

Prof. dr hab. inż. Wiesław Piekarski  
Katedra Energetyki i Środków Transportu  
Wydział Inżynierii Produkcji  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
20-612 Lublin ul. Głęboka 28

Lublin, dn. 20.05.2017 r.

## RECENZJA

osiągnięcia naukowego nt. „Metoda prognozowania wydajności maszynowego pozyskiwania drewna pokłeskowego na podstawie cech uszkodzonej powierzchni leśnej” oraz całości dorobku naukowego, badawczego, działalności dydaktycznej i organizacyjnej

**dr inż. Jacka Brzóska**

z Wydziału Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie w związku z postępowaniem habilitacyjnym prowadzonym przez Centralną Komisję do Spraw Stopni i Tytułów

**dziedzina : Nauki leśne,  
dyscyplina: Leśnictwo**

Podstawa opracowania recenzji:

Pismo „ Leśny Va-RWL-H-2/16/17 z dnia 12. 04. 2017 r. Dziekana Wydziału Leśnego, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Pana Prof. dr hab. Henryka Zybury.

### 1. Przebieg pracy zawodowej, posiadane dyplomy i stopnie naukowe Habilitanta

**Dr inż. Jacek Brzóska** uzyskał dyplom magistra inżyniera na Wydziale Techniki Rolniczej i Leśnej, specjalność Mechanizacja rolnictwa, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Stopień doktora nauk leśnych w zakresie leśnictwa, uzyskał w roku 2004 na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie na podstawie rozprawy doktorskiej pt.: „Badania energetyczne leśnej glebogryzarki ślimakowej”, której promotorem był Prof. dr hab. inż. Jerzy Więsik.

W początkowym okresie **Kandydat** był na studiach doktoranckich w okresie od 1999 roku do 2004 roku na WTRiL, w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych. Następnie zatrudniony był na stanowisku asystenta, Wydział Inżynierii Produkcji, SGGW, od 2004 -2005 roku. Kolejne lata pracy od 2005 roku do chwili obecnej zatrudniony jest na stanowisku adiunkta w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych.

Lata zdobytych doświadczeń uzyskanych w pracy naukowej na uczelni, pozwoliły na podjęcie nowych wyzwań badawczych, które umożliwiły sfinalizować kolejne etapy rozwoju naukowego. W trakcie pracy zawodowej kolejno wiodącymi tematami badawczym były zagadnienia związane z nowymi maszynami leśnymi, a następnie pozyskiwaniem drewna z leśnych obszarów pokłeskowych. Bardzo zbliżoną grupę zainteresowań naukowych stanowią badania dotyczące wpływu zniszczeń pokłeskowych na warunki i efekty pracy operatorów maszyn wysokowydajnych.

### 2. Ocena rozprawy naukowej (monografii)

#### 2.1. Ogólna charakterystyka rozprawy habilitacyjnej

Recenzowana rozprawa naukowa nt: „Metoda prognozowania wydajności maszynowego pozyskiwania drewna pokłeskowego na podstawie cech uszkodzonej powierzchni leśnej” została opublikowana w całości w serii Rozprawy Naukowe Wydawnictwo SGGW w Warszawie. Rozprawa zawiera 128 stron i składa się z 11 rozdziałów,

wydajność operacyjną harwesterów pracujących na zrębach i powierzchniach trzebieżowych i tak: warunki drzewostanowe, warunki terenowe, warunki klimatyczne, warunki techniczne, warunki ekonomiczne, warunki organizacyjne i aspekty ludzkie. Podstawą odniesienia do wymienionych czynników są średnie wielkości czasów trwania wyróżnionych w procesie pozyskiwania drewna operacji obróbczych i czasów przejazdu między obrabianymi drzewami. W podsumowaniu prawidłowo i dogłębnie prowadzonej analizy stanu wiedzy obejmującej rozważane problemy Autor stwierdza, że wydajność harwestera zależy głównie od warunków jego pracy, natomiast w mniejszym stopniu od jego parametrów technicznych. Dlatego też Autor za podstawę określenia warunków pracy poszczególnych maszyn i uzyskiwanych przez nie wydajności przyjmuje charakterystykę drzewostanów, w których maszyny pracują. Stąd trudne warunki pokłeskowe mogą mieć istotny wpływ na efektywność maszynowego pozyskiwania drewna.

