

## Uszkodzenia drzewostanu w zależności od metody pozyskiwania drewna ze zrywką ciągnikiem

Stand damage when harvesting timber using a tractor for extraction

Zbigniew Karaszewski<sup>1</sup>✉, Dieter F. Giefing<sup>2</sup>, Piotr S. Mederski<sup>2</sup>, Mariusz Bembenek<sup>2</sup>,  
Anita Dobek<sup>3</sup>, Anastasia Stergiadou<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instytut Technologii Drewna, Zakład Badania i Zastosowań Drewna, ul. Winiarska 1, 60–654 Poznań; <sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Użytkowania Lasu, ul. Wojska Polskiego 71a, 60–625 Poznań; <sup>3</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, ul. Wojska Polskiego 28, 60–625 Poznań; <sup>4</sup> Aristotle University of Thessaloniki, Institute of Mechanical Science and Topography, 54124, Thessaloniki

✉ Tel. +48 61 849 24 12; email z\_karaszewski@itd.poznan.pl

**Abstract.** Damage to the remaining stand is an unavoidable consequence of thinning operations. The different machines used for timber extraction differ in the level of damage of trees they cause, mainly through wounds to the bark and cambium which can make a substantial impact on the remaining trees. Three different methods of timber harvesting with a chainsaw were analysed: the short wood system (SWS), the long wood system (LWS) and the full tree system (FTS) in which an agricultural tractor is used for timber extracting. All systems were analysed in stands containing three different age classes: 2<sup>nd</sup> (21–40 years), 3<sup>rd</sup> (41–60 years) and 4<sup>th</sup> (61–80 years). The level of damage to the remaining stand was assessed considering the percentage of trees exhibiting wounds (scratched bark and/or damage to the cambium) to calculate an index of stand damage (WDI) which incorporated the volume of harvested timber per hectare. The SWS produced the lowest damage to trees in stands of all age classes: average 5%, with the less damage in the oldest stand. After using the LWS 9% of trees were wounded; in this method there was no statistical difference in frequency of wounding across all the analysed stands. The highest level of damage was incurred after the FTS, causing 11% of trees to be injured. In stands of the 2<sup>nd</sup> age class, the method of timber harvesting had no statistically significant effect on the amount of wounding endured. The WDI was lowest in SWS: 0.08, higher in LWS: 0.15 and the highest, 0.23, when FTS was applied.

**Key words:** tree damage, Scots pine stands, forest operations, timber harvesting methods, extraction by tractor

### 1. Wstęp

Nowoczesne technologie pozyskiwania drewna bazują na wykorzystaniu maszyn wielooperacyjnych, z całym wachlarzem ich zalet z zakresu ergonomii, ekonomii oraz ochrony środowiska leśnego. Aktualnie na terenie Polski według szacunków różnych autorów pracuje blisko 200 harwesterów (Skarżyński i Brzózko 2010), pozyskując prawie 4 mln m<sup>3</sup>. Obserwuje się znaczny wzrost liczby stosowanych maszyn zrywkowych nasiębiernych (forwarderów i przyczep agregowa-

nych z ciągnikami rolniczymi). W procesie technologicznym pozyskiwania drewna stosowanie tych maszyn nie wyklucza udziału pilarki (metoda z międzypolem), natomiast przyczynia się do zwiększenia wydajności i obniżenia kosztów (Mederski 2006). W warunkach krajowych do zrywki drewna sosnowego najczęściej wykorzystywany jest ciągnik rolniczy, którego możliwości użycia do prac leśnych zwiększane są poprzez agregowanie z procesorami (Athanassiadis 1997; Stańczykiewicz et al. 2011) lub z przyczepami nasiębiernymi do zrywki drewna. W prezentowanych badaniach ciąg-

nik rolniczy wykorzystywany był zarówno do wykonywania zrywki wleczonej dla procesów opartych na metodzie drewna długiego i metodzie całego drzewa, jak również do zrywki nasiębiernej w metodzie drewna krótkiego z dołączonym do ciągnika wózkiem zrywkowym.

Przyjęto hipotezę, iż w drzewostanach trzebieżowych istotny dla powstawania uszkodzeń pozostających drzew jest rozmiar zrywanego surowca drzewnego – im dłuższe sortymenty i szerszy ładunek, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń. Dotyczy to szczególnie sytuacji gdy zrywane drewno należy przemieszczać w gęstym drzewostanie wykonując znaczną liczbę skrętów.

## 2. Materiał i metody

Badania przeprowadzono na terenie RDLP Toruń, w Nadleśnictwie Zamrzenia, Leśnictwie Lnianek w drzewostanach sosnowych II, III i IV klasy wieku, wykonując w nich zabiegi pielęgnacyjne trzebieży wczesnej (II klasa wieku) i późnej (III i IV klasy wieku).

Na wszystkich powierzchniach próbnych prowadzono pozyskiwanie drewna z zastosowaniem technologii ręczno-maszynowych ze zrywką ciągnikiem w trzech wariantach:

1) metoda drewna krótkiego:

1. faza: ścinka drzew pilarką, korowanie pniaków, okrzesywanie siekierą, w starszych klasach pilarką spalinową, wyrzynka pilarką przy pniu,

2. faza: zrywka nasiębierna ciągnikiem rolniczym Ursus C-360 z przyczepą, układanie stosów przy drodze wywozowej;

2) metoda drewna długiego:

1. faza: ścinka drzew pilarką spalinową, korowanie pniaków, okrzesywanie pilarką spalinową,

2. faza: zrywka ciągnikiem rolniczym całych dłużyc Ursus C-360 – wleczenie, wyrzynka, układanie stosów przy drodze wywozowej;

3) metoda całego drzewa:

1. faza: ścinka drzew pilarką spalinową, korowanie pniaków,

2. faza: zrywka strzał z koronami ciągnikiem rolniczym – wleczenie,

3. faza: okrzesywanie i wyrzynka pilarką spalinową oraz układanie stosów przy drodze wywozowej.

Przy opracowywaniu założeń metodycznych umożliwiających ocenę uszkodzeń drzew wykorzystano dotychczasowe doświadczenia badawcze Katedry Użytkowania Lasu UP w Poznaniu oraz amerykańskie koncepcje prowadzenia badań z tego zakresu (Meyer et al. 1966). Do badań wyznaczono powierzchnie próbne o boku 50×50 m (0,25 ha). Pozyskiwanie drewna prowadzono na nieco większych działkach roboczych, w

skład których wchodziły powierzchnie próbne otoczone kilkumetrową otuliną, zapobiegającą zniekształceniu wyników badań przez technologie realizowane na sąsiednich powierzchniach. Szlaki zrywkowe o szerokości 4 m wyznaczono w odstępach co 30–35 m. Przebiegały one przez środek powierzchni próbnych i pomiędzy działkami roboczymi. Przeprowadzono ocenę stanu drzewostanu przed i po wykonaniu cięć. Określono liczbę uszkodzonych i zniszczonych drzew z uwzględnieniem miejsca uszkodzenia oraz głębokości rany (otarcia kory, uszkodzenia łyka, uszkodzenia drewna). Uszkodzenia zaszeregowano do odpowiednich klas (tab. 1), co umożliwiło wyliczenie procentowego udziału drzew uszkodzonych oraz ważonego współczynnika uszkodzenia drzewostanu ( $W$ ):

$$W = \frac{\sum_{R=1}^9 I \times R}{N}$$

gdzie  $I$  oznacza liczbę drzew uszkodzonych na powierzchni próbnej,  $R$  – klasę uszkodzenia drzew, a  $N$  – całkowitą liczbę drzew na powierzchni próbnej po przeprowadzonym zabiegu.

