i parametrów eksploatacyjnych stosowanych maszyn. Przedstawione zostały wyniki symulacji trzech procesów związanych z pozyskaniem biomasy leśnej przeznaczonej na cele energetyczne. Przetestowano proces uprzątkowania powierzchni zrębowej przy użyciu rębarki lub pakieciarki oraz proces ręcznego pozyskiwania biomasy w ramach cięć pielęgnacyjnych. Wirtualne testowanie procesów pozwoliło na wskazanie najbardziej korzystnej ich organizacji oraz na określenie optymalnych warunków wykorzystania sprzętu.

Słowa kluczowe: leśnictwo; drewno; biomasa; procesy produkcyjne; modelowanie; wykorzystanie maszyn; rębarki; pakieciarki; analiza

Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się znaczące zmiany w technice, technologii i organizacji wielu prac leśnych. Dotyczy to takich grup robót, jak: pozyskanie i transport drewna (wprowadzenie maszyn wielooperacyjnych, nowoczesnych ciągników zrywkowych czy też specjalistycznych samochodów wywozowych), prac szkółkarskich (rozwój szkółkarstwa kontenerowego). Nieco inne mechanizmy są powodem rozwoju technologii i techniki związanej z pozyskiwaniem biomasy leśnej na cele energetyczne. Ten segment prac leśnych jeszcze kilka lat temu nie istniał. Pozostałości zrębowe oraz biomasa pozyskiwana w cięciach pielęgnacyjnych były w większości palone bezpośrednio w lesie lub też pozostawiane (po rozdrobnieniu) na powierzchni. Dwa czynniki wymusiły zmianę sposobu postępowania. Z jednej strony był to zakaz palenia biomasy na powierzchniach leśnych, z drugiej zaś powstanie ogromnego rynku biomasy jako surowca energetycznego. Opisane powyżej fakty dowodzą konieczności wprowadzania w polskich lasach nowoczesnych maszyn oraz przystosowania do ich wymagań dotychczas stosowanych technologii realizacji zadań. W tym momencie pojawia się pytanie, jakie maszyny i w jakim układzie technologicznym powinny być stosowane w polskich lasach. W takich rozważaniach należy wziąć pod uwagę aspekty ekonomiczne oraz wszelkie uwarunkowania i ograniczenia wynikające z zasad hodowli lasu oraz polityki leśnej realizowanej w naszym kraju.

Tego typu badania i próby mogą być przeprowadzane w rzeczywistych warunkach z wykorzystaniem rzeczywistych zestawów maszyn i urządzeń. Czy jest to jednak dobre rozwiązanie? Na pewno przyniesie ono dobre rezultaty, lecz koszty takich działań oraz czas ich trwania pozostawiałyby wiele do życzenia. Ponadto trudno jest zbadać w rzeczywistych warunkach większą liczbę wariantów technologicznych, czy też kilka modeli maszyn by znaleźć rozwiązanie najbardziej korzystne.

Rozwiązaniem tych zagadnień jest stosowanie pakietów symulacyjnych umożliwiających ocenę i porównanie przebiegu prac w wielu wariantach organizacyjnych oraz dla różnych wartości parametrów eksploatacyjnych zastosowanych w nim maszyn. Wśród wielu takich pakietów oprogramowania na uwagę zasługuje oprogramowanie WITNESS. Od kilku lat w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW

w Warszawie prowadzone są prace związane z projektowaniem procesów technologicznych wykorzystujące ten pakiet. Uniwersalność tego narzędzia umożliwia przeprowadzanie obliczeń symulacyjnych i optymalizacyjnych zarówno w przypadku dość specyficznych procesów technologicznych stosowanych w leśnictwie, jak i bardziej typowych - na przykład z zakresu przemysłu drzewnego lub przetwórstwa żywności [3, 5].

Jedną z zalet wykorzystania programów symulacyjnych jest to, że nie wymagają one od użytkownika rozległej wiedzy informatycznej. Znaczącą zaletą jest także możliwość wykorzystania bardzo obfitej biblioteki zawierającej elementy odzwierciedlające większość podsystemów rzeczywistych linii produkcyjnych. Są to na przykład różnego rodzaju maszyny, pojazdy, przenośniki, magazyny, drogi, ścieżki. Istotną zaletą jest również możliwość przeprowadzenia symulacji, wizualizacji i optymalizacji zarówno procesów dyskretnych jak i ciągłych. Można także w dużym zakresie przewidywać uczestnictwo pracowników w procesie produkcyjnym, również w wyniku zajęć losowych. Poszczególne elementy pakietu użytkownik „łączy” ze sobą wykorzystując wiele standardowych funkcji i operatorów (*pull, push, if, change, or, end, and, while*), których znajomość nie wymaga szczegółowej wiedzy z zakresu programowania [1, 2].

