UNIWERSYTET PRZYRODNICZY W POZNANIU
WYDZIAŁ LEŚNY i TECHNOLOGII DREWNA

**Paweł Zioło**

# Uszkodzenia drzew przy pozyskiwaniu drewna w trzebieżach drzewostanów sosnowych w relacji do metod ich oceny

Damage to trees during harvesting in thinning of pine stands in relations to methods of their assessment

Autoreferat pracy doktorskiej wykonanej pod kierunkiem
prof. UPP dr. hab. Włodzimierza Stempskiego
w Katedrze Ekonomiki i Techniki Leśnej

POZNAŃ 2023

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP ... 3
2. HIPOTEZA BADAWCZA ... 5
3. CEL I ZAKRES BADAŃ ... 5
4. TEREN I METODY BADAŃ ... 6
4.1. Teren badań ... 6
4.2. Metody badań ... 10
4.2.1. Prace terenowe ... 11
4.2.2. Prace kameralne ... 11
5. WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ ... 14
5.1. Udziały drzew uszkodzonych, wskaźnik syntetycznej oceny uszkodzeń drzew ... 14
5.2. Udziały ran ... 16
5.3. Parametry ran ... 17
5.3.1. Liczba ran na jedno drzewo uszkodzone ... 17
5.3.2. Wysokość występowania ran ... 18
5.3.3. Powierzchnia ran ... 19
5.4. Zależność między metodą i kategorią wielkości uzyskanych wyników ... 20
6. DYSKUSJA ... 23
7. WNIOSKI ... 26
LITERATURA ... 28

# 1. WSTĘP

Postęp techniczny i technologiczny dokonujący się w gospodarce leśnej wywiera coraz większy wpływ na obraz obecnego leśnictwa. Dotyczy to w szczególności użytkowania lasu, gdzie dążenie do podnoszenia efektywności prac spowodowało stopniowe odejście od pił, siekier oraz koni w kierunku pilarek, ciągników rolniczych i wreszcie wysokowydajnych maszyn wielooperacyjnych i forwarderów, których udział przy pozyskiwaniu drewna sukcesywnie wzrasta (Mederski i in. 2016, Bodył 2022, Więsik 2022). W Polsce pierwsze samojezdne maszyny do pozyskiwania drewna użytkowano w latach 70 (Moskalik 2002). Pierwsze harwestery pojawiły się w 1987 roku, co dało początek w pełni zmechanizowanemu pozyskiwaniu surowca drzewnego. Z uwagi na duże koszty inwestycyjne, liczba tych maszyn rosła w kolejnych latach nieregularnie, co zmieniło się znacznie dopiero po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej z uwagi na możliwości dofinansowania zakupów ze środków wspólnotowych (Mederski i in. 2016).

Zastosowanie specjalistycznych maszyn daje możliwość znaczącego obniżenia kosztów oraz eliminuje większość zagrożeń, na które narażeni są pracownicy w trakcie prac pozyskaniowych. Poza aspektem ekonomicznym i ergonomicznym należy także wziąć pod uwagę ich wpływ na środowisko (Giefing 1999, Sowa 1999, Hoffman i in. 2005, Bembenek i in. 2008, Giefing i in. 2012). Stosowanie wysokowydajnych maszyn, chociażby ze względu na ich gabaryty, może skutkować większymi uszkodzeniami drzew niż w przypadku pilarek. Konsekwencjami uszkodzeń drzew powstałych w wyniku pozyskiwania drewna jest nie tylko bezpośrednie uszkodzenie drewna mające znaczący wpływ na jego klasyfikację jakościowo-wymiarową, ale także narażanie drzew na infekcje przez patogeny (Żółciak 1997, Vasiliauskas 2001, Chomicz 2012), które prowadzą do dalszej destrukcji surowca drzewnego, a nawet zwiększenia ryzyka wystąpienia klęski żywiołowej (Łakomy i in. 2001).

Obecne uwarunkowania funkcjonowania gospodarki leśnej w Polsce, w tym swoista moda na ekologię, powodują, że temat środowiskowych skutków pozyskiwania drewna jest coraz bardziej zauważalny w praktyce leśnej. O ile w pracach naukowych zagadnienie to było dosyć często opisywane, szczególnie w latach 90-tych XX wieku, to w praktyce było raczej pomijane lub, w najlepszym razie, traktowane dość pobieżnie. Niejednokrotnie umowy z Zakładami Usług Leśnych zawierały dyskusyjne zastrzeżenia dotyczące dopuszczalnej liczby uszkodzonych drzew w wyniku prowadzenia prac pozyskaniowych, świadczące o braku wiedzy na ten temat. W literaturze z zakresu pozyskiwania drewna można znaleźć wiele prac traktujących o uszkodzeniach drzew powstałych wskutek stosowania różnych technologii.

W badaniach tych wykazywano często znacząco różne poziomy uszkodzeń, mimo, że dotyczyły one takich samych, czy podobnych technologii i były prowadzone w porównywalnych warunkach. Jednym z powodów znacznych różnic w wynikach tych badań było stosowanie różnych metod oceny uszkodzeń. W literaturze brakuje wyników badań porównawczych różnych metod oceny uszkodzeń drzew, jest tutaj wyraźna luka, którą podjęte badania mają wypełnić.

## 2. HIPOTEZA BADAWCZA

Przegląd dostępnej literatury w zakresie podjętej tematyki pracy pozwolił na sformułowanie problemu badawczego, którym była próba odpowiedzi na pytanie o wpływ metody oceny uszkodzeń drzew od pozyskiwania drewna na wyniki tej oceny. Przyjęto hipotezę, że na wartości wskaźników uszkodzeń drzew ma wpływ metoda ich oceny.

## 3. CEL I ZAKRES BADAŃ

Ogólnym celem poznawczym pracy było porównanie wyników wieloaspektowej oceny uszkodzeń drzew wykonanej różnymi metodami. Analizowano uszkodzenia drzew spowodowane pozyskiwaniem drewna w drzewostanach sosnowych, w których wykonano trzebieże wczesne i późne. Cele szczegółowe obejmowały określenie:

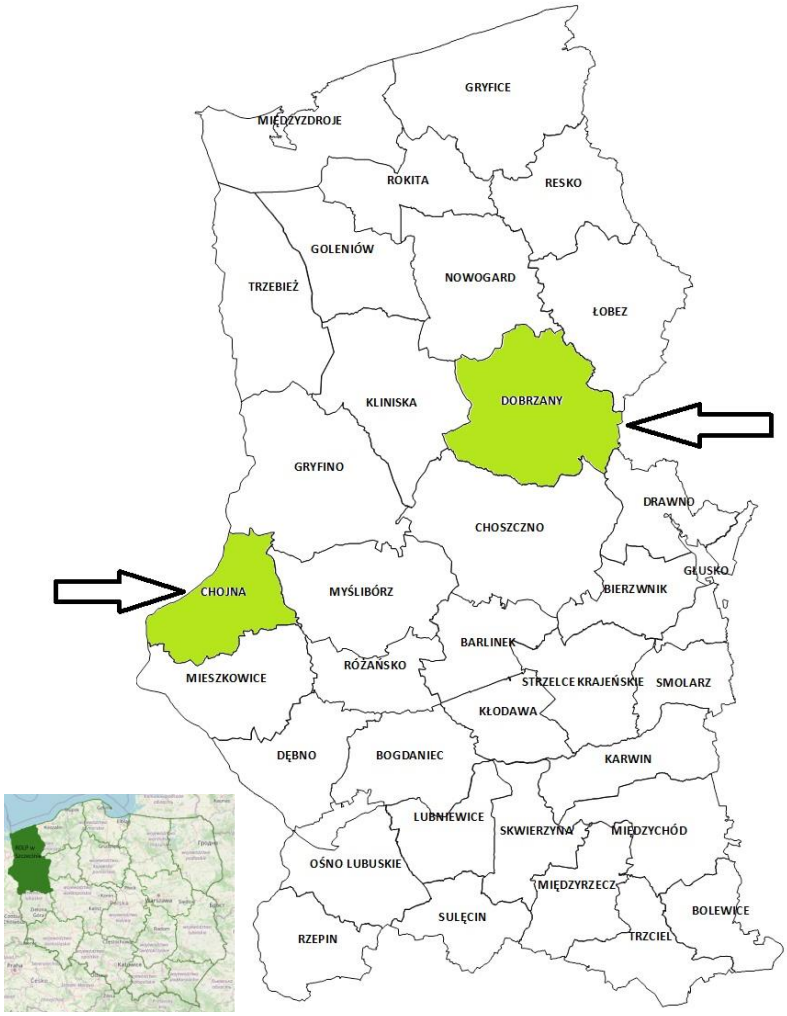
- udziałów drzew uszkodzonych w wybranych kategoriach oceny zranień,
- udziałów ran w wybranych kategoriach oceny zranień,
- parametrów ran w wybranych kategoriach oceny zranień.