## 2.2. Uzasadnienie podjęcia tematu

Głównym obszarem zainteresowań naukowo badawczych *Habilitanta* była problematyka związana z pozyskiwaniem drewna z powierzchni pokłeskowych w aspekcie bezpieczeństwa pracy, efektów ekonomicznych i zagrożeń ekologicznych przy zastosowaniu maszyn wysokowydajnych. Uzasadnieniem podjęcia, tak ważnej problematyki badawczej w gospodarce leśnej jest brak w literaturze badań z powyższego zakresu: *jak najefektywniej wykorzystać dostępne maszyny do konkretnej powierzchni pokłeskowej, szczegółowego opisu cech drzewostanu pokłeskowego mającego istotny wpływ na efektywność pracy maszyn na generowanie ich uszkodzeń i awarii. Ponadto brak jest w literaturze kryteriów jakimi należy kierować się przy planowaniu pozyskiwania drewna z obszarów pokłeskowych. Stąd opracowanie symulacyjnego procesu pracy harwestera na powierzchni pokłeskowej uwzględniającego stopień utrudnienia warunków terenowych dla określonych cech powierzchni pokłeskowej umożliwi dokonać przez Kandydata szczegółowej analizy pracy maszyn i prognozowanie jej efektywności.*

## 2.3. Hipoteza badawcza cel i zakres pracy

W świetle przeprowadzonej analizy stanu wiedzy Autor przyjął hipotezę badawczą; **„charakterystyka drzewostanu pokłeskowego obejmująca rodzaje uszkodzeń drzew, procentowy udział wyróżnionych grup w ogólnej liczbie drzew uszkodzonych, kierunek ich ułożenia oraz jego zróżnicowanie mają istotny wpływ na wydajność pozyskiwania drewna.** Tak przyjęta hipoteza pozwoliła na sformułowanie celu i zakresu pracy – stąd głównym celem pracy była *„możliwość określenia czynników mających istotny wpływ na wydajność maszynowego pozyskiwania drewna z powierzchni pokłeskowej oraz opracowanie metody prognozowania efektywności pracy harwestera”*. Poznanie tak istotnych czynników warunkujących wydajność pozyskiwania drewna pokłeskowego wraz z określeniem ich wielkości daje możliwość stworzenia metody wspomagającej proces decyzyjny doboru maszyn i technologii maszynowego pozyskiwania drewna. Stąd też Kandydat przyjął następujący zakres pracy:

- opracowanie charakterystyki powierzchni uszkodzonej,
- stworzenie matematycznego opisu powierzchni pokłeskowej,
- stworzenie matematycznego opisu zależności między czasem cyklu pozyskiwania drewna, a cechami powierzchni leśnej,
- empiryczne określenie wielkości współczynników różnicujących wydajność,
- opracowanie modelu prognozującego wydajność,
- weryfikację poprawności opracowanego modelu.

czynności charakterystycznych dla maszynowego pozyskiwania drewna w warunkach pokłeskowych odniesiony do pojedynczego drzewa składający się z czasów  $t_{u1}$ ,  $t_{u2}$ ,  $t_{u3}$ ,  $t_{u4}$ ,  $t_{u5}$  poszczególnych czynności pracy maszyny. Autor dla ułatwienia analizowania wpływu rodzaju uszkodzenia drzewa na czas cyklu pozyskania drewna oraz porównanie wyników drzewostanów nieuszkodzonych zapisał odpowiednim wzorem ( $t_{ckj}$ ), gdzie zawarte są czasy poszczególnych operacji i współczynniki utrudnienia dla operacji charakterystycznych powierzchni pokłeskowych. Ponadto w części dotyczącej wydajności pracy harwestera na powierzchni uszkodzonej wyróżnił trzy rodzaje wydajności maszyny: wydajność operacyjna, wydajność robocza i wydajność eksploatacyjna. Kandydat dla ustalonego w pracy zakresu badań do analizy przyjął wydajność operacyjną ( $W_{o2}$ ) obliczaną dla poszczególnych rodzajów uszkodzeń, przy pozyskiwaniu drewna obalonego zgodnie z dominującym kierunkiem ułożenia drzew (I).