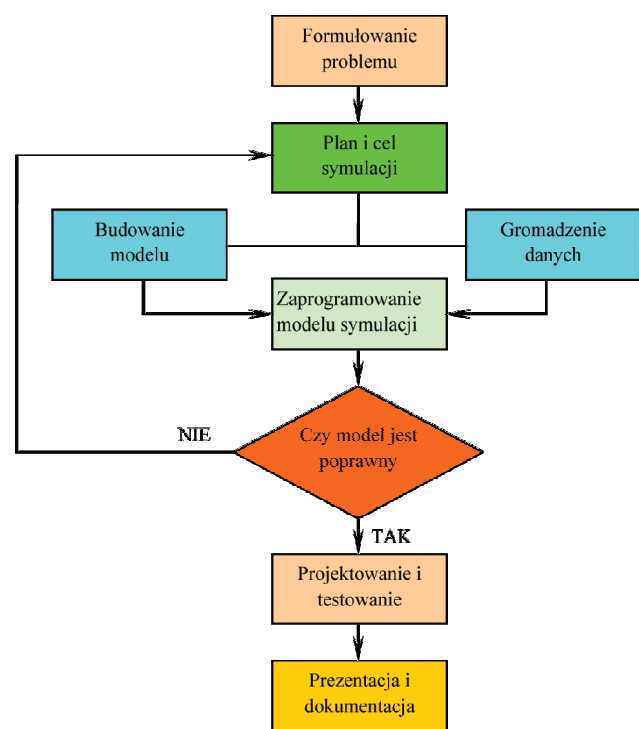
Symulacje procesów produkcyjnych w leśnictwie

Cechą charakterystyczną procesów technologicznych w leśnictwie (również w rolnictwie) jest przemieszczanie się maszyn po pewnym obszarze - zrębie, uprawie leśnej lub polu i wykonywaniu operacji w ruchu, w sposób ciągły (siew, oprysk, pielenie uprawy leśnej) lub zatrzymując się po zajęciu przez maszynę wybranej pozycji (ścinka harvesterem, załadunek forwardera, pobieranie drobnicy przez pakieciarkę). Budowa modeli symulacyjnych, tych typowych dla leśnictwa lub rolnictwa procesów technologicznych, wiąże się z pewnymi trudnościami. Wynikają one z lepszego przystosowania pakietu WITNESS do modelowania stacjonarnych procesów technologicznych, w których obrabiany produkt jednoznacznie przemieszcza się do kolejnych maszyn. Nie oznacza to jednak, że modelowanie prac leśnych nie jest możliwe [3, 5]. Pracownicy Katedry Maszyn Rolniczych i Leśnych opracowali dotych-

czas kilka modeli symulacyjnych różnych procesów technologicznych realizowanych w leśnictwie. W niniejszej publikacji zostaną przedstawione symulacje procesów związanych z uprzątaniem powierzchni leśnej po zabiegu związanym z pielęgnacją lasu i pozyskiwaniem drewna.

Pierwszy z modeli opisuje proces polegający na ręcznym wynoszeniu do drogi leśnej surowca pozyskanego w ramach zabiegu pielęgnacyjnego (czyszczenie późne). Biomasa jest czasowo składowana przy drodze, następnie zrębkowana do kontenera i wywożona do odbiorcy [6, 7]. Drugi model opisuje dwie technologie uprzątania powierzchni leśnej po pozyskaniu drewna maszyną wielooperacyjną. Jedna z nich obejmuje czynności związane z formowaniem pakietów, transportowaniem ich do drogi i wywozem do odbiorcy. Druga technologia zawiera z kolei takie czynności, jak: zrębkowanie pozostałości zrębowych, przesypywanie ich do kontenerów samochodowych i wywóz kontenerów do odbiorcy [4]. Jak już wspomniano cechą tych procesów, charakterystyczną dla wielu prac leśnych jest konieczność przemieszczania obiektów produkcyjnych (człowiek znośzący drobnicę, rębarka, pakieciarka, ciągnik zrywkowy poruszające się po powierzchni). Pakiet WITNESS nie zawiera elementów umożliwiających proste modelowanie tego typu produkcji. Symulacja takich systemów produkcyjnych jest skomplikowana, lecz jak pokazują przytoczone przykłady, można również uzyskać satysfakcjonujące efekty.