W pracy podjęto także próbę weryfikacji przyjętych metod w zakresie częstości występowania wyników określonej kategorii ich wielkości. Zakresem badań objęto cztery metody oceny uszkodzeń drzew – dwie z kołowymi powierzchniami próbnymi i dwie z powierzchniami próbnymi w kształcie równoległoboku (kwadrat, prostokąt). Metody te zastosowano do oceny uszkodzeń powstałych podczas pozyskiwania drewna w procesach technologicznych z wykorzystaniem do ścinki i operacji obróbczych pilarek i harwesterów, a do zrywki drewna, przyczep samozaładowczych zagregowanych z ciągnikami rolniczymi i forwarderów. Ocenę uszkodzeń po pozyskiwaniu drewna dla każdej technologii i kategorii cięć wykonano w trzech powtórzeniach (w sumie na 12 powierzchniach badawczych).

# 4. TEREN I METODY BADAŃ

## 4.1. Teren badań

Powierzchnie badawcze wybierano na podstawie planowanych cięć trzebieżowych przy zastosowaniu zarówno technologii ręczno-maszynowej (z pilarką) jak i w pełni zmechanizowanej (maszynowej, częściowo zautomatyzowanej – z harwesterem). Badania przeprowadzono na terenie nadleśnictw Chojna oraz Dobrzany położonych na terenie RDLP w Szczecinie (ryc. 1) .




Ryc. 1. Lokalizacja Nadleśnictw Chojna i Dobrzany na terenie RDLP w Szczecinie

Badania uszkodzeń drzew wykonano w dwunastu litych drzewostanach sosnowych bądź z przewagą sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), rosnących na siedliskach: Bśw, BMśw, LMśw, po wykonanych zabiegach trzebieży wczesnej i późnej (po 6 drzewostanów). Charakterystykę drzewostanów, w których wykonano trzebieże wczesne przedstawiono w tabeli 1., a trzebieże późne w tabeli 2. Prace pozyskaniowe wykonano w okresie późnowiosennym i letnim. Do wyznaczenia powierzchni badawczych oraz pomiaru uszkodzeń przystąpiono w okresie do 3 miesięcy po wykonanym zabiegu. Badania wykonano w latach 2015–2019.

Tabela 1. Charakterystyka drzewostanów, w których wykonano trzebieże wczesne

| Wyszczególnienie | Lokalizacja powierzchni | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nadleśnictwo | | | | | |
| | Chojna | Dobrzany | Chojna | Chojna | Chojna | Chojna |
| | Leśnictwo | | | | | |
| | Krzywina | Błotno | Grabowo | Łukowice | Rynica | Rynica |
| | Wydzielenie | | | | | |
| | 235 d | 686 f | 109 b | 191 g | 149 l | 174 b |
| powierzchnia (ha) | 2,88 | 4,83 | 4,32 | 4,54 | 3,66 | 2,81 |
| typ siedliskowy | LMśw | BMśw | Bśw | BMśw | BMśw | BMśw |
| wiek (lata) | 35 | 33 | 33 | 39 | 31 | 32 |
| zadrzewienie | 1,2 | 1,3 | 1,9 | 1,1 | 1,3 | 1,8 |
| przeciętna pierśnica (cm) | 18 | 18 | 11 | 19 | 14 | 16 |
| przeciętna wysokość (m) | 19 | 16 | 13 | 18 | 14 | 16 |
| bonitacja | IA | IA | I | IA | IA | IA |
| zasobność ($m^3$/ha) | 358 | 210 | 363 | 250 | 294 | 370 |
| liczba drzew przed zabiegiem (szt./ha) | 1257 | 1358 | 2438 | 1777 | 1995 | 1391 |
| liczba drzew po zabiegu (szt./ha) | 1038 | 1044 | 1906 | 1215 | 1542 | 1127 |
| liczba drzew usuniętych (szt./ha) | 219 | 314 | 532 | 562 | 453 | 264 |
| intensywność ($m^3$/ha) | 46 | 32 | 35 | 57 | 42 | 36 |
| średnia miąższość 1 drzewa usuniętego ($m^3$) | 0,21 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,09 | 0,14 |

Tabela 2. Charakterystyka drzewostanów, w których wykonano trzebieże późne

| Wyszczególnienie | Lokalizacja powierzchni | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nadleśnictwo | | | | | |
| | Dobrzany | Dobrzany | Dobrzany | Chojna | Chojna | Chojna |
| | Leśnictwo | | | | | |
| | Lublino | Dobrzany | Dobrzany | Chojna | Rynica | Rynica |
| | Wydzielenie | | | | | |
| | 242 g | 322 h | 322 i | 146 b | 116 f | 119 t |
| powierzchnia (ha) | 3,13 | 3,23 | 3,50 | 3,26 | 5,07 | 1,63 |
| typ siedliskowy | LMśw | BMśw | BMśw | Bśw | LMśw | LMśw |
| wiek (lata) | 83 | 61 | 73 | 90 | 72 | 53 |
| zadrzewienie | 0,9 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,0 |
| przeciętna pierśnica (cm) | 36 | 31 | 43 | 30 | 33 | 22 |
| przeciętna wysokość (m) | 26 | 24 | 26 | 24 | 27 | 22 |
| bonitacja | I | IA | I | II | IA | IA |
| zasobność ($m^3$/ha) | 289 | 326 | 390 | 379 | 492 | 386 |
| liczba drzew przed zabiegiem (szt./ha) | 608 | 759 | 591 | 551 | 459 | 1039 |
| liczba drzew po zabiegu (szt./ha) | 492 | 548 | 422 | 430 | 342 | 782 |
| liczba drzew usuniętych (szt./ha) | 116 | 211 | 169 | 121 | 117 | 257 |
| intensywność ($m^3$/ha) | 42 | 70 | 56 | 62 | 42 | 60 |
| średnia miąższość 1 drzewa usuniętego ($m^3$) | 0,36 | 0,33 | 0,33 | 0,51 | 0,36 | 0,23 |

W tabelach 3 i 4 zawarto dane dotyczące maszyn, ich operatorów i parametry szlaków operacyjnych. Do w pełni zmechanizowanego pozyskiwania drewna w trzebieżach wczesnych wykorzystano harwester Rottne H-8, natomiast do zrywki nasiębiernej ciągnik rolniczy Zetor 7245 lub Ursus C-385 zagregowany z przyczepą Palms 8S. W trzebieżach późnych zastosowano harwester John Deere 1270D ECO III, do zrywki nasiębiernej forwarder John Deere1010 D ECO III i Eco Log 564. W drzewostanach, w których wykonywano trzebieże wczesne pozyskiwano surowiec średniowymiarowy stosowy przemysłowy (S2A), użytkowy

(S2B), żerdziowy do przerobu przemysłowego (S3A) oraz opałowy (S4), małowymiarowy przemysłowy (M1) i opałowy (M2), wielkowymiarowy (WC0, WD), a także drewno specjalne do dalszego przerobu na sklejkę (WB1). W drzewostanach, w których wykonywano trzebieże późne pozyskiwano drewno wielkowymiarowe (WCK, WC0, WD), średniowymiarowe stosowe przemysłowe (S2A) i opałowe (S4) oraz małowymiarowe opałowe (M2).

Tabela 3. Dane dotyczące sprzętu, pracowników i parametry szlaków operacyjnych w drzewostanach, w których wykonano trzebieże wczesne

| Wyszczególnienie | Lokalizacja powierzchni | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nadleśnictwo | | | | | |
| | Chojna | Dobrzany | Chojna | Chojna | Chojna | Chojna |
| | Leśnictwo | | | | | |
| | Krzywina | Błotno | Grabowo | Łukowice | Rynica | Rynica |
| | Wydzielenie | | | | | |
| | 235 d | 686 f | 109 b | 191 g | 149 l | 174 b |
| środek pracy | pilarka | pilarka | pilarka | harwester | harwester | harwester |
| wiek operatora/ów | 45 33 | 56 27 | 45 42 | 40 | 40 | 40 |
| doświadczenie (lata) | 15 5 | 20 8 | 15 14 | 10 | 10 | 10 |
| środek zrywkowy | ciągnik | ciągnik | ciągnik | ciągnik | ciągnik | ciągnik |
| wiek operatora/ów | 32 | 27 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| doświadczenie (lata) | 5 | 8 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| średnia szerokość szlaków (m) | 2,8 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 3,0 | 2,9 |
| średnia odległość pomiędzy osiami szlaków (m) | 28 | 20 | 19 | 20 | 28 | 18 |