**2.5. W rozdziale metodyka badań Autor** sporządził charakterystykę powierzchni badawczej. Do analizy symulacyjnej wybranych układów technologicznych uwzględniających charakterystykę drzewostanów pokłeskowych, Kandydat empirycznie określił wielkości współczynników zaproponowanych w modelu. *Badania wykonał na powierzchniach rzeczywistych, w miejscach w których zdarzały się kłęski żywiołowe.* Do badań wybrano miejsca o znacznym obszarze uszkodzonym, następnie oznaczono mniejsze reprezentatywne obszary charakteryzujące się odmiennymi dominującymi rodzajami drzew uszkodzonych, wiekiem drzewostanu oraz jego składem gatunkowym. Ze względu na to, że analizowane powierzchnie miały różne lokalizacje, stąd dla zaliczenia ich do odpowiedniej populacji zastosowano metody analizy wariancji dla klasyfikacji pojedynczych. Weryfikacji poddano hipotezę o jednakowych wielkościach średnich dolnych średnic pozyskiwanych drzew na poszczególnych obszarach, co zaprezentowano w tabeli (statystykę opisową). W analizie statystycznej nie uwzględniono drzew klas będących częścią odłamaną lub oderwaną z drzew innego rodzaju uszkodzenia.

Do weryfikacji postawionych hipotez dodatkowo zastosowano test Levene'a jednorodności wariancji w analizowanych grupach, test okazał się wysoce istotny, co pozwoliło Autorowi odrzucić hipotezę o jednorodności wariancji. Stąd do zweryfikowania hipotezy o jednakowych wielkościach średnich średnicy dolnej drzew pozyskiwanych na poszczególnych powierzchniach zastosował nieparametryczny odpowiednik analizy wariancji w postaci testu Kruskala-Wallisa. *Uzyskane wyniki rzędu ( $H=147,3724$  i  $p=0,000$ ) pozwoliły odrzucić hipotezę o przynależności analizowanych obszarów do jednej populacji.* Chcąc wyodrębnić grupy jednorodne zastosował test porównań wielokrotnych, statystycznie istotne różnice uzyskano w każdym przypadku dla powierzchni pracy maszyny Valmet 941 i Ponsse Ergo, traktując je jako pochodzące z odrębnych populacji. Przy pozostałych obszarach nie było podstaw do odrzucenia hipotezy o jednakowej średnicy wielkości średnicy dolnej drzew, stąd obszary te mogą być traktowane łącznie. *Rozkład wielkości średnicy dolnej drzew na badanych obszarach został przedstawiony graficznie w pracy.*

Specyfika prowadzonych badań na powierzchniach rzeczywistych pokłeskowych, wymusiła na dostosowanie się do istniejących warunków terenowych. *Autor wykorzystywał wyłącznie obszary, które stworzyła sama przyroda, gdzie są wyodrębnione charakterystyczne fragmenty a na nich obszary reprezentatywne.* Dla tak wybranych obszarów analizowano szczegółowo parametry drzewostanu oraz rejestrowano pracę pozyskujących drewno maszyn. Do rejestracji pracy maszyn wykorzystano kamerę filmową, pozwalającą na wielokrotne odtwarzanie i umożliwiające dokładną analizę poszczególnych fragmentów procesu. Zdjęcie wykonywane były z powietrza przy wykorzystaniu bezzałogowego statku powietrznego (drona) Mickrodrone MD4-200 dla uszkodzonych terenów leśnych przy jednoczesnej rejestracji pracy maszyn pozyskujących drewno. Do weryfikacji zaproponowanego modelu

przeprowadzono wykorzystując liniowy model regresji, który najlepiej odzwierciedla model szacowania czasochłonności maszyny na stanowiskach pracy w warunkach leśnych na wszystkich głównych rodzajach uszkodzeń.