Dla stworzenia modelu procesów technologicznych przyjęta została odpowiednia kolejność działań symulacyjnych przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Kolejność działań symulacyjnych
Fig. 1. Sequence of simulation phases

Ręczne wynoszenie biomasy z powierzchni leśnej i zrębkowanie na drodze wywozowej

Celem tej symulacji było wyznaczenie optymalnej, z punktu widzenia wydajności procesu, liczby osób i maszyn [7]. Założono, że uprzątanie powierzchni leśnej w ramach przeprowadzania czyszczeń późnych może być prowadzone w wielu wariantach. Zmiennymi wejściowymi podlegającymi analizie była liczba pracowników znośzących biomasę, liczba

pracowników obsługujących rębarkę oraz wydajność rębarki. Stworzony model został oparty o przestrzenne rozmieszczenie elementów w procesie, w którym powierzchnia leśna została podzielona na prostokąty o znanej długości boków, gdzie dłuższy bok przylegał do drogi leśnej. Na drodze, w połowie długości boku ustawiona została rębarka oraz kontener na zrębki (rys. 2).

Zadaniem pracowników było zbieranie biomasy leśnej z powierzchni i dostarczanie jej do rębarki. Przebieg procesu rozpatrywany był w dziewięciu wariantach, przy założeniu rzeczywistego czasu trwania symulacji 30 minut. Zaprogramowany czas wystarczał do uprzątnięcia całej powierzchni i zapewniał wielokrotne powtarzanie się czynności operacyjnych. Poddane analizie warianty uprzątania powierzchni leśnej zakładały wystąpienie różnych sytuacji, które mogły mieć miejsce w opisywanym procesie, a w konsekwencji pozwoliły na wskazanie i dobór najkorzystniejszego rozwiązania.

Na rys. 2 pokazano wygląd typowego ekranu w trakcie symulacji. Po prawej stronie głównej jego części (segment A) widoczna jest wizualizacja przebiegu prac. Symbolicznie została zaznaczona powierzchnia leśna, pracownicy zbierający biomasę oraz ścieżki, po których się oni poruszają. Najważniejsze z punktu widzenia symulacji są zaznaczone w segmencie B zmienne oraz wykresy. To w tym miejscu na bieżąco wyświetlane są wybrane parametry wejścia i wyjścia oraz w sposób graficzny przedstawiane są na wykresach np. wydajności i przebiegi pracy maszyn.

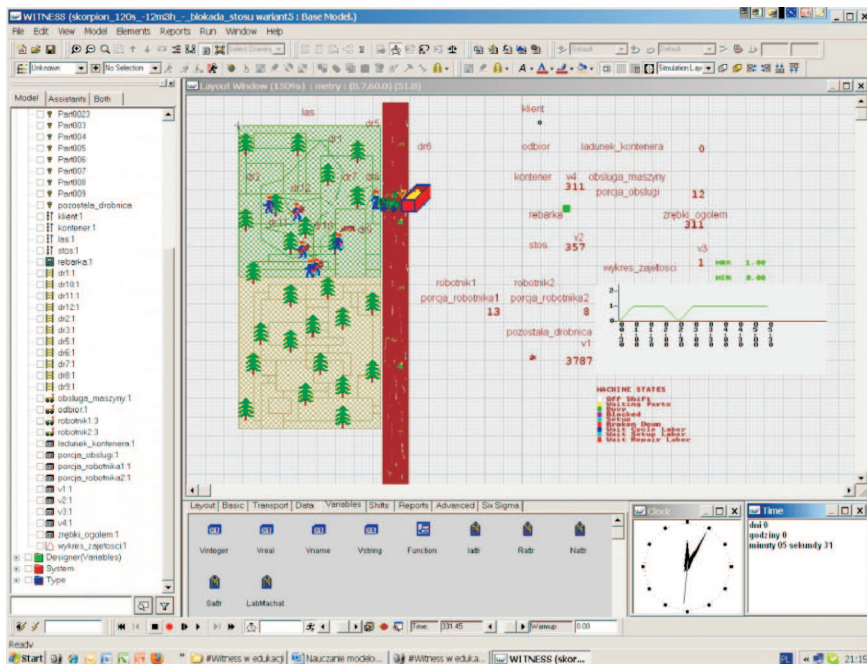
Symulację przeprowadzono dla trzech wartości wydajności maszyny (4,2; 12 oraz 20 m³/h). Dla wszystkich tych trzech wariantów sprawdzono wpływ liczby osób zbierających drobnicę oraz liczby osób obsługujących rębarkę.