Tabela 4. Dane dotyczące sprzętu, pracowników i parametry szlaków operacyjnych w drzewostanach, w których wykonano trzebieże późne

| Wyszczególnienie | Lokalizacja powierzchni | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nadleśnictwo | | | | | |
| | Dobrzany | Dobrzany | Dobrzany | Chojna | Chojna | Chojna |
| | Leśnictwo | | | | | |
| | Lublino | Dobrzany | Dobrzany | Chojna | Rynica | Rynica |
| | Wydzielenie | | | | | |
| | 242 g | 322 h | 322 i | 146 b | 116 f | 119 t |
| środek pracy | pilarka | pilarka | pilarka | harwester | harwester | harwester |
| wiek operatora/ów | 38 29 | 44 41 | 44 41 | 38 | 38 | 40 |
| doświadczenie (lata) | 14 6 | 4 4 | 4 4 | 15 | 15 | 10 |
| środek zrywkowy | forwarder | forwarder | forwarder | forwarder | forwarder | forwarder |
| wiek operatora/ów | 62 30 | 22 | 22 | 38 | 38 | 38 |
| doświadczenie (lata) | 35 5 | 1 | 1 | 15 | 15 | 15 |
| średnia szerokość szlaków (m) | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 3,8 | 3,8 | 3,2 |
| średnia odległość pomiędzy osiami szlaków (m) | 20 | 28 | 21 | 25 | 26 | 21 |

**4.2. Metody badań**

Powierzchnie kołowe w metodach 1. i 2. miały promień odpowiednio 5,64 m i 3,99 m. Powierzchnie kwadratowe (metoda 3.) miały wielkość 2500 $m^2$ (50 x 50 m) a prostokątne (metoda 4.) 1000 $m^2$. Powierzchnie kołowe o promieniu 3,99 m założono w punktach węzłowych siatki kwadratów o boku 12,5 m, a o promieniu 5,64 m w punktach węzłowych siatki kwadratów o boku 25 m. Siatkę kwadratów zarówno w metodzie 1. jak i 2. zakładano na 1,5 ha powierzchniach badawczych. Powierzchnie badawcze dla metod 1. i 2., a także 3. lokalizowano w losowo wybranych fragmentach drzewostanu, zachowując kilkumetrowy odstęp od granicy drzewostanu. W metodach 3. i 4. szlaki operacyjne przechodziły przez środki powierzchni próbnych, przy czym w przypadku powierzchni prostokątnych szerokość powierzchni wyznaczał odstęp między

szlakami. Odległość między powierzchniami była w tej metodzie ilorazem sumarycznej długości szlaków i liczby powierzchni, przy założeniu, że jedna powierzchnia próbna przypada na 1 ha powierzchni wydzielenia.

### 4.2.1. Prace terenowe

Punkty węzłowe siatki kwadratów w metodach 1. i 2., powierzchnie kwadratowe i prostokątne w metodach 3. i 4. oraz długości szlaków i odstępy między nimi w metodzie 4. wyznaczono za pomocą taśmy samozwijającej, węgielnicy, dalmierza Nikon Forestry Pro oraz tyczek. Granice powierzchni kołowych wyznaczono przy użyciu linki o długości 3,99 m i 5,64 m.

Na powierzchniach próbnych wszystkich metod dokonano wieloaspektowej oceny uszkodzeń drzew, która obejmowała głębokości ran, ich powierzchnie, lokalizację na strzale (wysokość) i procent obwodu strzały. Ze względu na głębokość rany podzielono na trzy klasy – tylko w obrębie kory (klasa I), obejmujące łyko (klasa II) i sięgające do drewna z jego uszkodzeniem (głębokie – klasa III). Kształt powierzchni ran każdorazowo sprowadzano do prostokąta lub kwadratu i mierzono ich szerokość i długość taśmą samozwijającą (szerokość i długość ran zlokalizowanych na wysokości powyżej 2,5 m szacowano).

Ze względu na wielkość rany podzielono na dwie kategorie: duże o powierzchni > 100 $cm^2$ i małe o powierzchni ≤ 100 $cm^2$ (Suwała 1999). Wysokości na strzale do 4 m mierzono łatą teleskopową, powyżej szacowano. Wyróżniono trzy kategorie lokalizacji ran na strzale: niskie ≤ 0,1 m, średnie 0,11–4,1 m oraz wysokie > 4,1 m (Suwała 1999, 2003 a,b).

Procent obwodu strzały objęty uszkodzeniem mierzono taśmą, określając najszerszy zasięg występowania rany i obwód strzały w miejscu zranienia. Wyróżniono dwie kategorie: rany obejmujące do i powyżej 1/8 obwodu w miejscu zranienia.

### 4.2.2. Prace kameralne

W ramach prac kameralnych obliczono następujące wskaźniki uszkodzeń drzew, w czterech kategoriach oceny zranień:

1. Procentowe udziały drzew uszkodzonych w klasach głębokości zranień I–III, II–III i tylko III.

2. Procentowe udziały drzew z ranami niskimi, dużymi i ranami zajmującymi powyżej 1/8 obwodu strzały. We wskaźnikach tych uwzględniono tylko drzewa z ranami łyka i drewna (klasy II–III).
3. Wskaźnik syntetycznej oceny uszkodzeń drzew $U_d$ wg wzoru (Suwała 1999; 2003 a,b, 2004):

$$U_d = \frac{(D0 + D0{,}1 + D100 + D0{,}125 + Dd)}{5} \qquad (\%)$$

gdzie:

- **$D_0$** – ogólny udział procentowy drzew uszkodzonych,
- **$D_{0,1}$** – udział procentowy drzew z przynajmniej jedną raną niską,
- **$D_{100}$** – udział procentowy drzew z ranami dużymi,
- **$D_{0,125}$** – udział procentowy drzew z co najmniej jedną raną obejmującą > 1/8 obwodu w miejscu zranienia,
- **$D_d$** – udział procentowy drzew z raną tkanki drzewnej.

4. Procentowe udziały ran niskich, średnich, wysokich, dużych oraz powyżej 1/8 obwodu drzewa, jako ilorazy liczb tych ran i liczb wszystkich ran klasy II i III na powierzchniach próbnych. Obliczono także procentowe udziały ran kory, łyka i drewna, jako ilorazy liczb tych ran i liczby ran wszystkich klas (I–III).

Policzono również parametry ran w klasach głębokości II i III takie jak:

1. Liczba wszystkich ran na jedno drzewo zranione.
2. Liczba ran niskich, dużych, ran drewna i powyżej 1/8 obwodu na jedno drzewo zranione.
3. Wysokość występowania ran.
4. Powierzchnia ran.

Parametry ran policzono w oparciu o wyniki ze wszystkich dwunastu drzewostanów oraz oddzielnie dla rodzajów zabiegów (trzebieże wczesne i późne – warianty *TW*, *TP*) i technologii pozyskiwania drewna (ręczno-maszynowa i w pełni zmechanizowana – warianty *pilarka* i *harwester*). Dla kategorii oceny zranień 1, 2, 3, 4 oraz liczby wszystkich ran na jedno drzewo, wysokości występowania ran i ich powierzchni policzono podstawowe statystyki opisowe obejmujące średnią, medianę, wartość minimum, maksimum, odchylenie standardowe

i współczynnik zmienności. Dla liczby ran niskich, dużych, ran drewna i ran powyżej 1/8 obwodu policzono tylko wartości średnie.

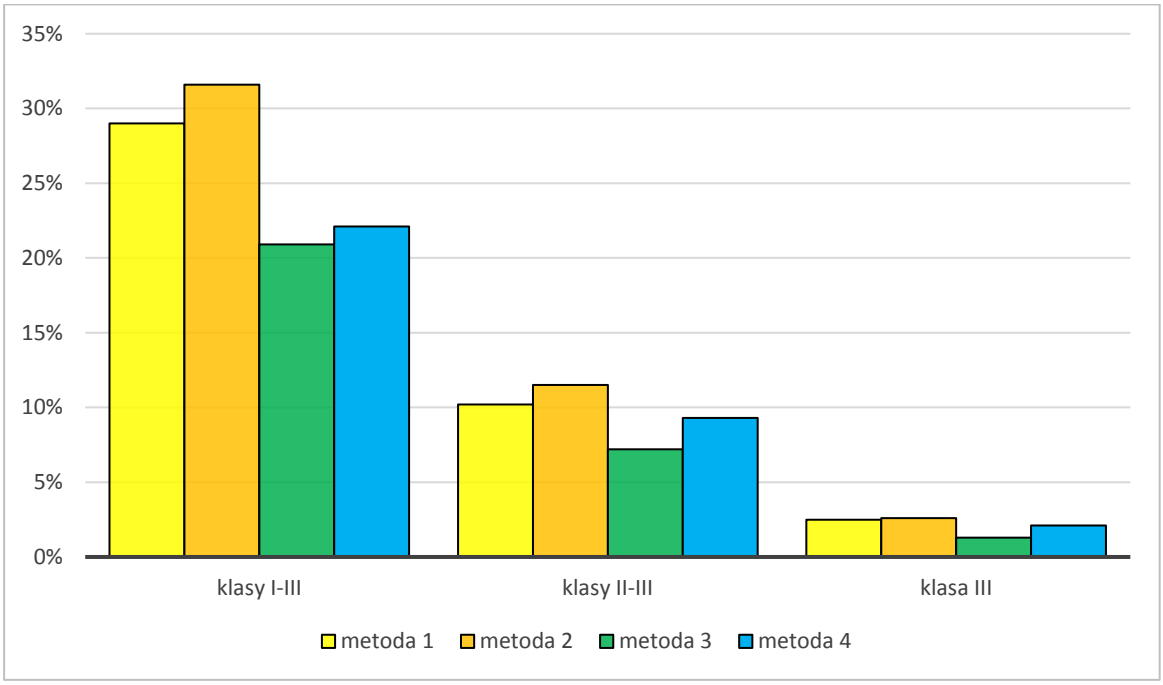
Statystyczna weryfikacja wyników badań polegała na ocenie istotności różnic wartości analizowanych wskaźników uszkodzeń drzew i parametrów ran między przyjętymi metodami. W ocenie tej zastosowano analizę wariancji lub test Kruskala–Wallisa.