**Zależność czasu ścinki  $t_{sj}$  od miąższości drzewa** dla poszczególnych rodzajów uszkodzeń zostały przedstawione na rys. 7.28, w żadnym z poszczególnych uszkodzeń nie uzyskano istotnej statystycznie zależności czasu ścinki od miąższości drzewa, stąd do obliczeń przyjmowano wielkość średnią  $t_{sj\bar{s}}$ . Natomiast *wielkości współczynnika utrudnienia procesu pozyskiwania drewna ( $\theta$ )* oraz uzyskane dane statystyk opisowych czasów  $t_{sj}$  i  $t_{ulj}$  zawiera tab. 7.10. Uzyskane *zależności czasu okrzesywania i przerzynki od miąższości drzewa* dla poszczególnych głównych rodzajów uszkodzeń zaprezentowano graficznie na rys. 7.29, a ich wyniki analizy regresji i wielkości statystyk opisowych czasu zamieszczono w tab. 7.11 i 7.12. Przebieg zmian wielkości współczynnika ( $\theta$ ) dla różnych rodzajów uszkodzenia w funkcji  $j = \{D, L, S, W, Z\}$  rodzaju uszkodzenia drzew dla różnych rodzajów miąższości drzewa przedstawiono na rys. 7.30 a wielkości ich statystyk opisowych dla czasów przejazdu i ustawienia harwestera zamieszczono w tab. 7.13. Należy zauważyć, że czasy przejazdu maszyny pomiędzy miejscami ustawienia kształtują się wyraźnie zależnie od rodzaju uszkodzeń. Charakterystyczne dane czasów pozyskania drewna  $t_{u3j\bar{s}}$  i  $t_{u5j\bar{s}}$ , jakie są niezbędne do określenia wielkości współczynnika ( $\theta$ ) przedstawiono w tab. 7.14 i 7.15 a zmianę wielkości współczynnika ( $\theta$ ) dla  $j$  rodzajów uszkodzenia przedstawia rys. 7.31.

## **2. 7. Praktyczne zastosowanie metody badawczej zaproponowanej przez Kandydata**

Uzyskane przez dr inż. Jacka Brzóska na podstawie opracowanego modelu wydajności operacyjnej godzinowego maszynowego pozyskiwania drewna dla poszczególnych głównych rodzajów uszkodzeń drzew oraz dla warunków idealnych drzewostanu uszkodzonego, **pozwalają prognozować średnią wydajność operacyjną pozyskiwania drewna dla rzeczywistych (konkretnych) rodzajów uszkodzeń z najbardziej zbliżonych warunków jakie miały miejsce podczas badań. Opracowana metoda** pozwala również prognozować wydajność maszynowego pozyskiwania drewna pokłeskowego także dla innych parametrów procesu. Jednak w tym przypadku należy skorygować wpływ warunków pokłeskowych, uwzględniając odpowiednie współczynniki utrudnienia. Wykorzystując opracowany model Autor miał możliwość określenia wydajności efektywnej dla pozyskania drewna z dowolnego obszaru uszkodzonego pod warunkiem uwzględnienia procentowego udziału poszczególnych rodzajów uszkodzeń drzew oraz danych taksacyjnych drzewostanu.

Dr inż. Jacka Brzóska na podstawie swoich badań i przeprowadzonego wnioskowania opracował algorytm praktycznego wykorzystania zaproponowanej metody, który jest bardzo cennym osiągnięciem naukowym bardzo - cenny przyczynek do rozwoju danej dyscypliny wiedzy. **W tym miejscu, aż się prosi o stworzenie systemu ekspertowego do określania wydajności operacyjnej maszynowego pozyskiwania drewna dla poszczególnych głównych rodzajów uszkodzeń drzew.**

## **2.8. Weryfikacja modelu matematycznego**

*Empiryczne wyznaczone przez Autora współczynniki ( $\theta$ )*, pozwoliły na prognozowanie wydajności operacyjnej maszyny wysokowydajnej na powierzchni o znanej charakterystyce uszkodzonego drzewa, wykorzystując do tego zaproponowany model. Aby prognozowanie wydajności było wiarygodne Kandydat przeprowadził weryfikację uzyskanych wyników na podstawie obiektów rzeczywistych (konkretnych warunków lasu pokłeskowego). Takimi obiektami były nadleśnictwa Starogard Gdański (RDLP Gdańsk) i Wipsowo (RDLP Olsztyn). Przeprowadzona weryfikacja potwierdziła praktyczną przydatność zaproponowanej metody do wyznaczania wydajności operacyjnej maszyny. Uzyskane rozbieżności z wynikami odpowiednich badań empirycznych uzyskanych na podstawie modelu w przypadku zdjęć

profesjonalnie i szybko wykonane prace mają bardzo istotne znaczenie, wymaga to optymalnego doboru maszyn, opracowania właściwego procesu pozyskiwania drewna pokłeskowego przy jak najniższych kosztach oraz przy jak najmniejszej **kongestii (uciążliwości dla środowiska)** oraz przy najbardziej korzystnych efektach ekonomicznych.