W sytuacji, gdy na jednym drzewie występowało więcej niż jedno uszkodzenie, pod uwagę brano to najbardziej uciążliwe. W celu uwzględnienia miąższości pozyskanego surowca w analizie zaobserwowanych uszkodzeń drzew wyznaczono zaproponowany przez Meyera et al. (1966), a upowszechniony w Polsce przez Sosnowskiego (1999) ważony wskaźnik uszkodzeń drzew w pozostającym drzewostanie ( $WDI$ ):

$$WDI = \frac{\sum_{R=1}^9 I \times R}{N \times C} \times 1000$$

gdzie  $I$  oznacza liczbę uszkodzonych drzew na 0,25 ha pozostawionego drzewostanu w danej klasie uszkodzenia,  $R$  jest wartością liczbową numeru klasy uszkodzenia,  $N$  oznacza liczbę drzew na 0,25 ha powierzchni pozostawionego drzewostanu, a  $C$  liczbę m<sup>3</sup> drewna zerwanego z drzewostanu o pow. 0,25 ha.

Dla ważonego współczynnika uszkodzenia drzewostanu oraz ważonego wskaźnika uszkodzeń drzew pozostających w drzewostanie wyliczono odchylenie standardowe dla poszczególnych metod pozyskiwania drewna.

Za pomocą testu chi-kwadrat porównano częstość występowania uszkodzeń przy zastosowaniu różnych metod pozyskiwania drewna. Tym samym testem posłużono się do zbadania różnic częstości drzew uszkodzonych przy zastosowaniu tej samej metody pozyskania drewna w drzewostanach różnych klas wieku.

**Tabela 1. Klasy uszkodzeń drzew**

Table 1. Tree damage classes

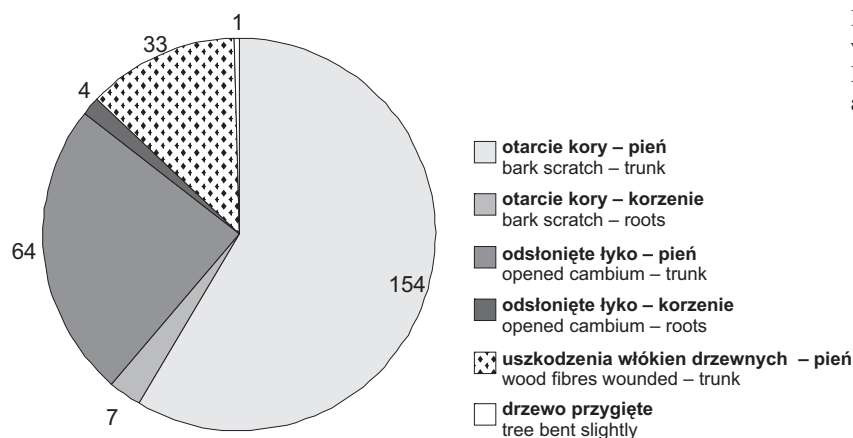
Klasa uszkodzenia Damage class	Miejsce uszkodzenia Damaged part of tree	Rodzaj uszkodzenia Damage type	
1	kora bark	pień lub szyja korzeniowa trunk or root neck	otarcia kory bark scratch
2	kora bark	korzenie roots	otarcia kory bark scratch
3	łyko cambium	pień lub szyja korzeniowa trunk or root neck	zdartą kora, odsłonięte lub uszkodzone łyko scratched bark, opened or damaged cambium
4	łyko cambium	korzenie roots	zdartą kora, odsłonięte lub uszkodzone łyko scratched bark, opened or damaged cambium
5	drewno wood	pień lub szyja korzeniowa trunk or root neck	uszkodzenia włókien drewna wood fibres wounded
6	drewno wood	korzenie roots	uszkodzenia włókien drewna wood fibres wounded
7	drzewo tree	przygięte bent	widoczne przygięcie drzewa z dużą szansą dalszego rozwoju slightly bent tree with opportunity for further growth
8	drzewo tree	silnie przygięte bent significantly	znaczne przygięcie drzewa z niewielką szansą dalszego rozwoju tree bent significantly with small chance for good development
9	drzewo tree	zniszczone damaged	złamane lub wyrwane broken or pulled-off

### 3. Wyniki

We wszystkich badanych procesach technologicznych w drzewostanach wszystkich klas wieku obserwowano uszkodzenia drzew. Uszkodzenia powstawały na wszystkich częściach drzew. W trakcie realizacji badań obserwowano zranienia w koronach, na pniach i korzeniach pozostających drzew (ryc. 1). W obrębie korony stwierdzono złamania konarów i cieńszych gałęzi. Odnotowano również przypadek zniszczenia drzewa w IV klasie wieku poprzez jego silne przygięcie.

Częstymi uszkodzeniami były rany powstałe na pniach drzew. Aż 58,6% wszystkich uszkodzeń zaliczono do otarcia kory pnia. Stosunkowo dużo, bo 24,3%, stanowią odsłonięcia łyka na pniach drzew. Zaobserwowano również uszkodzenia korzeni, które podobnie, jak uszkodzenia na poboczniczy pnia, różnią się głębokością rany.

Głębokość rany ma decydujące znaczenie dla dalszego rokowania uszkodzonego drzewa, przy czym głębokie odsłonięcie włókien drzewnych przyczynia się do powstawania dużego ryzyka wniknięcia patogenicznych grzybów. W prezentowanych badaniach 33 razy doszło



**Rycina 1. Liczba uszkodzeń drzew we wszystkich badanych drzewostanach**

Figure 1. Number of trees with damage in all analysed stands

**Tabela 2. Uszkodzenia drzew podczas analizowanych procesów technologicznych**

Table 2. Tree damage in analysed forest operations

Klasa wieku drzewostanu Age class of stand	Charakterystyki uszkodzeń Damage characteristics	Pozyskiwanie drewna: Method of timber harvesting				p ( $\chi^2$ )
		krótkiego SWS	długiego LWS	całego drzewa FTS	średnia mean	
II	<b>Liczba drzew z uszkodzeniami</b> Number of trees with damage	40	61	59	53,3	0,119
	<b>Liczba drzew pozostających (wraz z uszkodzonymi)</b> Number of remaining trees (including trees with damage)	602	636	626	621,3	-
	<b>Drzewa z uszkodzeniami w stosunku do liczby drzew pozostających (%)</b> Ratio of trees with damage to number of remaining trees (%)	6,6	9,6	9,4	8,6	-
III	<b>Liczba drzew z uszkodzeniami</b> Number of trees with damage	14	29	34	25,7	0
	<b>Liczba drzew pozostających (wraz z uszkodzonymi)</b> Number of remaining trees (including trees with damage)	472	373	265	370	-
	<b>Drzewa z uszkodzeniami w stosunku do liczby drzew pozostających (%)</b> Ratio of trees with damage to number of remaining trees (%)	3,0	7,8	12,8	7,9	-
IV	<b>Liczba drzew z uszkodzeniami</b> Number of trees with damage	2	6	18	8,7	0
	<b>Liczba drzew pozostających (wraz z uszkodzonymi)</b> Number of remaining trees (including trees with damage)	108	103	97	102,7	-
	<b>Drzewa z uszkodzeniami w stosunku do liczby drzew pozostających (%)</b> Ratio of trees with damage to number of remaining trees (%)	1,9	5,8	18,6	8,7	-
	p ( $\chi^2$ )	0,001	0,322	0,004	-	
<b>Łącznie</b> All stands	<b>Liczba drzew z uszkodzeniami</b> Number of trees with damage	56	96	111	87,7	
	<b>Łączna liczba drzew pozostających</b> All remaining trees	1182	1112	988	1094	
	<b>Drzewa z uszkodzeniami w stosunku do liczby drzew pozostających (%)</b> Ratio of trees with damage to number of remaining trees (%)	4,7	8,6	11,2	8,2	

**Tabela 3. Współczynnik uszkodzenia drzewostanu  $W$  i wskaźnik uszkodzeń drzew  $WDI$  przy pozyskaniu drewna analizowanymi metodami**Table 3. Weighted stand damage coefficient  $W$  and weighted stand damage index  $WDI$  values after different methods of timber harvesting

Współczynnik Coefficient	Pozyskiwanie drewna: Method of timber harvesting		
	krótkiego SWS	długiego LWS	całego drzewa FTS
<b><math>W \pm</math> odchylenie stand.</b> $W \pm$ std deviation	0,08±0,06	0,15±0,08	0,23±0,03
<b><math>WDI \pm</math> odchylenie stand.</b> $WDI \pm$ std deviation	8,91±4,82	22,28±1,64	41,41±37,22

do uszkodzenia włókien drzewnych pnia, co stanowi 12,5% wszystkich obserwacji.