W pracy podjęto także próbę oceny różnic między metodami pod względem częstości występowania uzyskanych wyników oceny uszkodzeń drzew w zależności od ich wielkości. W tym celu wyniki podzielono na cztery kategorie najmniejsze, mniejsze, większe i największe. W ocenie tej zastosowano test niezależności Chi-kwadrat. Wszystkie obliczenia statystyczne wykonano w pakiecie Statistica 12; przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$.

# 5. WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ

## 5.1. Udziały drzew uszkodzonych, wskaźnik syntetycznej oceny uszkodzeń drzew

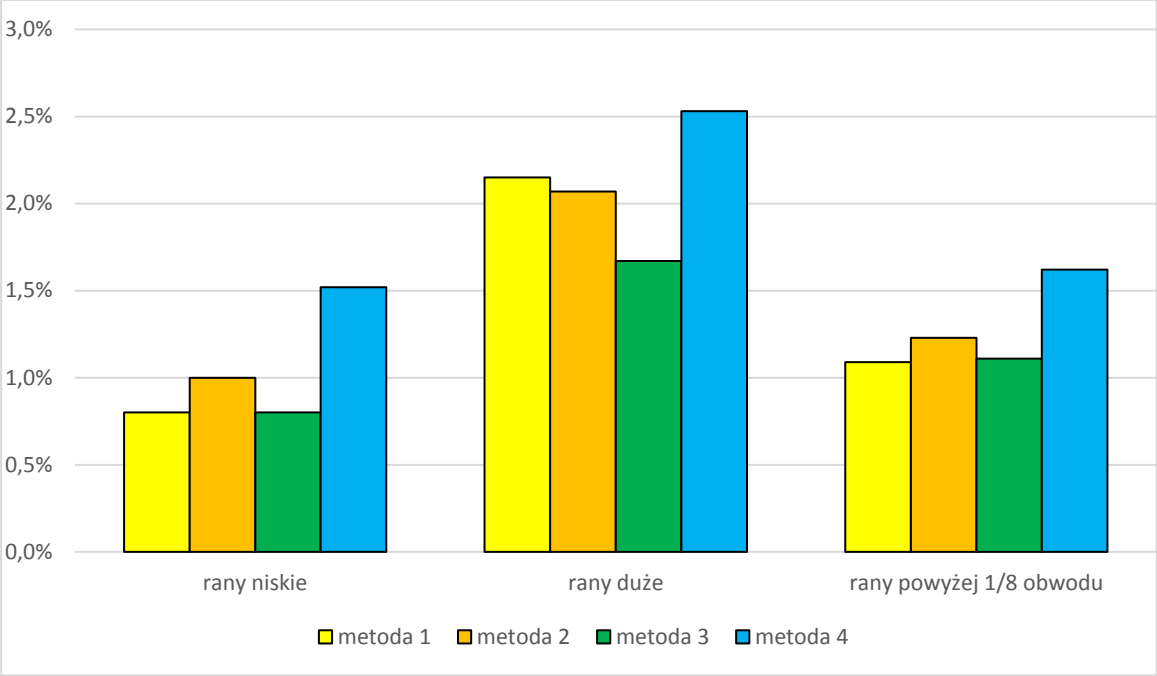
Wyniki średnich udziałów drzew uszkodzonych w klasach głębokości zranień I–III, II–III i III przedstawiono na ryc. 2. Największą wartość udziału drzew uszkodzonych w klasach głębokości zranień I–III stwierdzono w metodzie 2. (prawie 32%), nieco mniejszą w metodzie 1. (29%), natomiast najmniejszą (niecałe 21%) w metodzie 3. Największą wartość średniego udziału drzew z ranami w klasach głębokości zranień II–III wynoszącą ponad 11% stwierdzono dla metody 2., natomiast najmniejszą (ponad 7%) dla metody 3. Także w przypadku średniego udziału drzew uszkodzonych w klasie III największe wyniki stwierdzono dla metody 2. (2,6%), a najmniejsze w metodzie 3. (1,3%). Dla wszystkich trzech wymienionych wskaźników ran stwierdzono większe wartości dla metod z kołowymi powierzchniami próbnymi.




Ryc. 2. Średnie udziały drzew uszkodzonych w klasach głębokości ran I–III, II–III i III

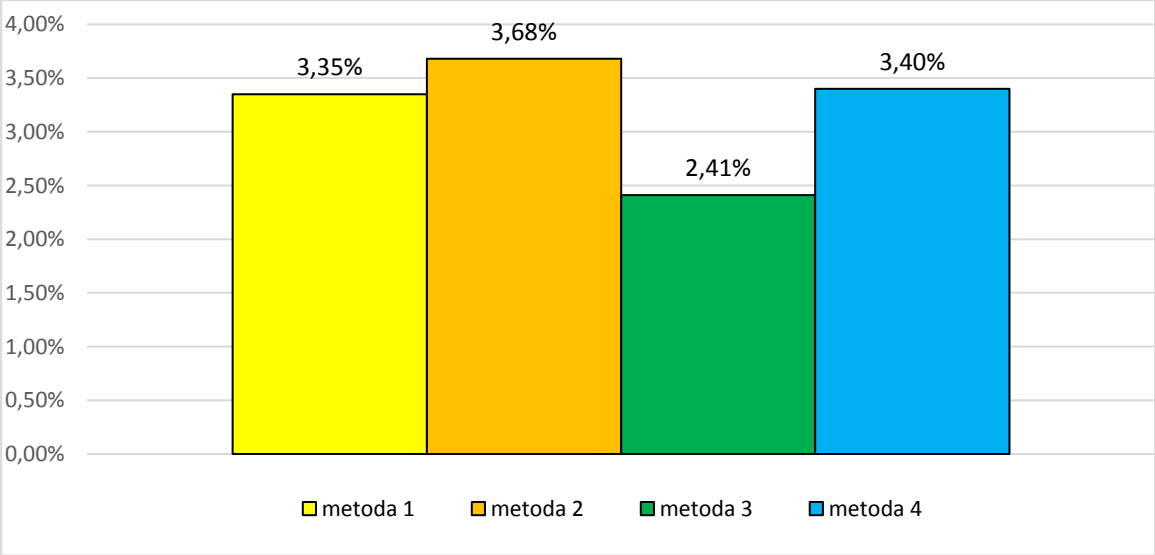
Wyniki badań w zakresie udziałów drzew z ranami niskimi, dużymi i powyżej 1/8 obwodu zaprezentowano na ryc. 3. W przypadku tej grupy wskaźników największe wyniki wykazywała metoda 4. Szczególnie widoczne było to w odniesieniu do ran niskich, dla których w metodzie tej stwierdzono średni udział wynoszący 1,5%, podczas gdy dla pozostałych metod nie przekroczył 1%. W przypadku ran dużych metoda 4. wykazała ponad 2,5% udział drzew z tymi ranami, podczas gdy najmniejszy wynoszący niecałe 1,7% metoda 3. Podobnie jak w przypadku ran niskich i dużych, największą wartość średnią udziałów drzew z ranami

obejmującymi powyżej 1/8 obwodu drzewa (ponad 1,5%) stwierdzono w metodzie 4., natomiast najmniejszą (około 1%) w metodzie 1.




Ryc. 3. Średnie udziały drzew z ranami niskimi, dużymi i powyżej 1/8 obwodu

Na ryc. 4 przedstawiono wyniki syntetycznego wskaźnika uszkodzeń drzew. Najmniejszą średnią wartość tego wskaźnika (poniżej 2,5%) odnotowano w metodzie 3., a największą dla metody 2. (prawie 3,7%).