Ponadto na podkreślenie zasługuje: trafność i ranga wyboru problematyki badawczej, poprawność przyjętej metodyki badawczej, umiejętność w zaplanowaniu i realizacji eksperymentów, zgodnej z wymaganiami współczesnej metodologii nauki i właściwej interpretacji wyników, mającej miejsce w naukach empirycznych.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Habilitanta można zaliczyć:

- ❖ opracowanie modelu symulacyjnego procesu pozyskiwania drewna z powierzchni uszkodzonej przez wiatr
- ❖ stworzenie i opracowanie metod określania cech charakterystyki powierzchni uszkodzonej,
- ❖ matematycznego opisu powierzchni pokłeskowej,
- ❖ stworzenie matematycznego opisu zależności między czasem cyklu pozyskiwania drewna a cechami powierzchni leśnej,
- ❖ opracowanie modelu prognozującego wydajność maszyn przy pozyskiwaniu drewna,
- ❖ weryfikacja modelu symulacyjnego dotyczącego procesu pozyskiwania drewna,
- ❖ przeprowadzenie badań innowacyjnych dotyczących sposobu określania wydajności operacyjnej przy pozyskiwaniu drewna z obszarów leśnych pokłeskowych,
- ❖ opis powierzchni pokłeskowej za pomocą zintegrowanego wskaźnika macierzowego  $\alpha$  charakteryzującego rodzaje uszkodzeń drzew,
- ❖ empiryczne określenie współczynników utrudnienia poszczególnych operacji pozyskiwania drewna dla terenów uszkodzonych przez wiatr.

Ponadto chciałbym wyraźnie podkreślić, że zaprezentowany w pracy algorytm postępowania przy praktycznym zastosowaniu zaproponowanej metody, można z powodzeniem rozwinąć do opracowania systemu ekspertowego wytyczając mapę drogową powyższych działań.

Analizując na podstawie przesłanej dokumentacji osiągnięcia naukowe **dr inż. Jacka Brzózko** zauważa się, że już od początku pracy zawodowej, dotyczą one badań, które skupiają się w zakresie możliwości pozyskiwania drewna z terenów nieuszkodzonych i uszkodzonych przez wiatr i śnieg ze szczególnym uwagą na poprawę wydajności maszyn, obniżenie kosztów ich pracy i niższego oddziaływania na środowisko.

#### **4. Ocena całego dorobku naukowego, badawczego, działalności dydaktycznej i organizacyjnej dr inż. Jacka Brzózko**

**Dr inż. Jacek Brzózko** jest autorem/współautorem 2 oryginalnych prac twórczych znajdujących się w bazie Journal Citation Reprts (publikacje w czasopiśmie Sylwan, jedna autorska, a druga współautorska), Habilitant jest autorem i współautorem 3 patentów krajowych oraz 2 wynalazków i wzorów użytkowych oraz 17 oryginalnych prac twórczych. Kierował i współuczestniczył w 2 projektach badawczych pozyskanych z NCN i NCBiR. Habilitant wygłosił 6 referatów na krajowych i międzynarodowych konferencjach.

- często używane słowo „wartość” lepiej stosować słowo „wielkość”, jest bardziej wskazane bo dotyczy to właściwości fizyczno-chemicznych,
- czasami spotyka się **drobne literówki** w pracy.

## 5. Podsumowanie opinii i wnioski końcowe

**Dr inż. Jacek Brzózka** wykazał się umiejętnością poprawnego sformułowania problemu badawczego, prowadzenia trudnego eksperymentu podczas badań własnych oraz poprawnej interpretacji uzyskanych wyników badań, co świadczy o Jego przygotowaniu do samodzielnej pracy naukowo badawczej. Uważam, że problem naukowy jak i cel pracy oraz zakres badań został osiągnięty.

Nadmieniam, że monografia naukowa jest napisana bardzo dobrze pod względem językowym, stylistycznym i edytorskim zgodnym z zasadami pisania prac naukowych o wysokiej jakości merytorycznej oraz walorów aplikacyjnych. Pod względem metodycznym praca nie budzi również zastrzeżeń. Przytoczone w niniejszej recenzji drobne krytyczne uwagi nie pomniejszają ogólnie pozytywnej oceny odnośnie wartości merytorycznej niniejszego opracowania.