Mimo, że trzebież wykonana w drzewostanach III klasy wieku odznacza się największą intensywnością, to najwięcej uszkodzeń drzew zaobserwowano w najmłodszej badanej klasie wieku. Wraz ze zmniejszeniem liczby drzew rosnących na powierzchniach próbnych następuje zmniejszanie liczby uszkodzonych drzew (tab. 2). W II klasie wieku, przy 621 drzewach pozostających na powierzchni próbnej, w trzech badanych procesach technologicznych doszło do uszkodzenia średnio dla klasy wieku 53 razy. Znacznie mniej drzew zostało uszkodzonych w drzewostanach III klasy wieku, gdzie przy 370 drzewach pozostających doszło do uszkodzeń o różnym charakterze niespełna 26 razy. Najmniej uszkodzeń odnotowano po procesach technologicznych w najstarszej (z badanych) klasie wieku – średnio niespełna 9 uszkodzeń przy 103 drzewach pozostających na powierzchniach próbnych.

Oceniono procent drzew uszkodzonych przy pozyskaniu drewna poszczególnymi metodami w stosunku do liczby drzew pozostających na powierzchniach, na których prowadzono pozyskanie i zrywkę drewna. Najmniejszy udział uszkodzeń był w przypadku pozyskania metodą drewna krótkiego. Udział uszkodzeń przy metodzie drewna długiego wyniósł 8,6%, a zatem był zbliżony do średniej dla wszystkich trzech metod, wynoszącej 8,2%. Pozyskanie metodą całych drzew przyczyniło się do uszkodzenia drzew w największym stopniu, bo aż 11,2% wszystkich pozostających drzew było uszkodzonych.

Zamieszczone w tabeli 2 prawdopodobieństwa uszkodzenia drzew wskazują na wysoce istotne różnice między tymi wielkościami w trzeciej i czwartej klasie wieku ( $p < 0,01$ ). Nie stwierdzono natomiast różnic między częstościami uszkodzeń w drugiej klasie wieku ( $p = 0,119$ ). Uzyskane wartości prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń przy zastosowaniu tej samej metody, lecz w różnych klasach wiekowych wskazują na wysoce istotne różnice w wypadku stosowania metody drewna krótkiego i całego drzewa,  $p = 0,001$  i  $p = 0,004$  odpowiednio. Nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy między uszkodzeniem drzew w poszczególnych klasach wieku w wypadku stosowania metody drewna długiego ( $p = 0,322$ ).

Wpływ testowanych metod pozyskiwania drewna przy zastosowaniu do zrywki ciągnika rolniczego został wyrażony w postaci ważonego współczynnika uszkodzenia drzewostanu  $W$ . Im wyższa wartość  $W$ , tym silniejszy jest negatywny wpływ danej metody. Najniższe wartości współczynnika  $W$  były w przypadku metody drewna krótkiego ( $W = 0,08$ ), średnie przy metodzie drewna długiego ( $W = 0,15$ ), a najwyższe –  $W = 0,23$ , przy metodzie całego drzewa (tab. 3).

Podobnie jest w przypadku wskaźnika uszkodzeń drzew w pozostającym drzewostanie  $WDI$ , gdyż dzięki uwzględnieniu w nim pozyskanej miąższości możliwa jest weryfikacja zastosowanych procesów technologicznych i intensywności przeprowadzonych zabiegów pielęgnacyjnych – trzebieży wczesnej i późnej (tab. 3). Drzewostany, choć równowiekowe i tworzące jedno wydzielenie, są niejednokrotnie zróżnicowane pod kątem zadrzewienia i potrzeb pielęgnacyjnych. Stąd w pewnych partiach drzewostanu konieczne są silniejsze cięcia niż w partiach pozostałych.

Wartości  $WDI$  kształtują się na zmiennym poziomie w zależności od zastosowanych metod pozyskiwania drewna. W badanych trzech klasach wieku negatywny wpływ metody drewna krótkiego na pozostający drzewostan okazał się najmniejszy. Zastosowanie procesów technologicznych metody drewna długiego przyczyniło się do powstania szkód w drzewostanie na poziomie  $WDI = 22,28$ . Za najmniej korzystny, biorąc pod uwagę rodzaj uszkodzeń oraz rozmiar pozyskania drewna, uznano procesy pozyskiwania drewna metodą całych drzew. Wskaźnik  $WDI$  w tym przypadku wyniósł 41,41 i znacznie odbiegał od wartości  $WDI$  w pozostałych wariantach.

#### 4. Dyskusja

Porównywanie wyników badań dotyczących uszkodzeń drzew napotyka pewne trudności metodologiczne (Giefing 1995, 1999; Sowa et al. 2008). Istniejące szkoły klasyfikacji uszkodzeń drzew różnią się zarówno ze względu na rejestrację szkód na różnym poziomie (korzeń, szyja i pień oraz korona), jak i ze względu na ich uciążliwość oraz przyjęte współczynniki (Giefing 1997; Suwała 2000; Gil 1999, 2000; Karaszewski 2004; Stańczykiewicz 2011). Najmniej kłopotów przysparza porównywanie odsetka uszkodzonych drzew w pozostającym drzewostanie. U Zastockiego (2003 a, b), w drzewostanach przedrębnych, gdzie pozyskiwanie drewna odbywało się systemem sortymentowym (metodą drewna krótkiego), udział drzew uszkodzonych wyniósł średnio 11,8%, natomiast przy pozyskiwaniu drewna systemem całej strzały (metodą drewna długiego) udział drzew uszkodzonych wyniósł średnio 13,5%. Są to wartości znacznie wyższe od otrzymanych przez autorów niniejszej pracy (odpowiednio 4,7% dla metody drewna krótkiego i 8,6% dla metody drewna długiego). Natomiast Giefing (1994), badając uszkodzenia drzewostanu w II klasie wieku po zrywce wlezionej ciągnikiem rolniczym, stwierdził, że uszkodzeniu uległo jedynie 2,2% pozostających drzew. Przyczyny tych różnic mogą zależeć m.in. od: umiejętności pracowników, pory roku pozyskiwania surowca drzewnego, a także wyposażenia

środków zrywkowych. Na różnice otrzymywanych wyników badań z zakresu uszkodzeń drzewostanu oraz uszkodzeń odnowień wskazują Sowa i Stańczykiewicz (2007), podsumowując 10-letni okres badań przeprowadzonych w różnych ośrodkach naukowych. Autorzy ci podają, że poziom uszkodzeń powstałych na drzewach oscylował w granicach od 0,8 do ponad 85,0%.

Z dostępnych wyników badań wynika, że istotnym czynnikiem wpływającym na stopień uszkodzenia drzewostanu jest m.in. długość wyrabianych sortymentów. Według Erlera (2005) średni stosunek uszkodzeń przy pozyskaniu drewna krótkiego, drewna kłodowanego (długości do 2,5 m) i całej strzały wynosi odpowiednio jak 1 : 2 : 5. Oznacza to, że dla drzewostanu korzystniejsze są takie warianty pozyskiwania, w których wyróbka drewna jest wykonana na miejscu i to w jak najkrótszych sortymentach (Erler 2005). Również w niniejszych badaniach najmniejsze uszkodzenia (4,7%) obserwowano w metodzie drewna krótkiego. Przyjmując ten poziom uszkodzeń za 1, dla metody drewna długiego uzyskano 2 (8,6%), a dla metody całego drzewa 2,5 (11,2%). Także w badaniach Stańczykiewicza (2003) uszkodzenia drzew metodą sortymentowej (drewna krótkiego) są mniejsze niż metodą drewna długiego.