Ryc. 4. Wartości wskaźnika syntetycznej oceny uszkodzeń drzew

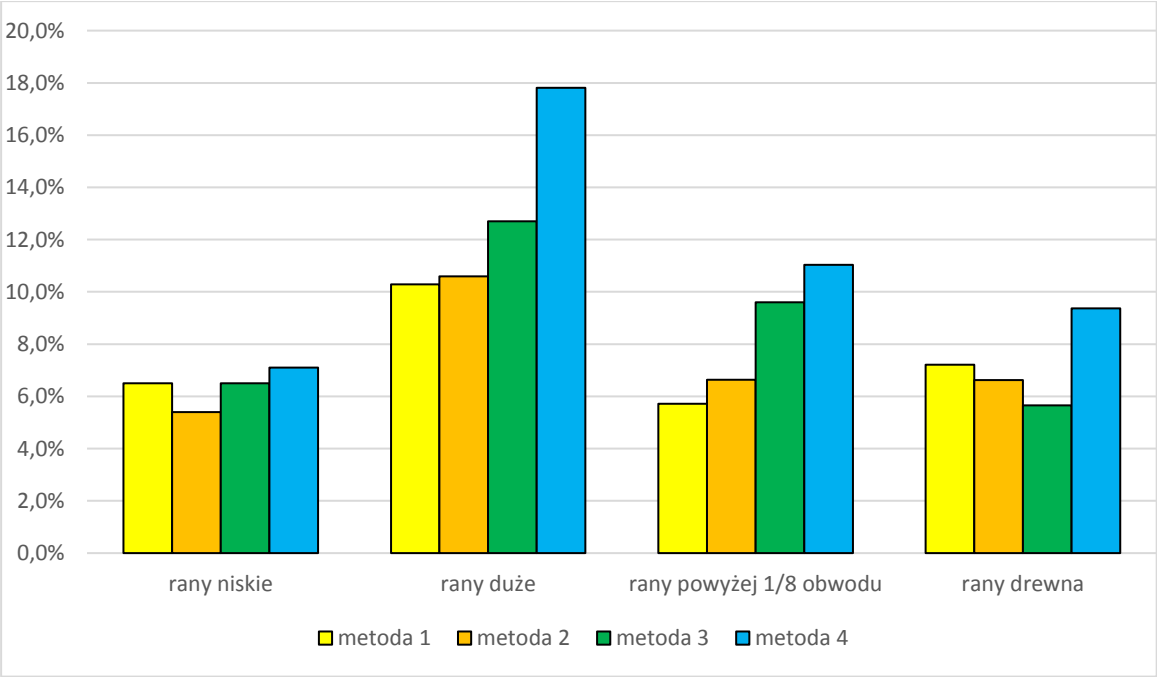
Statystyczna weryfikacja wyników w/w wskaźników wykazała jedynie dla udziału drzew z uszkodzeniami wszystkich klas głębokości (I–III) różnice statystycznie istotne między metodami (F = 9,509; *p* = 0,023), ale test Tukeya nie wskazał między którymi (tab.5).

Tabela 5. Prawdopodobieństwa testowe *p* testu Tukeya dla udziałów drzew uszkodzonych we wszystkich klasach głębokości ran

| Metoda | Metoda | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | 1,000 | 0,218 | 0,633 |
| 2 | 1,000 | | 0,052 | 0,189 |
| 3 | 0,218 | 0,052 | | 1,000 |
| 4 | 0,633 | 0,189 | 1,000 | |

## 5.2. Udziały ran

Wyniki procentowych udziałów ran niskich, dużych, zajmujących więcej niż 1/8 obwodu drzewa oraz ran sięgających warstwy drewna przedstawiono na ryc. 5. W grupie tych wskaźników największe wyniki wykazywała zawsze metoda 4. Szczególnie widoczne było to w przypadku ran dużych, gdzie metoda ta wykazała wynik od 5,1 do 7,5 p.p. większy niż pozostałe metody.




Ryc. 5. Średnie udziały ran niskich, dużych, powyżej 1/8 obwodu i sięgających drewna

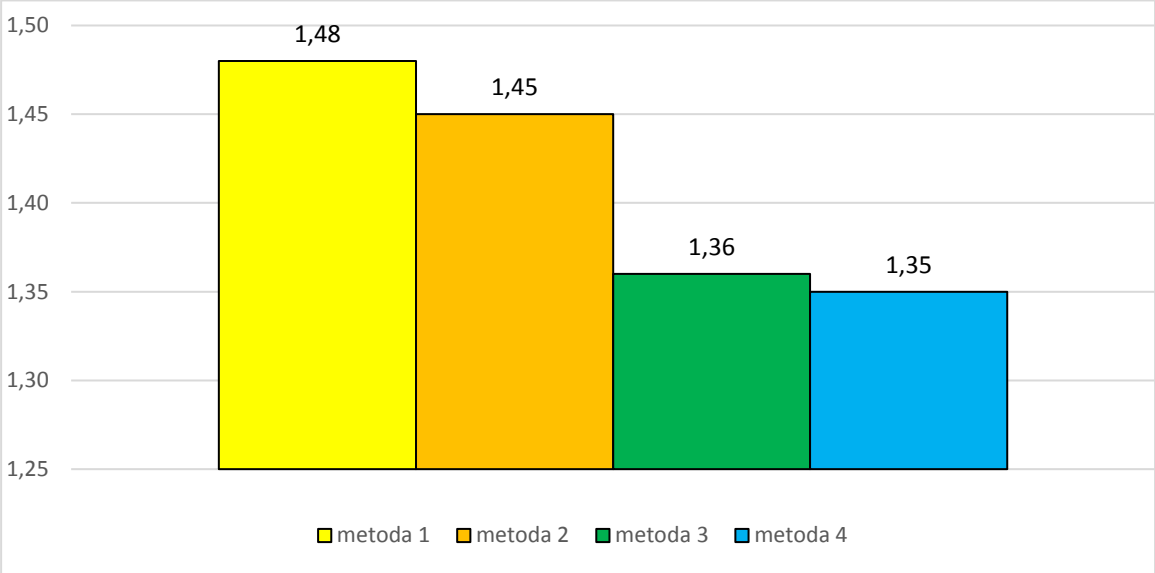
Najmniejsze różnice wynoszące od 0,6 do 1,7 p.p pomiędzy metodą 4., a pozostałymi metodami stwierdzono dla procentowych udziałów ran niskich.

Statystyczna weryfikacja różnic wyników w/w wskaźników między metodami, wykazała brak takich różnic.

### 5.3. Parametry ran

#### 5.3.1. Liczba ran na jedno drzewo uszkodzone

Na ryc. 6 przedstawiono średnie liczby wszystkich ran w klasach głębokości II–III przypadające na jedno zranione drzewo. Większe średnie liczby ran stwierdzono w metodach 1. i 2., niż w 3. i 4., przy czym różnice te były statystycznie nieistotne (H = 2,296, $p$ = 0,514).




Ryc. 6. Średnie liczby wszystkich ran klas głębokości II–III na jedno drzewo uszkodzone

W tabeli 6 zestawiono średnie liczby ran niskich, dużych, ran drewna i ran powyżej 1/8 obwodu przypadających na jedno drzewo uszkodzone. Dane zawarte w tej tabeli wskazują, że najwięcej ran w obrębie szyj wykazała metoda 4., a najmniej metoda 2. Metoda 4. wykazała także najwięcej ran dużych na jedno drzewo uszkodzone (najmniej metoda 3.). W przypadku ran z uszkodzeniem tkanki drzewnej, w każdym wariancie wyraźnie najmniej tych ran w przeliczeniu na jedno drzewo uszkodzone stwierdzono w metodzie 3., natomiast najwięcej w metodzie 1. Mniejsze średnie liczby ran obejmujących powyżej 1/8 obwodu drzewa stwierdzono w metodach opartych na kołowych powierzchniach próbnych, szczególnie w metodzie 1., natomiast największą średnią wartość tego wskaźnika uzyskano w metodzie 3.