W oparciu o dokumentację dołączoną do wniosku o nadanie **dr inż. Jackowi Brzózko** stopnia naukowego doktora habilitowanego stwierdzam, że Jego osiągnięcia naukowe pozwalają uznać Kandydata jako znanego specjalistę z zakresu maszynowego pozyskiwania drewna pokłeskowego. Jego liczne prace z tego zakresu pozwalają stwierdzić, że jest On znanym i uznanym specjalistą z uprawianej dyscypliny naukowej. Habilitant wykazał się dużą wiedzą teoretyczną z umiejętnością jej wykorzystania w badaniach eksperymentalnych oraz zdolnością syntetycznego myślenia, co w pełni wykorzystywał podczas realizacji badań. Dorobek Kandydata stanowi pewien wkład w rozwój dyscypliny naukowej jaką jest „Leśnictwo”, ze szczególnym ukierunkowaniem na gospodarkę leśną. Ponadto posiada pewne doświadczenia dydaktyczne, które doskonalił prowadząc szereg zajęć w uczelni.

Przeprowadzone w szerokim zakresie rozważania teoretyczne i eksperyment dostarczają bardzo dużo materiału badawczego do analizy i porównań. Należy nadmienić, że wyniki takich analiz są wyjątkowo trudne do jednoznacznych interpretacji i formułowania wniosków ogólnych o charakterze poznawczym. Stąd też wartość merytoryczną monografii naukowej jako całości oceniam pozytywnie.

**Reasumując jestem przekonany, że dokonania Kandydat zasługują na uznanie, co stanowi podstawę do rekomendowania dr inż. Jacka Brzózko do stopnia naukowego doktora habilitowanego, gdyż spełnił On wszelkie wymogi określone dla prac naukowych w rozumieniu Ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym” (Dz.U. Nr 84, poz. 455 z 2011 r.), dlatego wnioskuję o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie *Nauk leśnych* w dyscyplinie *Leśnictwo*, specjalność - *Użytkowanie lasu*.**

  
Prof. dr hab. inż. Wiesław Piekarski

## *Tekst do wpisu protokołu na komisji habilitacyjnej*

Przedstawiona przez dr inż. Jacka Brzóska metoda prognozowania wydajności maszynowego pozyskiwania drewna pokłeskowego na sporządzonej ze zdjęć lotniczych charakterystyki obszarów leśnych powierzchni uszkodzonej przez wiatr lub śnieg, pozwala z dobrym przybliżeniem określić wydajność pracy maszyn a co za tym idzie określić czas wykonania prac porządkowych na danym obszarze.

Do ważnych osiągnięć naukowych poszerzających znacznie zasób wiedzy z rozważanego zakresu było empiryczne określenie współczynników utrudnienia poszczególnych operacji dla terenów uszkodzonych przez wiatr. Stanowi to szczególnie wkład w rozwój wiedzy dotyczący możliwości określenia wielkości wydajności operacyjnej wysoce skomplikowanych maszyn leśnych, wykorzystywanych przy pozyskiwaniu drewna z różnych grup obszarów pokłeskowych.

Ponadto Autor zauważa, że jeszcze lepszym sposobem rozwiązania problemu może być zastosowanie do analizy obszaru pokłeskowego systemu skanowania trójwymiarowego (np. LIDAR). Połączenie tego rozwiązania z zaproponowaną metodą przez Autora może znacznie podnieść dokładność uzyskanych wyników, co pozwoli dokonywać analizy całego obszaru pokłeskowego bez konieczności wylaniania obszarów reprezentatywnych, jeszcze bardziej poprawiając dokładność.

Zaproponowany w monografii sposób opisu powierzchni pokłeskowej umożliwia za pomocą zintegrowanego wskaźnika macierzowego ( $\alpha$ ) scharakteryzować rodzaj uszkodzenia drzew występujących na danym obszarze jak i ich przestrzenne ułożenie. Opracowanie wskaźnika macierzowego jest pierwszą próbą syntetycznego opisu stanu powierzchni pokłeskowej dającą możliwość porównywania charakteru leśnych obszarów uszkodzonych przez wiatr i śnieg z dalszym jego rozszerzeniem po wprowadzeniu nowych danych empirycznych. Badania wykazały, że sformułowana hipoteza dotycząca wpływu cech drzewostanu uszkodzonego na wydajność pracy harwestera okazała się prawdziwa tylko częściowo. Badania potwierdziły tylko zależność wydajności pracy maszyny od rodzaju uszkodzenia drzew i ich procentowego obszaru leśnego. Dla wszystkich badanych grup uszkodzonych drzew uzyskano istotną statystycznie zależność całkowitego czasu cyklu pozyskiwania drewna od średnicy dolnej drzew.