Wyniki te są zgodne ze zdaniem większości naukowców. Paschalis (1999) ocenia metodę drewna długiego jako praktycznie niezalecaną za względu na ochronę środowiska leśnego, natomiast system sortymentowy za zapewniający największą ochronę ekosystemów leśnych. Suwała (1996) postulował stopniowo eliminować zrywkę wleczoną i półpodwieszoną za pomocą ciągników. Również badania Grodeckiego i Stempskiego (2005) potwierdziły, że najwięcej drzew jest uszkodzanych w wariantach ze zrywką wleczoną, zwłaszcza w wariantach ze zrywką ciągnikiem rolniczym bez udostępniania drzewostanu sieci szlaków gospodarczych.

Metoda całego drzewa okazała się metodą przyczyniającą się do powstawania największych zakłóceń w pozostającym drzewostanie. Metoda ta jest najbardziej niekorzystna nie tylko ze względu na wymogi ochrony środowiska, a również ze względu na koszty pozyskiwania drewna (Porter 1998). Jest to zgodne z stanowiskiem Barzdajna i in. (1997), że mniej cenne drewno i odpady należy pozostawiać w lesie w stanie możliwie niezmiennym, o ile nie kłóci się to z postulatami ochrony lasu. Podobną opinię na temat metody całych drzew wypowiedzieli Pilarek i in. (2005).

W badaniach przedstawionych w niniejszej publikacji otrzymano interesujące wyniki analizy statystycznej:

Nie stwierdzono różnic częstości uszkodzeń w drzewostanach II klasy wieku niezależnie od zastosowanych metod pozyskiwania drewna.

Nie stwierdzono istotnych różnic częstości uszkodzeń w drzewostanach poszczególnych klas wieku w przypadku metody drewna długiego.

W pierwszym przypadku, w drzewostanach II klasy wieku, zagęszczenie drzew było tak duże, iż niezależnie od długości sortymentów dochodziło do licznych kontaktów wyrabianych i zrywanych sortymentów z drzewami pozostającymi. Ponadto drzewostan był jeszcze we wczesnej fazie rozwoju, wobec czego pozyskiwane drzewa miały znacznie mniejsze rozmiary, niż w starszych klasach wieku (III i IV klasy), a więc różnice długości sortymentów krótkich i długich były mniejsze. Niezależnie od zastosowanej metody pozyskiwania drewna w drzewostanach najmłodszej klasy wieku obserwowano zbliżony poziom uszkodzeń (8,6%).

W drugim przypadku również decydującym czynnikiem było zagęszczenie drzew w drzewostanie pozostającym. Należy nadmienić, że zjawisko to (brak różnic częstości uszkodzeń w drzewostanach różnych klas wieku) miało miejsce, mimo iż sortymenty długie w drzewostanach IV klasy wieku były około dwa razy dłuższe niż sortymenty długie w drzewostanach II klasy wieku. Zastosowanie metody drewna długiego w drzewostanach różnych klas wieku powodowało uszkodzenia na zbliżonym poziomie (8,6%).

W pozostałych przypadkach stwierdzono różnice częstości uszkodzeń statystycznie istotne. Metoda drewna krótkiego była najbardziej korzystna w najstarszej, IV klasie wieku (przyczyniła się do powstania najmniejszej liczby uszkodzeń). Z kolei metoda całego drzewa wraz ze wzrostem wieku drzewostanu stawała się coraz bardziej uciążliwa. Wskazuje na to stosunek liczby drzew z uszkodzeniami do liczby drzew pozostających (tab. 2).

Wykorzystywanie do oceny wpływu danego procesu na środowisko leśne różnych współczynników ma zarówno pozytywną stronę, jak i negatywne następstwa. Wykorzystanie współczynników *W* i *WDI* pozwala na ocenę badanych technologii również w aspekcie uciążliwości powstałych zranień drzew, a także na uwzględnienie innych czynników, takich jak miąższość surowca pozyskanego z działek roboczych. W literaturze spotyka się natomiast jeszcze inne współczynniki uszkodzenia drzew, drzewostanu i odnowień (Stańczykiewicz 2003, 2006, 2011). Odmienna metodologia utrudnia porównywanie otrzymywanych wyników badań, pozwalając niejednokrotnie jedynie na obserwację trendów, w jakie układają się poszczególne procesy technologiczne. Autorzy przychylają się do konstatacji wyrażonej przez Sowę i Stańczykiewicza (2007), że niezbędne jest stworzenie uniwersalnej metodyki oceny uszkodzeń w środowisku leśnym wynikłych z pozyskania drewna.

## 5. Wnioski

Najmniejsze uszkodzenia drzewostanu we wszystkich klasach wieku obserwowano przy zastosowaniu metody drewna krótkiego. Jednocześnie w przypadku tej metody najmniejsza częstość uszkodzeń wystąpiła w najstarszej z badanych klas wieku.

Najmniejszy poziom uszkodzeń był przy stosowaniu metody drewna krótkiego, co obrazuje procent uszkodzonych drzew (5%), wartość współczynnika  $W = 0,08$  oraz wartość  $WDI = 8,91$ .

Zastosowanie metody drewna długiego spowodowało powstanie uszkodzeń w drzewostanach wszystkich analizowanych klasach wieku na zbliżonym poziomie (9%). Wartość współczynnika  $W$  przy metodzie drewna długiego była wyższa niż przy metodzie drewna krótkiego i wyniosła 0,15, a wartość  $WDI = 22,28$ .

Pozyskiwanie drewna metodą całego drzewa spowodowało najliczniejsze uszkodzenia pozostających drzew – 11%. Wartość współczynnika  $W$ , również najwyższa w metodzie całego drzewa i wynosząca 0,23 wskazuje na wyższy poziom uszkodzeń drzewostanu niż wskaźnik wyrażony procentowo. Wartość  $WDI$  dla omawianej metody wyniosła 41,41.

Analiza statystyczna wykazała brak wpływu metody pozyskiwania drewna na poziom uszkodzeń drzew w drugiej klasie wieku, natomiast wpływ stosowanych metod w drzewostanach trzeciej i czwartej klasy wieku.

Nie wykazano różnic statystycznie istotnych w poziomie uszkodzeń drzew w analizowanych klasach wieku przy zastosowaniu metody drewna długiego.