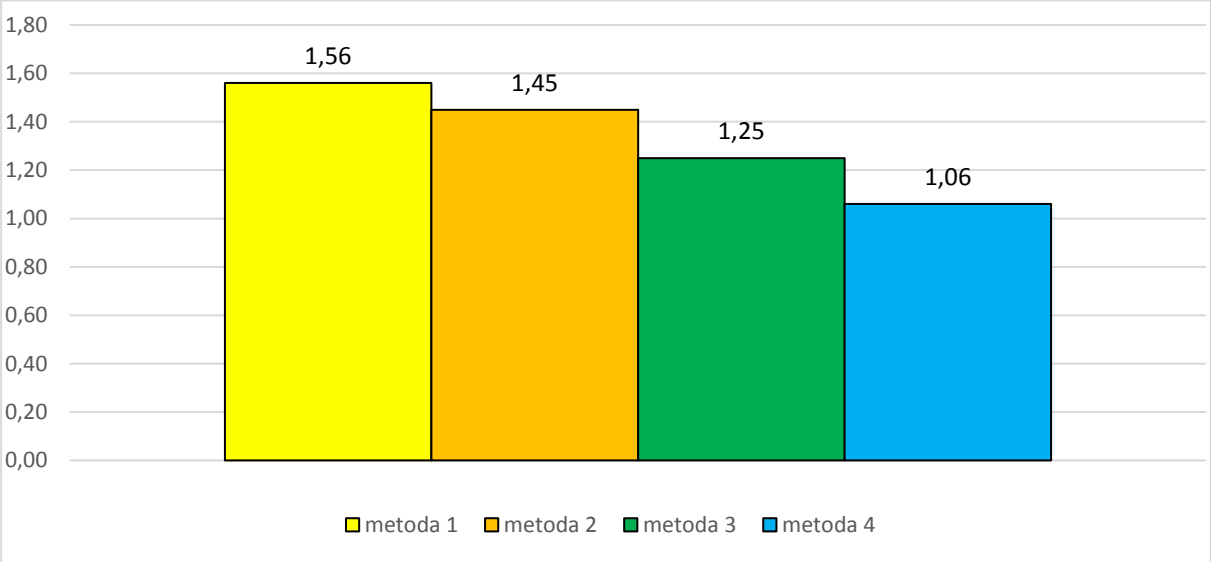
Tabela 6. Średnie liczby ran niskich, dużych, drewna i ran powyżej 1/8 obwodu na jedno drzewo uszkodzone i prawdopodobieństwa testowe $p$ testu Kruskala–Wallisa

| Średnie liczby ran | Metoda | | | | *p* |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| niskich | 0,09 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,630 |
| dużych | 0,18 | 0,18 | 0,16 | 0,19 | 0,669 |
| drewna | 0,33 | 0,31 | 0,13 | 0,27 | < 0,001 |
| powyżej 1/8 obwodu | 0,08 | 0,10 | 0,14 | 0,13 | 0,338 |

Statystyczna weryfikacja wyników liczby ran niskich, dużych, ran tkanki drzewnej i obejmujących powyżej 1/8 obwodu na jedno drzewo uszkodzone (test Kruskala-Wallisa) wykazała istotnie różnice między metodami tylko dla uszkodzeń tkanki drzewnej (tab. 6). Metoda 3. wykazała istotnie mniejszą liczbę tych uszkodzeń niż metoda 1. ($p < 0{,}001$).

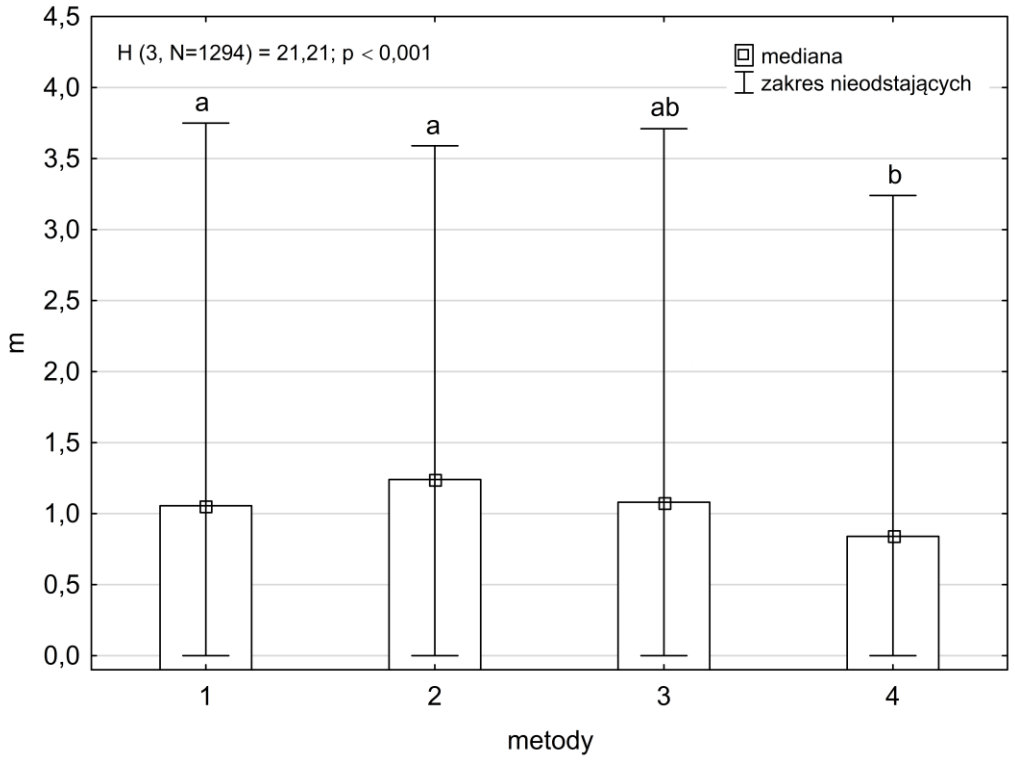
### 5.3.2. Wysokość występowania ran

Średnie wysokości położenia ran na drzewie wyliczone w oparciu o dane z wszystkich 12 wydzieleń przedstawiono na ryc. 7. Większe wysokości wykazały powierzchnie kołowe. Najwyższą średnią stwierdzono w metodzie 1., natomiast najniższą w metodzie 4.




Ryc. 7. Średnie wysokości (m) występowania ran na strzale

Analiza statystyczna wyników wysokości ran na drzewie (test Kruskala-Wallisa) wykazała istotne różnice wartości tego parametru między metodami dla wyników z wszystkich 12 pododdziałów ($H = 21{,}21$; $p < 0{,}001$). W przypadku tych wyników wysokości występowania ran w metodzie 4. były istotnie mniejsze niż w metodzie 1. ($p = 0{,}010$) i 2. ( $p < 0{,}001$), natomiast nie stwierdzono istotnych różnic między metodą 3. i pozostałymi (ryc. 8).

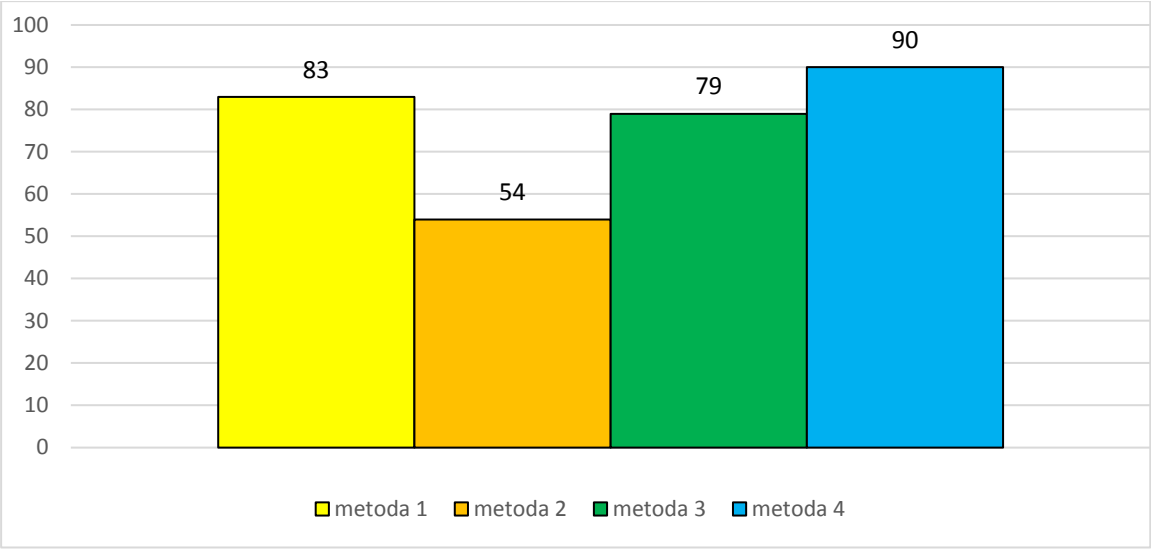



Ryc. 8. Wykres pudełkowy wysokości występowania ran (różne małe litery na ryc. 8 i pozostałych wykresach pudełkowych oznaczają różnice istotne statystycznie)