Przygotowana z wykorzystaniem pakietu WITNESS symulacja pozwoliła w stosunkowo krótkim czasie zbadać przebieg procesu dla przypadku 1 i 2 osób obsługujących maszynę oraz 4, 5 i 6 osób zbierających gałęzie. Przeprowadzone symulacje wykazały, iż optymalna sytuacja, zapewniająca najlepszą synchronizację pracy robotników leśnych z obsługą rębarki i pozwalająca na pełne wykorzystanie rębarki, zachodzi wówczas, gdy czterech robotników znosi drobnicę z leśnej powierzchni zrębowej, obsługą rębarki stanowią dwie osoby, zaś wydajność maszyny wynosi 12 m³/h.

Pakietowanie i zrębkowanie biomasy leśnej oraz transport do odbiorcy

Ten eksperyment symulacyjny miał na celu porównanie dwóch technologii uprzątania powierzchni leśnej z pozostałości zrębowych, które przeznaczone zostały do bezpośredniego spalania lub dalszego przerobu na paliwo w innej postaci. W obu technologiach przyjęto taką samą powierzchnię leśną, na której wykonano zręb zupełny przy użyciu wysokowydajnych maszyn leśnych (harwester + forwarder), tak więc warunki pracy rębarki i pakieciarki były takie same (rys. 3). Cechą charakterystyczną takiego pozyskiwania jest to, że pozostałości (gałęzie, wierzchołki drzew) ułożone są w długi stos na trasie przejazdu maszyny. Materiał jest przygotowany dla kolejnej maszyny tak, aby można ją było jak najbardziej efektywnie wykorzystać.

Symulacja procesu zrębkowania i pakietowania pozostałości zrębowych pozwoliła na wskazanie technologii bardziej wydajnej oraz wskazanie miejsc wymagających precyzyjnego doboru wydajności maszyn z punktu widzenia zachowania ciągłości pracy i wyeliminowania przestoju. Analizie poddano jeden tydzień pracy maszyn od poniedziałku do niedzieli, przy czym w dniach poniedziałek-piątek maszyny



Rys. 2. Ekran symulacji procesu ręcznego uprzętanania powierzchni i zrzębkowania biomasy leśnej

Fig. 2. Screenshot of simulation process of forest biomass manual collection and chipping

miały zmianę roboczą ograniczoną do 10 godzin, w sobotę zaś do 6, a niedziela była dniem wolnym od pracy. W ciągu każdej zmiany roboczej pracownikom przysługiwała przerwa 30 minut.

W przypadku określenia godzin pracy maszyny ważne było to, że wraz z zakończeniem zmiany roboczej, trwająca czynność/operacja musiała być przez maszynę dokończona. Ma to istotne znaczenie szczególnie w przypadku samochodu wywozowego, który niezależnie od miejsca gdzie się znajduje musi dojechać do odbiorcy i dopiero tam kończy się jego praca.

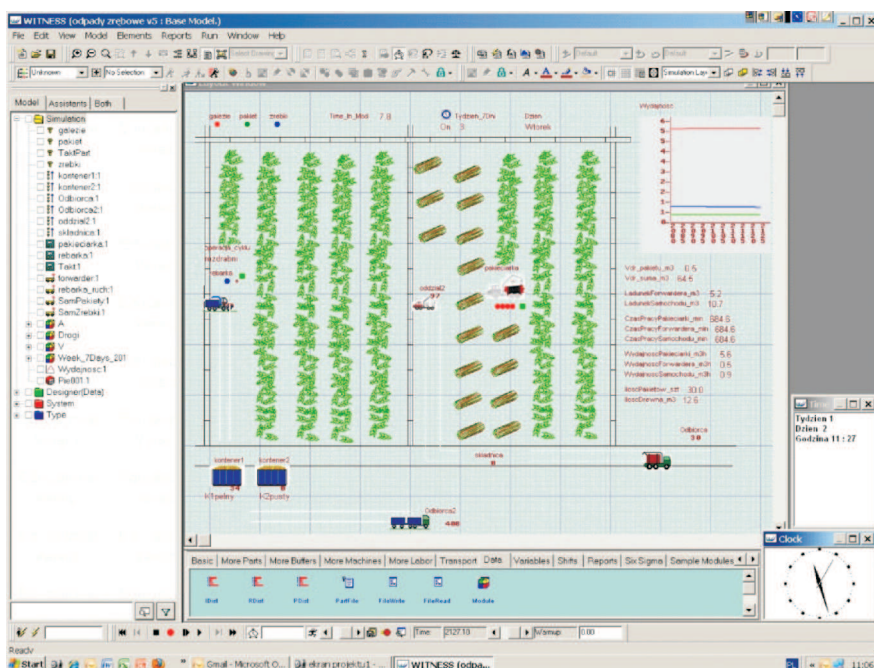
W przedstawionej symulacji procesów zrzębkowania i pakietowania pozostałości zrzębowych nie były uwzględniane takie czynniki losowe, jak: zakłócenia w dostawach, awarie maszyn czy zmienność składu biomasy.