## Literatura

- Athanassiadis D. 1997. Residual stand damage following cut-to-length harvesting operations with a farm tractor in two conifer stands. *Silva Fennica*, 31(4): 461–67.
- Barzdajn W., Ceitel J., Zientarski J. 1997. Wyróżniki leśnictwa wykorzystującego i chroniącego przyrodę. *Sylwan*, 4: 119–127.
- Erler J. 2005. Was kostet die Rückegasse. *AFZ-der Wald*, 6: 297–301.
- Giefing D.F. 1990. Wpływ technologii pozyskiwania i transportu drewna w cięciach przedrębnych na szkody i jakość techniczną pozostających drzewostanów sosnowych, w: Reakcja ekosystemów leśnych i ich elementów składowych na antropopresję. Centralny Program Badań Podstawowych 04.10 Podprogram CPBP 04.10.07. Synteza II, 24: 77–85.
- Giefing D. F. 1994. Ciągniki rolnicze w procesie pozyskiwania drewna. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 10: 22–23.
- Giefing D. F. 1995. Wpływ pozyskiwania drewna w czyszczeniach późnych drzewostanów sosnowych na środowisko. Część 1. Uszkodzenia drzew. *Sylwan*, 6: 55–62.
- Giefing D. F. 1997: Untersuchungen von technologischen Prozessen der Holzgewinnung im Pflegehieb (Die methodologischen Fragen der Untersuchungen), w: *Technológia spracovania dreva a využitie dreva v komplexnom interiéri* (red. D. Horský). Zvolen, Technická Univerzita: 213–218.
- Giefing D. F. 1999. Kryteria oceny i doboru procesów technologicznych w leśnictwie, w: *Tendencje i problemy mechanizacji prac leśnych w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego* (red. H. Różański). Poznań, Prodruck: 17–24.
- Gil W. 1999. Problem wyboru środków do operacji pozyskaniowo-zrywkowych. *Sylwan*, 6: 47–60.
- Gil W. 2000. Naziemna zrywka drewna skiderami w ujęciu kodeksu praktyk pozyskaniowych. *Sylwan*, 1: 59–74.
- Grodecki J., Stempki W. 2005. Wpływ technologii na poziom uszkodzeń środowiska leśnego podczas pozyskiwania drewna z cięć trzebieżowych, w: *Użytkowanie lasu a trwałość i zrównoważony rozwój leśnictwa* (red. D.F. Giefing, M. Bembenek). Poznań, Akademia Rolnicza: 132–136.
- Karaszewski Z. 2004. Optymalizacja procesów technologicznych pozyskiwania sosny w cięciach przedrębnych pod kątem ochrony środowiska leśnego. Maszynopis. Katedra Użytkowania Lasu AR, Poznań.
- Mederski P.S. 2006. A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. *Forest Ecology and Management*, 224: 286–296.
- Meyer G., Ohman J.H., Oettel, R. 1966. Skidding hardwoods. Articulated rubber-tired skidders vs. crawler tractors. *Journal of Forestry*, 64: 194–196.
- Paschalis P. 1999. Wpływ technologii użytkowania lasu (trzebieży i cięć rębnych) na różnorodność biologiczną lasów produkcyjnych w Polsce, w: *Ocena wpływu praktyki leśnej na różnorodność biologiczną w lasach w Europie Środkowej* (red. K. Rykowski, G. Matuszewski, E. Lenart). Studium w zakresie polskiej Ustawy o lasach i innych przepisów prawnych. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa: 137–155.
- Pilarek Z., Gornowicz R., Gałazka S. 2005. Badania nad sposobami utylizacji pozostałości pozrębowych w drzewostanach sosnowych, w: *Użytkowanie lasu a trwałość i zrównoważony rozwój leśnictwa* (red. D.F. Giefing, M. Bembenek). Poznań, Akademia Rolnicza: 84–85.
- Porter B. 1998. Pozyskanie i zrywka drewna wobec zrównoważonej, wielofunkcyjnej gospodarki leśnej, w: *Użytkowanie lasu i problemy regulacji użytkowania lasu w Polsce* (red. P. Paschalis). Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”: 64–67.
- Skarżyński, J., Brzózko, J. 2010. Harwestery do pozyskiwania drewna stosowane w polskich lasach. Cz. 1. Charakterystyka ogólna – nośniki. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 6. [http://www.pimr.poznan.pl/trol6\\_2010/JSJB6\\_2010.pdf](http://www.pimr.poznan.pl/trol6_2010/JSJB6_2010.pdf) [23.05.2012].
- Sosnowski J. 1999. Problem oceny szkód wyrządzanych przy zrywce drewna. *Sylwan*, 7: 33–43.
- Sowa J.M., Stańczykiewicz A. 2007. Uszkodzenia drzew i odnowienia przy pozyskaniu i zrywce drewna ciągnikami rolniczymi, w: *Technika i technologia w leśnictwie polskim* (red. W. Zychowicz, M. Aniszewska, K. Wójcik). Warszawa, Wydawnictwo SGGW: 89–94.

- Sowa J.M., Kulak D., Leszczyński K., Stańczykiewicz A., Szewczyk G. 2008. The level of environmental damage from timber harvesting depending on skidding methods, w: 41<sup>st</sup> International Symposium on Forestry Mechanization. Formec 2008 (ed. KWF). Schmallenberg: 101–110.
- Stańczykiewicz A. 2003. Wpływ wybranych technologii pozyskiwania drewna na rodzaj i wielkość szkód w drzewostanie. Maszynopis. Katedra Użytkowania Lasu i Drewna AR, Kraków.
- Stańczykiewicz A. 2006. Poziom uszkodzeń odnowienia w wyniku stosowania ręczno-maszynowych technologii pozyskiwania drewna. *Acta Agraria et Silvustria. Series Silvustria*, 44: 91–116.
- Stańczykiewicz A., Sowa J.M., Szewczyk G. 2011. Uszkodzenia drzew i odnowienia w wyniku ręczno-maszynowego pozyskiwania drewna z wykorzystaniem urządzeń agregowanych z ciągnikami rolniczymi. *Sylwan*, 2: 129–137.
- Suwała M. 1996. Pozyskiwanie drewna metodą sortymentową. *Prace Instytutu Badawczego Lesnictwa, Seria B*, 30: 63–76.
- Suwała M. 2000. Próba syntetycznej oceny uszkodzeń drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna na przykładzie późnych trzebieży drzewostanów sosnowych. *Sylwan*, 10: 29–38.
- Zastocki D. 2003a. Wpływ zastosowanych technologii pozyskiwania drewna przez Zakłady Usług Leśnych na obecną i przyszłą jakość techniczną drzewostanów przedrębnych. *Sylwan*, 3: 28–34.
- Zastocki D. 2003b. Wpływ stosowanych przez Zakłady Usług Leśnych środków zrywkowych na uszkodzenia gleby i pozostających drzew w sosnowych drzewostanach przedrębnych. *Sylwan*, 4: 53–58.

## Stand damage when harvesting timber using a tractor for extraction

Zbigniew Karaszewski<sup>✉</sup>, Dieter F. Giefing<sup>2</sup>, Piotr S. Mederski<sup>2</sup>, Mariusz Bembek<sup>2</sup>,  
Anita Dobek<sup>3</sup>, Anastasia Stergiadou<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Wood Technology Institute, Wood Science and Application Department, Winiarska 1, 60-654 Poznań, Poland; <sup>2</sup> Poznań University of Life Sciences, Department of Forest Utilisation, Wojska Polskiego 71a, 60 - 625 Poznań, Poland; <sup>3</sup> Poznań University of Life Sciences, Department of Mathematical and Statistical Methods, Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, Poland; <sup>4</sup> Aristotle University of Thessaloniki, Institute of Mechanical Science and Topography, 54124, Thessaloniki, Greece.

✉ Tel. +48 61 849 24 12; email z\_karaszewski@itd.poznan.pl

**Abstract.** Damage to the remaining stand is an unavoidable consequence of thinning operations. The different machines used for timber extraction differ in the level of damage of trees they cause, mainly through wounds to the bark and cambium which can make a substantial impact on the remaining trees. Three different methods of timber harvesting with a chainsaw were analyzed: the short wood system (SWS), the long wood system (LWS) and the full tree system (FTS) in which an agricultural tractor is used for timber extracting. All systems were analyzed in stands containing three different age classes: 2<sup>nd</sup> (21–40 years), 3<sup>rd</sup> (41–60 years) and 4<sup>th</sup> (61–80 years). The level of damage to the remaining stand was assessed considering the percentage of trees exhibiting wounds (scratched bark and/or damage to the cambium) to calculate an index of stand damage (WDI) which incorporated the volume of harvested timber per hectare. The SWS produced the lowest damage to trees in stands of all age classes: average 5%, with the less damage in the oldest stand. After using the LWS, 9% of trees were wounded; in this method there was no statistical difference in frequency of wounding across all the analyzed stands. The highest level of damage was incurred after the FTS, causing 11% of trees to be injured. In stands of the 2<sup>nd</sup> age class, the method of timber harvesting had no statistically significant effect on the amount of wounding endured. The WDI was lowest in SWS: 0.08, higher in LWS: 0.15 and the highest, 0.23, when FTS was applied.