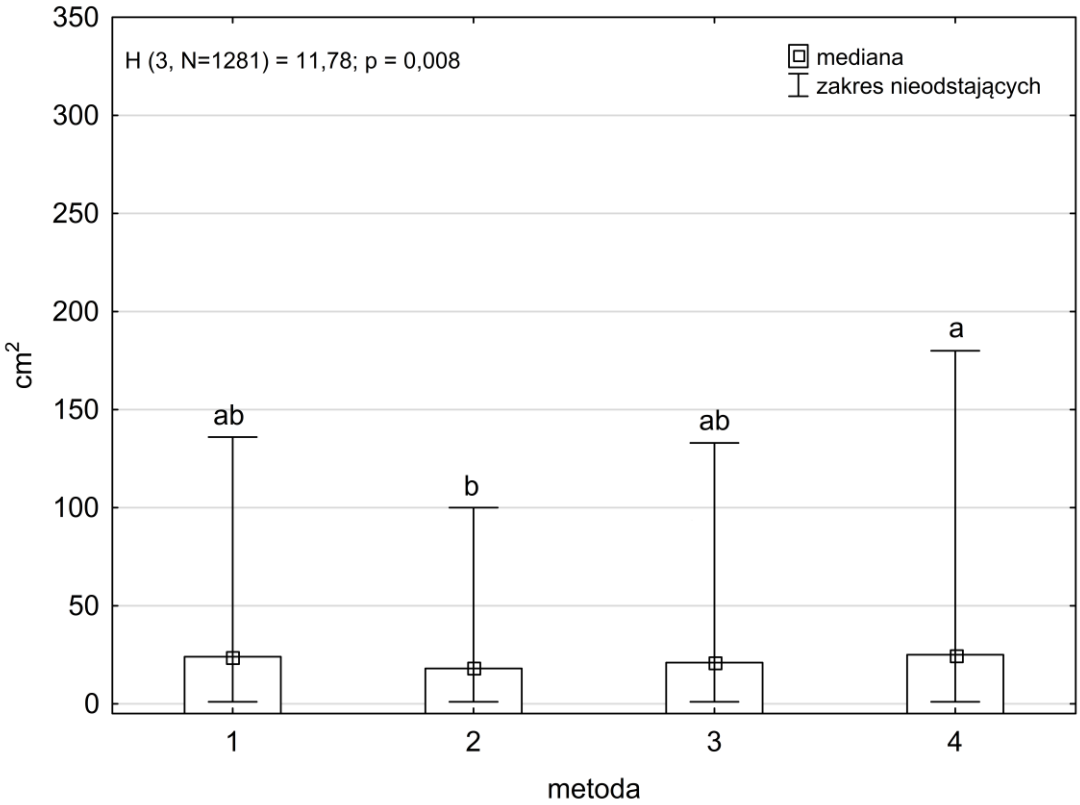
### 5.3.3. Powierzchnia ran

Na ryc. 9 przedstawiono średnie powierzchnie ran wyliczone w oparciu o wyniki z wszystkich 12 drzewostanów. Najmniejszą średnią uzyskano w metodzie 2., największą (o ponad 67% większą) w metodzie 4.

Analiza statystyczna wyników powierzchni ran wykazała istotne różnice wartości tego parametru między metodami dla wyników z wszystkich 12 pododdziałów (H = 11,782; $p$ = 0,008). W przypadku tych wyników powierzchnie ran w metodzie 2. były istotnie mniejsze niż w metodzie 4. ($p$ = 0,004), natomiast nie stwierdzono istotnych różnic między metodą 1. i 3. a pozostałymi (ryc. 10).




Ryc. 9. Średnie powierzchni ran ($cm^2$) w zależności od metody oceny uszkodzeń drzew

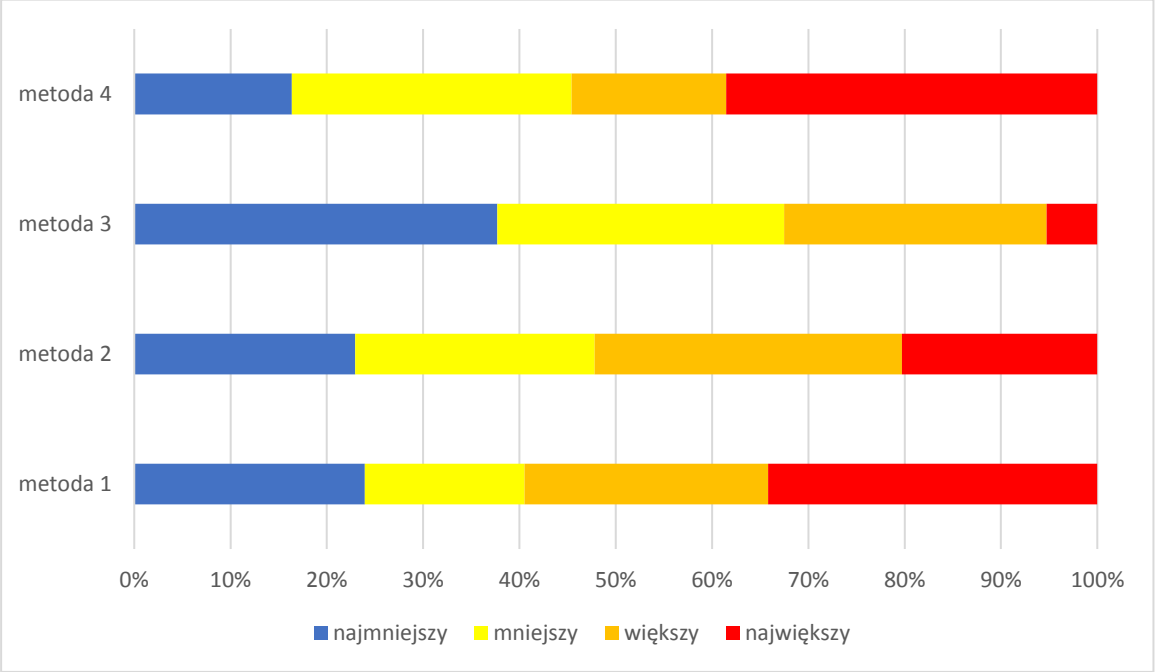



Ryc. 10. Wykres pudełkowy wyników powierzchni ran

### 5.4. Zależność między metodą i kategorią wielkości uzyskanych wyników

Zgodnie z przyjętą metodyką, w pracy podjęto próbę odpowiedzi na pytanie jakiej kategorii wyniki (najmniejsze, mniejsze, większe, największe) najczęściej wykazywały poszczególne metody oceny uszkodzeń drzew. Na ryc. 11 przedstawiono różnice między

metodami pod względem procentowych udziałów wyników poszczególnych kategorii. Duże różnice widoczne na ryc. 11 wskazują na istnienie związku między tymi zmiennymi. Największe różnice dotyczyły wyników kategorii „największy”. Metoda 3. wykazała zaledwie 5% udział tych wyników, a metoda 4. – prawie 40%. Niewiele mniej (około 35%) niż w metodzie 4., wyników kategorii „największy” stwierdzono także w metodzie 1. Nieco mniejsze zróżnicowanie stwierdzono dla wyników kategorii „najmniejszy”, przy czym najwięcej takich wyników wykazała metoda 3. – ponad 35%, dla pozostałych metod udział tych wyników zawierał się między 17 – 25%. Na ryc. 11 zwraca uwagę duża różnica udziałów wyników kategorii „mniejszy” i „większy” dla metody 4. (odpowiednio ponad 30% i niecałe 17%).




Ryc. 11. Udział poszczególnych kategorii wyników uzyskanych w analizowanych metodach oceny uszkodzeń drzew

Test Chi-kwadrat dla wszystkich kategorii wyników wykazał, że mają one statystycznie istotny ($p$ = 0,0146) związek z metodą oceny uszkodzeń. Dokładniejszą analizę związku między metodą i kategorią wyniku przeprowadzono w oparciu o weryfikację zestawów hipotez dla czterech kategorii wyników (odpowiadających ich kategoriom), która wykazała, że taka zależność ma miejsce tylko w odniesieniu do wyników kategorii „największy”($p$ = 0,0018) (tab. 7).

Tabela 7. Różnice między liczebnościami obserwowanymi i oczekiwanymi

| Wynik wg kategorii / Metoda | najmniejszy | mniejszy | większy | największy |
|---|---|---|---|---|
| *p* = 0,0146* (dla wszystkich kategorii wyników) | | | | |
| 1 | -0,25 | -4,2 | 0,5 | 4,0 |
| 2 | -1,25 | -0,25 | 3,5 | -2,0 |
| 3 | 5,75 | 1,75 | 0,5 | -8,0 |
| 4 | -4,25 | 2,75 | -4,5 | 6,0 |
| Wartości *p* dla danej kategorii wyniku | 0,1437 | 0,3991 | 0,3409 | 0,0018* |

* wynik istotny statystycznie

Dalsza analiza dla par metod wykazała, że metoda 2., a w szczególności 1. i 4. statystycznie istotnie częściej wykazywały wyniki kategorii „największy” niż metoda 3. (tab. 8).