Na podstawie obserwacji terenowych pracy poszczególnych maszyn biorących udział w analizowanych technologiach pozyskiwania biomasy leśnej pochodzącej z pozostałości zrzębowych oraz na podstawie zależności opisujących cykl roboczy maszyn, wyznaczone zostały wartości przeciętne cza-

sów poszczególnych cykli. Dane wejściowe do symulacji zostały określone na podstawie informacji własnych oraz zawartych w dostępnych publikacjach [8, 9, 10].

Dla odwzorowania warunków zbliżonych do rzeczywistych, czasy wykonywanych operacji zostały opisane odpowiednimi rozkładami statystycznymi. Najczęściej wykorzystywany był rozkład normalny (NORMAL) oraz rozkład trójkątny (TRIANGLE). Poprzez szybką i prostą zmianę parametrów wejściowych uzyskano szereg informacji na temat współpracy poszczególnych maszyn w symulowanych procesach, jak również można było wskazać „wąskie gardła”, które niekorzystnie wpływają na pracę i wydajność poszczególnych maszyn.

Testowanie jest trudnym i pracochłonnym zajęciem, ale dzięki temu symulacja komputerowa może być jak najbardziej zbliżona do świata rzeczywistego. Testowanie stworzonej symulacji polegało na wielokrotnym jej uruchamianiu i poszukiwaniu miejsc, w których występują problemy. Najczęstsze z nich to złe dobranie czasów cykli, a co za tym idzie wydaj-



Rys. 3. Ekran symulacji procesu zrzębkowania i pakietowania pozostałości zrzębowych przeznaczonych na cele energetyczne

Fig. 3. Screenshot of simulation process of wood harvesting residues chipping and bundling for energy production

ności, które wpływają na wzajemną współpracę maszyn. Wprowadzając poprawki udało się wyeliminować węzły, gdzie jedna maszyna oczekiwała na zakończenie lub wykonanie odpowiedniej ilości pracy przez maszynę ją poprzedzającą. Przykładem może być rębarka i samochód wywożący kontenery. Na początku źle dobrane parametry pracy tych maszyn powodowały to, że samochód wywozowy po przyjechaniu na powierzchnię leśną czekał na wypełnienie kontenerów zrębkami. Odwrotnym przypadkiem było oczekiwanie rębarki na puste kontenery, czyli przyjęta została zbyt niska prędkość poruszania się samochodu, który nie przywoził na czas pustych kontenerów.

Po przeanalizowaniu sześciu dni roboczych do odbiorcy trafiło 322,1 m³ drewna w postaci zrębków oraz 115,5 m³ drewna w postaci pakietów. Na tej podstawie można by było stwierdzić, że zrębkowanie pozostałości jest technologią prawie trzy razy wydajniejszą od pakietowania. Jednakże wszystkie zrębki były na bieżąco wywożone w kontenerach do odbiorcy i nic nie było magazynowane na powierzchni leśnej. W technologii zrębkowania, dla uniknięcia przestojów w pracy rębarki, należało zwracać szczególną uwagę na jej współpracę z samochodem wywozowym. Problemu tego nie było w technologii pakietowania biomasy. Przyjęta została tu inna strategia dowozu pakietów do odbiorcy. Dłuższy czas, jaki spędzały pakiety w oczekiwaniu na transport do odbiorcy, w procesie rzeczywistym może pozwolić na zmniejszenie wilgotności materiału, co biorąc pod uwagę dalsze etapy technologii przygotowania biomasy do spalania, może przynieść wymierne korzyści finansowe.