**Key words:** tree damage, Scots pine stands, forest operations, timber harvesting methods, extraction by tractor

### 1. Introduction

Modern timber harvesting technologies are based on the use of multifunctional harvesting machines, with a number of advantages in the fields of ergonomics, economics and environmental protection of the forest. Various authors estimate that there are no more than 200 such machines currently operating in Poland (Skarżynski and Brzózko 2010), harvesting no more than about 4 million m<sup>3</sup> of wood. There has been a significant increase in the number of forwarding machines (forwarders with trailers attached to agricultural tractors) being used. In the process of machine harvesting,

chainsaws continue to be used (midfield method), helping to increase efficiency and reduce costs (Mederski 2006). In terms of pine tree harvesting in the country, the agricultural tractor is most commonly used, adapted to forestry work by aggregating various processors (Athanasiadis 1997; Stańczykiewicz et al. 2011) or self-loading trailers for extraction. In this study, the agricultural tractor was used to perform both skidding for processes based on the long wood system and full tree system, as well as for forwarding in the short wood system with a trailer attached to the tractor.

The hypothesis proposed is that the size of the harvested timber when thinning stands significantly affect

the amount of damage to the remaining trees – the longer and wider the assortments, the greater the probability of damage. This is especially true when the logged wood has to be transported by performing a large number of turns in dense tree stands.

## 2. Research subject

The study was conducted in the Toruń Regional Directorate of the State Forests National Forest Holding, the Zamrzenica Forest District and Lnianek Forest in pine stands of 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> age classes while performing early (II age class) and late (III and IV age classes) thinning.

Logging was carried out in all study plots using manual-machine technology with tractor extraction using the following three methods:

1) short wood system:

phase: chainsaw tree felling, stump debarking, delimiting with an axe, or a chainsaw in older age classes, bucking stems at the stump with a chainsaw,

phase: forwarding with an Ursus C-360 agricultural tractor and trailer, stacking log piles at road side;

2) long wood system:

phase: chainsaw tree felling, stump debarking, delimiting with a chainsaw,

phase: whole log hauling using the Ursus C-360 agricultural tractor - hauling, bucking, stacking log piles at road side;

3) full tree system:

phase: chainsaw tree felling, stump debarking,

phase: skidding the trees using an agricultural tractor,

phase: delimiting and bucking with a chainsaw, stacking at road side.

During the development of methods to assess damage to trees and soil, the experiences of researchers in the Department of Forest Utilisation of Poznań University of Life Sciences were used, as well as the American concepts of conducting research in this field (Meyeretal., 1966). Sample plots of 50 × 50 m (0.25 ha) were established. Logging was carried out in plots slightly larger than the study area, surrounded by a buffer zone of several meters to prevent the distortion of study results from the logging methods used in adjacent sites. Four meter wide skidding trails were located at 30-35 m intervals. They were laid out through the middle of the plots and between them. The stand was assessed before and after logging. The number of damaged and destroyed trees was specified, indicating the location of the damage and depth of the wounds (bark scratches, cambium damage and damage to wood fibers). The damage was categor-

ized according to the respective classes (tab. 1), which allowed the percentage of damaged trees and a weighted coefficient of tree damage ( $W$ ) to be calculated,

$$W = \frac{\sum_{R=1}^9 I \times R}{N},$$

where  $I$  is the number of damaged trees in the study plot,  $R$  the tree damage class, and  $N$  the total number of trees in the study plot after thinning.

When more than one damage class was identified on one tree, the more serious damage was recorded. In order to take into account the volume of harvested wood the weighted stand damage index (WDI) was calculated – as proposed by Meyeretal (1966), and popularized in Poland by Sosnowski (1999),

$$WDI = \frac{\sum_{R=1}^9 I \times R}{N \times C} \times 1000,$$

where  $I$  is the number of trees with damage in a given damage class in 0.25 hectares of the remaining tree stand,  $R$  is the numerical value of the damage class number,  $N$  is the number of remaining trees in 0.25 hectares, and  $C$  is the number of harvested wood from 0.25 ha area.

The standard deviation was calculated for each logging method for the weighted coefficient of tree damage and the weighted index of damage to the remaining trees in the stand.

Using the Chi-square test, the frequency of damage observed among the different logging methods was compared. The same test was used to compare the differences in the frequency of damaged wood using the same logging method in stands of different age classes.

## 3. Results

Damaged trees were observed for all logging methods and in all age classes. Damage occurred on all parts of the trees. During the study, damage was observed in the tree crowns, on trunks, and the roots of the remaining trees (fig. 1). Broken limbs and smaller branches were damaged in tree crowns. One tree in IV age class was damaged due to having been significantly bent.

Tree trunks were found to be frequently damaged. As many as 58.6% of all the damage was due to bark scratches on the trunk. A relatively frequent type of

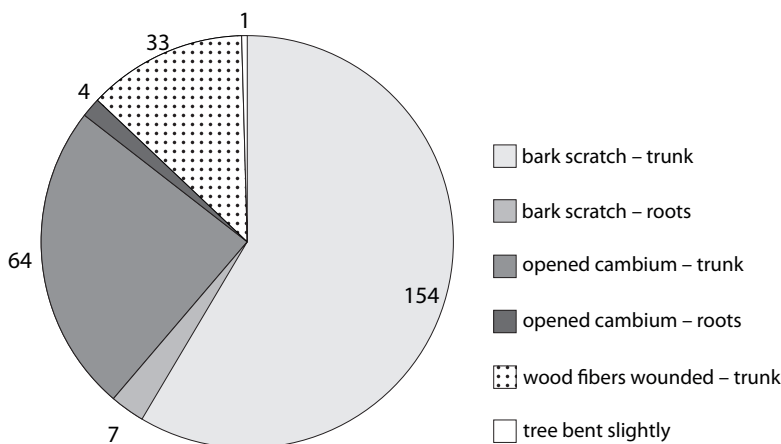
**Table 1.** Tree damage classes

Damage class	Damaged part of tree		Damage type
1	bark	Trunk or root neck	bark scratch
2	bark	roots	bark scratch
3	cambium	Trunk or root neck	scratched bark, opened or damaged cambium
4	cambium	roots	scratched bark, opened or damaged cambium
5	wood	Trunk or root neck	wood fibers wounded
6	wood	roots	wood fibers wounded
7	tree	bent	slightly bent tree with opportunity for further growth
8	tree	bent significantly	tree bent significantly with little chance of good development
9	tree	damaged	broken or pulled-off

damage, with 24.3% of occurrences, was the open cambium on tree trunks. Roots were also observed to be damaged, with wounds of varying depths, which were also noted on the stem surface.

The depth of a wound is critical for predicting the prognosis of the damaged trees because the extensive exposure of wood fiber contributes to a high risk of infection by pathogenic fungi. In this study, the wood fibers of tree trunks were damaged 33 times, representing 12.5% of all observations.

Although the most intensive thinning occurred in III age class stands, most tree damage was observed in the youngest age class stands studied. As the number of trees growing in a test plot decreases, so does the number of damaged trees (tab. 2). In II age class plots, with 621 trees remaining in the test sites, trees were damaged on average 53 times for all three studied harvesting systems. Significantly fewer trees were damaged in III class age stands, where with 370 trees remaining, damage was sustained approx. 26 times. The least amount of



**Figure 1.** Number of trees with damage in all analyzed stands

**Table 2.** Tree damage in the analyzed forest operations

Age class of stand	Damage characteristics	Method of timber harvesting				p ( $\chi^2$ )
		SWS	LWS	FTS	mean	
II	Number of trees with damage	40	61	59	53,3	0,119
	Number of remaining trees (including trees with damage)	602	636	626	621,3	-
	Ratio of trees with damage to number of remaining trees (%)	6,6	9,6	9,4	8,6	-
III	Number of trees with damage	14	29	34	25,7	0
	Number of remaining trees (including trees with damage)	472	373	265	370	-
	Ratio of trees with damage to number of remaining trees (%)	3,0	7,8	12,8	7,9	-
IV	Number of trees with damage	2	6	18	8,7	0
	Number of remaining trees (including trees with damage)	108	103	97	102,7	-
	Ratio of trees with damage to number of remaining trees (%)	1,9	5,8	18,6	8,7	-
	p ( $\chi^2$ )	0,001	0,322	0,004	-	
All stands	Number of trees with damage	56	96	111	87,7	
	All remaining trees	1182	1112	988	1094	
	Ratio of trees with damage to number of remaining trees (%)	4,7	8,6	11,2	8,2	

**Table 3.** Weighted stand damage coefficient  $W$  and weighted stand damage index  $WDI$  values after using different methods of timber harvesting

Coefficient	Method of timber harvesting		
	SWS	LWS	FTS
W $\pm$ std deviation	0,08 $\pm$ 0,06	0,15 $\pm$ 0,08	0,23 $\pm$ 0,03
WDI $\pm$ std deviation	8,91 $\pm$ 4,82	22,28 $\pm$ 1,64	41,41 $\pm$ 37,22

damage noted after harvesting was in the oldest studied age class, with an average of less than 9 times with 103 trees remaining in the study plots.

The percentage of damaged trees by harvesting system was assessed in relation to the number of trees remaining in the study plots after harvesting and extracting. The smallest proportion of damage occurred with the short wood system. The share of damage with the long wood system was 8.6% and, therefore, was similar to the average of 8.2% for all three methods. The full tree system caused the greatest damage, with as many as 11.2% of all remaining trees sustaining damage.

The probability of causing damage presented in table 2 indicates a highly significant difference between the values obtained for III and IV age classes ( $p < 0.01$ ). There were no differences found between the frequencies of damage for II age class ( $p = 0.119$ ). The values obtained with regard to the probability of damage occurring while using the same harvesting system but in different age class stands indicates a highly significant difference in the case of using the short wood system and full tree system:  $p = 0.001$  and  $p = 0.004$ , respectively. However, no significant difference was found in the frequency of tree damage among different age classes when using the long wood system ( $p = 0.322$ ).

The effect of the harvesting systems tested while using an agricultural tractor for skidding was expressed by a weighted coefficient of tree damage  $W$ . The higher the value of  $W$ , the stronger the negative effect of the system. The lowest coefficient values  $W$  were for the short wood system ( $W = 0.08$ ), medium values for the long wood system ( $W = 0.15$ ), and the highest ( $W = 0.23$ ) for the full tree system (tab. 3).

Similar results were found in the case of the index of tree damage to the remaining trees in the stand ( $WDI$ ), where the harvesting system and intensity of maintenance activities - early and late thinning - can be verified because the formula takes the harvested volume into account (tab. 3). Even though tree stands may be of equal age and form one division, they often differ in terms of stand density and tending needs. For this reason, more intensive cutting may be needed in some parts of the stand than in others.

$WDI$  values vary depending on the logging methods used. In all three tree stand age classes, the short wood system had the smallest negative effect on the remaining trees. The long wood system resulted in tree stand damage at a  $WDI$  level of 22.28. The full tree method caused the most damage in terms of wounds and the amount of wood obtained. The  $WDI$  index in this case was 41.41, differing significantly from the values obtained with the remaining harvesting systems.

## 4. Discussion

Comparing the results of tree damage presents some methodological difficulties (Giefing 1995, 1999; Sowa et al. 2008). The existing systems of classifying tree damage differ both in terms of registering damage on different areas of the tree (root, neck and trunk, and crown), as well as due to their cumbersome use and applied coefficients (Giefing 1997; Suwała 2000; Gil 1999, 2000; Karaszewski 2004, Stańczykiewicz 2011). The least difficult is to compare the percentage of damaged trees in the remaining stand. In Zastocki (2003 a, b), in uncut stands where the assortment system (using short wood) of logging takes place, the share of damaged trees was on average 11.8%, whereas the long wood system damaged an average of 13.5% of trees. These figures are significantly higher than those obtained by the authors of this study (4.7% for the short wood system and 8.6% for the long wood system). However, Giefing (1994), in examining II age class tree stand damage after skidding with an agricultural tractor, found that only 2.2% of the remaining trees were damaged. The reasons for these differences may depend on such factors as employers' skills, the season of the timber harvest, as well as the skidding equipment used. In their summary of 10 years of studies at different research centers, Sowa and Stańczykiewicz (2007) present a wide variety of results obtained on the extent of tree stand damage and damaged saplings. These authors report levels of tree damage varying from 0.8% to more than 85.0%.

The available research results show that an important factor influencing the degree of tree damage is the length of the harvested assortment. According to Erler (2005), the average ratio of damage for harvesting short wood, logs (up to 2.5 m) and the entire trunk is respectively 1: 2: 5. This means that it is better for the stands to process the wood on site and in the shortest possible assortments (Erler 2005). This study also showed the least damage (4.7%) occurring with the short wood system. Assuming this level of damage at 1, the long wood system achieved 2 (8.6%), and the full tree system 2.5 (11.2%). In Stańczykiewicz's study (2003), damage to trees using the assortment method (short wood) is also smaller than with the long wood system.

These results are consistent with the views of most scientists. Paschal (1999) assesses the long wood system as practically non-recommendable because of issues related to protection of the forest environment, whereas the assortment system offers the greatest protection to forest ecosystems. Suwała (1996) postulated the gradual elimination of dragging and skidding by tractors. The research of Grodecki and Stempski (2005) confirmed that most of the trees are damaged with the use of a trac-

tor for hauling, especially when an agricultural tractor is used in tree stands with no access to the network of logging roads.

The full tree method proved to contribute to the greatest amount of disturbance to the remaining stand. This method is the most disadvantageous not only because of environmental protection requirements, but also due to the cost of harvesting (Porter, 1998). This is consistent with the position of Barzdajna et al. (1997), who state that the less valuable wood and tree remains should be left in the forest according to forest protection requirements. A similar opinion on the full tree system was voiced by Pilarek and others (2005).

The statistical analysis of the research presented here produced interesting results:

No differences were obtained in the incidence of damage to II age class stands regardless of the logging system used.

No significant differences were found in the frequency of tree stand damage using the long wood system among the different age classes of stands.

In the first case, the tree density of II age class stands was so high that numerous collisions occurred between the harvested and extracted assortments and remaining trees, regardless of the logging system used. Additionally, the tree stand was still in the early stages of development, so that the harvested trees were much smaller in size than in the older age classes (classes III and IV), therefore the differences in the lengths of short and long assortments were smaller. Regardless of the logging system used, a similar level of damage was observed (8.6%) in the youngest age class stands.

In the latter case, tree density was also the decisive factor for the remaining trees in the stand. It should be noted that this phenomenon (lack of difference in the frequency of damage in stands of different age classes) occurred regardless of the fact that long assortments in IV age class tree stands were approx. two times longer than the long assortments in II age class stands. Using the long wood system in stands of different age classes caused damage at a similar level (8.6%).

In the remaining cases, statistically significant differences were found in the frequency of damage. The short wood system achieved the best results in the oldest IV age class (contributing to the smallest number of defects). Meanwhile, the full tree system caused progressively more damage with the increasing stand age. This is indicated by the ratio of the number of damaged trees to the number of remaining trees (tab. 2).

Using various factors to assess the impact of a given harvesting system on the forest environment has both positive and negative consequences. Using the  $W$  coefficient and  $WDI$  index allows us to assess the stud-

ied harvesting technologies also in terms of the damage resulting to trees, and to take other factors into account, such as the volume of wood obtained from the harvested stands. The literature, however, presents yet other factors for tree, tree stand, and sapling damage (Stańczykiewicz 2003, 2006, 2011). The different methodologies make it difficult to compare research results, often only allowing for the observation of trends exhibited by the different technological processes. We agree with the constative statement expressed by Sowa and Stańczykiewicz (2007), of the necessity to develop a universal methodology to assess the damage resulting from logging in the forest environment.