Wywiezienie do odbiorcy znacznie mniejszej ilości biomasy nie oznacza jednak, że technologia pakietowania jest gorsza od zrębkowania. W analizowanym czasie pakieciarka wyprodukowała jeszcze 565 pakietów, które pozostały na powierzchni leśnej oraz na składnicy przyrębkowej. Pakiety te dają dodatkowe 217,5 m³ drewna. Oznacza to, że pakieciarka wyprodukowała 333 m³ drewna, tak więc obie maszyny - rębarka i pakieciarka, przy założonych danych wejściowych do symulacji, uzyskują porównywalną wydajność [4].

Symulacja ma jednak strukturę otwartą i umożliwia jej dalszą rozbudowę o wprowadzanie wymienionych elementów oraz m.in. modułu liczącego koszty procesu, kolejnych powierzchni leśnych, maszyn, stopni trudności prac itd.

Podsumowanie

Przedstawione przykłady zastosowania pakietu WITNESS do modelowania procesów technologicznych w leśnictwie świadczą o dużej jego przydatności do symulacji również tych specyficznych prac. Z tego faktu mogą wynikać konkretne korzyści dla nadleśnictw lub wykonawców prac leśnych - zakładów usług leśnych. Szczególnie w Polsce, w sytuacji wprowadzania wielu nowych maszyn w leśnictwie, rozwiązań technologicznych i organizacyjnych, wydaje się bardzo zasadne „wirtualne” przetestowanie proponowanych

rozwiązań. Dzięki temu możliwe byłoby sprawdzenie efektów ekonomicznych różnych wariantów zastosowania nowoczesnego sprzętu leśnego oraz określenie optymalnych warunków jego wykorzystania. Można by wtedy uniknąć wielu błędów organizacyjnych, a osoby odpowiedzialne za organizację prac leśnych oraz tworzenie stosownych umów z wykonawcami miałyby jednoznaczne, ilościowe podstawy podejmowania decyzji.

Bibliografia

- [1] Bouamara O., Morrison E.: Teaching and learning discrete-event simulation & modeling with Witness. Oxford Brookes University.
- [2] Daněk, J.: WITNESS v roce 2000. AUTOMA, 2000, No 9.
- [3] Dęboczyk E.: Analiza procesu produkcji blatów kuchennych z wykorzystaniem programu komputerowego WITNESS. Praca magisterska. Wydział Inżynierii Produkcji SGGW, Warszawa, 2009.
- [4] Gendek A.: Symulacja procesu pozyskiwania pozostałości zrębowych przeznaczonych na cele energetyczne. Praca dyplomowa w ramach studiów podyplomowych „Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne”. Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki UR, Kraków, 2011.
- [5] Gendek A., Dziubałka M.: Zastosowanie symulacji komputerowych w procesach leśnych przy wykorzystaniu oprogramowania Witness. Monografia XIX Międzynarodowa Konferencja Naukowa Studentów „Problemy Inżynierii Rolniczej i Leśnej”. Warszawa, 26 maja 2010 r.
- [6] Gendek A., Nurek T.: Symulacja procesów technologicznych w leśnictwie przy wykorzystaniu oprogramowania Witness. Użytkowanie maszyn leśnych. Polska Akademia Umiejętności. Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych. Monografia tom II. Kraków, 2010.
- [7] Wewiór Ł.: Optymalizacja procesu zrębkowania przy użyciu programu komputerowego Witness. Praca magisterska. Wydział Inżynierii Produkcji SGGW, Warszawa, 2008.
- [8] Zychowicz W., Gendek A.: Pozyskiwanie odpadów zrębowych na cele energetyczne w postaci pakietów. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2006, nr 11.
- [9] Zychowicz W., Gendek A.: Efektywność stosowania samobieżnej rębarki z zasobnikiem do pozyskiwania zrębków na cele energetyczne. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Zeszyt 543/2009 pt. Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji rolniczej i leśnej. Konferencja KMRIL, Warszawa, 2009.
- [10] Zychowicz W., Sosnowska A.: Efektywność eksploatacji maszyny do pakietowania pozostałości zrębowych Timberjack 1410D. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2007, nr 4.

FOREST PRODUCTION PROCESSES MODELLING WITH USE OF WITNESS SOFTWARE PACKAGE

Abstract

Modern processes oriented simulation software enable evaluation and comparison of many technological solutions and effectiveness of used machines. In this paper the results of simulation of three forest energy biomass harvesting systems are presented. These three versions include biomass collection with use of chipper or slash bundler or manually from thinning areas. The results of carried out simulations give possibility to find the best organization schemes and optimal conditions of use of equipment.

Key words: forestry; wood; biomass; production processes; modelling; machine applications; chippers; slash bundlers; analysis