## 5. Conclusion

The smallest damage to tree stands in all age classes were observed when using the short wood system. At the same time, this method resulted in the lowest frequency of damage in the oldest age class studied.

The lowest level of damage occurred with the use of the short wood system, which is exhibited by the percentage of damaged trees (5%), the value of  $W = 0.08$  and the  $WDI$  value = 8.91.

Applying the long wood system caused a similar level of damage (9%) in all age class stands analyzed. The  $W$  coefficient with the long wood system was higher than the short wood system, resulting in a value of 0.15 and a  $WDI$  value of 22.28.

The full tree logging system caused the highest incidence of damage to the remaining trees: 11%. The value of the  $W$  coefficient, also the highest in the full tree system at 0.23, indicates a higher level of damage to trees than the rate expressed as a percentage. The  $WDI$  value for this method was 41.41.

The statistical analysis showed no effect of the harvesting system on the level of damage to trees in II age class, but the systems used had an impact on III and IV age class stands.

There were no statistically significant differences in the level of damage to trees in the age classes analyzed using the long wood system.

## References

- Athanassiadis D. 1997. Residual stand damage following cut-to-length harvesting operations with a farm tractor in two conifer stands. *Silva Fennica*, 31(4): 461-67.
- Barzdajn W., Ceitel J., Zientarski J. 1997. Wyróżniki leśnictwa wykorzystującego i chroniącego przyrodę. *Sylwan*, 4: 119-127.
- Erler J. 2005. Was kostet die Rückegasse. *AFZ-der Wald*, 6: 297-301.
- Giefing D.F. 1990. Wpływ technologii pozyskiwania i transportu drewna w cięciach przedrębnych na szkody i jakość techniczną pozostających drzewostanów sosnowych, w: Reakcja ekosystemów leśnych i ich elementów składowych na antropopresję. Centralny Program Badań Podstawowych 04.10 Podprogram CPBP 04.10.07. Synteza II, 24: 77-85.
- Giefing D. F. 1994. Ciągniki rolnicze w procesie pozyskiwania drewna. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 10: 22-23.
- Giefing D. F. 1995. Wpływ pozyskiwania drewna w czyszczeniach późnych drzewostanów sosnowych na środowisko. Część 1. Uszkodzenia drzew. *Sylwan*, 6: 55-62.
- Giefing D. F. 1997: Untersuchungen von technologischen Prozessen der Holzgewinnung im Pflegehieb (Diemethodologischen Fragen der Untersuchungen), in: Technologiaspracovaniadreva a využitiedreva v komplexnominterieri, (red. D. Horský). Technická Univerzita Zvolene, Zvolen: 213-218.
- Giefing D. F. 1999. Kryteria oceny i doboru procesów technologicznych w leśnictwie, in: Tendencje i problemy mechanizacji prac leśnych w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego (red. H. Różański). Poznań, Prodrak: 17-24.
- Gil W. 1999. Problem wyboru środków do operacji pozyskaniowo-zrywkowych. *Sylwan*, 6: 47-60.
- Gil W. 2000. Naziemna zrywka drewna skiderami w ujęciu kodeksu praktyk pozyskaniowych. *Sylwan*, 1: 59-74.
- Grodecki J., Stempki W. 2005. Wpływ technologii na poziom uszkodzeń środowiska leśnego podczas pozyskiwania drewna z cięć trzebieżowych, in: Użytkowanie lasu a trwałość i zrównoważony rozwój leśnictwa (red. D.F. Giefing, M. Bembenek). Poznań, Akademia Rolnicza: 132–136.
- Karaszewski Z. 2004. Optymalizacja procesów technologicznych pozyskiwania sosny w cięciach przedrębnych pod kątem ochrony środowiska leśnego. Maszynopis. KatedraUżytkowaniaLasu AR, Poznań.
- Mederski P.S. 2006. A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without mid-field. *Forest Ecology and Management*, 224: 286-296.
- Meyer G., Ohman J.H., Oettel, R. 1966. Skidding hardwoods. Articulated rubber-tyred skidders vs. crawler tractors. *Journal of Forestry*, 64: 194-196.
- Paschalis P. 1999. Wpływ technologii użytkowania lasu (trzebieży i cięć rębnych) na różnorodność biologiczną lasów produkcyjnych w Polsce, w: Ocena wpływu praktyki leśnej na różnorodność biologiczną w lasach w Europie Środkowej (red. K. Rykowski, G. Matuszewski, E. Lenart). Studium w zakresie polskiej Ustawy o lasach i innych przepisów prawnych. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa: 137-155.
- Pilarek Z., Gornowicz R., Gałązka S. 2005. Badania nad sposobami utylizacji pozostałości pozrębnych w drzewostanach sosnowych, in: Użytkowanie lasu a trwałość i zrównoważony rozwój leśnictwa (red. D.F. Giefing, M. Bembenek). Poznań, Akademia Rolnicza: 84-85.
- Porter B. 1998. Pozyskanie i zrywka drewna wobec zrównoważonej, wielofunkcyjnej gospodarki leśnej, in: Użytkowanie lasu i problemy regulacji użytkowania lasu w Polsce (red. P. Paschalis). Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”: 64-67.
- Skarżyński, J., Brzózko, J. 2010. Harwestery do pozyskiwania drewna stosowane w polskich lasach. Cz. 1. Charakterystyka ogólna – nośniki. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 6. [http://www.pimr.poznan.pl/trol6\\_2010/JSJB6\\_2010.pdf](http://www.pimr.poznan.pl/trol6_2010/JSJB6_2010.pdf) [23.05.2012].
- Sosnowski J. 1999. Problem oceny szkód wyrządzanych przy zrywce drewna. *Sylwan*, 7: 33-43.
- Sowa J.M., Stańczykiewicz A. 2007. Uszkodzenia drzew i odnowienia przy pozyskaniu i zrywce drewna ciągnikami rolniczymi, in: Technika i technologia w leśnictwie polskim (red. W. Zychowicz, M. Aniszewska, K. Wójcik). Warszawa, Wydawnictwo SGGW. Warszawa: 89-94.
- Sowa J.M., Kulak D., Leszczyński K., Stańczykiewicz A., Szewczyk G. 2008. The level of environmental damage from timber harvesting depending on skidding methods, in: 41<sup>st</sup> International Symposium on Forestry Mechanization. Formec 2008 (ed. KWF). Schmallenberg: 101-110.
- Stańczykiewicz A. 2003. Wpływ wybranych technologii pozyskiwania drewna na rodzaj i wielkość szkód w drzewostanie. Maszynopis. Katedra Użytkowania Lasu i Drewna AR, Kraków.
- Stańczykiewicz A. 2006. Poziom uszkodzeń odnowienia w wyniku stosowania ręczno-maszynowych technologii pozyskiwania drewna. *Acta Agraria et Silvestria. Series Silvestria*, 44: 91-116.
- Stańczykiewicz A., Sowa J.M., Szewczyk G. 2011. Uszkodzenia drzew i odnowienia w wyniku ręczno-maszynowego pozyskiwania drewna z wykorzystaniem urządzeń agregowanych z ciągnikami rolniczymi. *Sylwan*, 2: 129-137.
- Suwała M. 1996. Pozyskiwanie drewna metodą sortymentową. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria B*, 30: 63-76.
- Suwała M. 2000. Próba syntetycznej oceny uszkodzeń drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna na przykładzie późnych trzebieży drzewostanów sosnowych. *Sylwan*, 10: 29-38.
- Zastocki D. 2003a. Wpływ zastosowanych technologii pozyskiwania drewna przez Zakłady Usług Leśnych na obecną i przyszłą jakość techniczną drzewostanów przedrębnych. *Sylwan*, 3: 28-34.
- Zastocki D. 2003b. Wpływ stosowanych przez Zakłady Usług Leśnych środków zrywkowych na uszkodzenia gleby i pozostających drzew w sosnowych drzewostanach przedrębnych. *Sylwan*, 4: 53-58.