Tabela 8. Wyniki testu Chi-kwadrat w parach metod dla kategorii wyniku „największy”

| Metoda | Liczebności (obserwowane – oczekiwane) | | Statystyka Chi-kwadrat | df | Wartość *p* |
|---|---|---|---|---|---|
| | nie | tak | | | |
| 1 | -3,0 | 3,0 | 2,0975 | 1 | 0,1475 |
| 2 | 3,0 | -3,0 | | | |
| 1 | -6,0 | 6,0 | 10,7143 | 1 | 0,0011* |
| 3 | 6,0 | -6,0 | | | |
| 1 | 1,0 | -1,0 | 0,1905 | 1 | 0,6625 |
| 4 | -1,0 | 1,0 | | | |
| 2 | -3,0 | 3,0 | 4,0000 | 1 | 0,0456* |
| 3 | 3,0 | -3,0 | | | |
| 2 | -4,0 | 4,0 | 3,5088 | 1 | 0,0610 |
| 4 | 4,0 | -4,0 | | | |
| 3 | 7,0 | -7,0 | 13,2791 | 1 | 0,0003* |
| 4 | -7,0 | 7,0 | | | |

* wynik istotny statystycznie

# 6. DYSKUSJA

Najczęściej spotykanym w literaturze wskaźnikiem oceny uszkodzeń drzew jest procentowy udział drzew uszkodzonych z ranami sięgającymi łyka (klasy I–II) lub łyka i drewna (klasy II–III). W badaniach uszkodzeń drzew, uszkodzenia kory są często pomijane ze względu na ich znikomy wpływ na zdrowotność i rozwój drzew (Butor i Schwager 1986 za: Tsioras i Liamas 2010, Athanassiadis 1997, Bembenek i in. 2020). Zdecydowanie większe znaczenie mają uszkodzenia w obrębie łyka i drewna, ponieważ im głębsza jest rana tym większe ryzyko wniknięcia patogenów (Butor i Schwager 1986 za: Tsioras i Liamas 2010). Dla metody 1., i 2. uzyskano udziały drzew z tego typu uszkodzeniami wynoszące odpowiednio 10,2% i 11,5%. Generalnie w literaturze spotyka się niższe wartości tego wskaźnika dla metod wykorzystujących kołowe powierzchnie próbne. Bobik (2008) w drzewostanach iglastych, w których trzebieże wykonano za pomocą harwestera i forwardera, uzyskał udział drzew uszkodzonych wynoszący 5,8%, natomiast Stańczykiewicz i in. (2011) uzyskali 7% dla technologii z procesorem i przyczepą samozaładowczą, a dla technologii z wciągarką linową wskaźnik ten wyniósł 4,5%. Bardziej zbliżone wyniki do spotykanych w literaturze uzyskano w niniejszej pracy dla metody 3. Istotnym wskaźnikiem dotyczącym uszkodzeń drzew jest procentowy udział drzew z uszkodzeniem tkanki drzewnej. W przypadku tego wskaźnika zbliżone rezultaty do uzyskanych w niniejszej pracy dla metody 3. (2,05%) wykazali Stempski i in. (2013).

Drugą kategorią oceny uszkodzeń drzew, analizowaną w niniejszej pracy, były procentowe udziały drzew z ranami niskimi, dużymi i zajmującymi powyżej 1/8 obwodu strzały. Dla wskaźników tej kategorii zranień stwierdzono prawidłowość polegającą na tym, że każda zastosowana w badaniach metoda, wykazała najmniejszy udział drzew z ranami niskimi, większy z ranami powyżej 1/8 obwodu drzewa oraz największy z ranami dużymi. Przyczyny mniejszych udziałów drzew z ranami niskimi niż pozostałymi należy upatrywać w nasiębiernej zrywce drewna, w której nie miało ono kontaktu z gruntem, a tym samym z szyjami korzeniowymi drzew. Zdecydowanie największe wartości udziałów drzew z ranami niskimi, dużymi oraz powyżej 1/8 obwodu drzewa stwierdzono w metodzie 4. Wynikało to z położenia powierzchni próbnych, wyłącznie wzdłuż szlaków, przy których miała miejsce kumulacja tych uszkodzeń.

Ostatnim wskaźnikiem z kategorii udziałów drzew uszkodzonych był wskaźnik syntetycznej oceny uszkodzeń drzew. Metody 2. i 3. wykazały zbliżone wartości tego wskaźnika do wyników Suwały (2003 b).

Czwartą analizowaną kategorią oceny uszkodzeń drzew były udziały ran niskich, dużych, obejmujących powyżej 1/8 obwodu drzewa oraz ran drewna. W porównaniu do wyników Suwały (1999), w niniejszych badaniach uzyskano zbliżone udziały ran niskich, mniejsze ran wysokich, natomiast znacznie większe udziały ran średnich. Problemem przy porównywaniu wyników udziałów ran ze względu na ich wysokość na strzale z wynikami innych badaczy jest stosowanie w literaturze różnych klas wysokości, np. do i powyżej 0,7 m (Bobik 2008), lub uszkodzenia korzeni, szyi korzeniowej (do 0,3 m) oraz pnia – do i powyżej 1 m (Stańczykiewicz 2010), czy też uszkodzenia korzeni, szyi korzeniowej i pnia, ale bez określenia granicznych wysokości dla tych uszkodzeń (Dvořák i Iordache 2010). W przypadku udziałów ran dużych, zajmujących powyżej 1/8 obwodu strzały i ran drewna, w niniejszej pracy zwracają uwagę największe wartości uzyskane w metodzie 4. Przyczyny należy upatrywać – podobnie jak w przypadku udziałów drzew z tymi ranami – w lokalizacji powierzchni próbnych w tej metodzie bezpośrednio przy szlakach operacyjnych.

W pracy, poza wskaźnikami uszkodzeń obejmującymi procentowe udziały (drzew, ran), policzono także parametry ran. Pierwszym była liczba wszystkich ran na jedno drzewo uszkodzone. Podobnie jak w przypadku udziału drzew uszkodzonych, także tutaj większe wyniki stwierdzono w metodach opartych na kołowych powierzchniach próbnych. Różnice te były jednak niewielkie (około 0,1), statystycznie nieistotne. Suwała (1999) uzyskał większe wartości w zakresie 1,7–1,8. Podobny przypadek stwierdzono dla ran dużych (dla wszystkich metod), ran drewna (dla metod 1., 2. i 4) , a w szczególności ran obejmujących powyżej 1/8 obwodu (dla wszystkich metod). Nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie między metodami w zakresie liczby ran niskich, dużych i obejmujących powyżej 1/8 obwodu. Wykazano natomiast istotne statystycznie różnice dla liczby ran z uszkodzeniem tkanki drzewnej. Metoda 3. cechowała się istotnie mniejszą liczbą tych ran, w stosunku do pozostałych metod, co mogło wynikać z losowego wyboru lokalizacji powierzchni próbnych w tej metodzie.

Uzyskane w niniejszej pracy średnie wysokości występowania ran na drzewie wyniosły od 1,06 m dla metody 4., do 1,56 m dla metody 1. Stwierdzono wyraźnie większe (statystycznie istotne) średnie wysokości występowania ran w metodach opartych na kołowych powierzchniach próbnych, niż w metodach opartych na powierzchniach próbnych w kształcie kwadratu i prostokąta. Przyczyny różnic należy upatrywać w lokalizacji większej liczby ran wysokich (szczególnie na wysokości powyżej zasięgu żurawia maszyny zrywkowej) wewnątrz drzewostanu niż przy szlakach operacyjnych, ponieważ drzewa rosnące na szlakach oraz w ich bezpośrednim sąsiedztwie obalano na szlak, stąd mniejsze ryzyko wystąpienia

uszkodzeń na większej wysokości (od ścinki) u drzew bliżej szlaku. Uzyskane wysokości ran są zdecydowanie niższe niż u Suwały (1999), ale wyższe niż u Maciaka i Popczyńskiego (2019). Niższe średnie wysokości występowania ran uzyskał także Stańczykiewicz (2010). W badaniach Stańczykiewicza zdecydowanie mniejsze średnie wysokości wynikały prawdopodobnie ze zrywki wleczonej, natomiast zaskakuje mała średnia wysokość uzyskana przez Maciaka i Popczyńskiego (2019) dla zrywki nasiębiernej, dla której rany niskie powstają głównie w wyniku przypadkowego kontaktu maszyny z drzewem, co zdarza się jednak rzadziej niż kontakt żurawia z drzewem (z reguły na większej wysokości).

Wielkość powierzchni ran ma istotne znaczenie dla dalszego rozwoju drzew pozostających po wykonanym zabiegu. Uzyskane w tej pracy średnie powierzchnie ran ze wszystkich 12 pododdziałów wyniosły od 54 $cm^2$ dla metody 2., poprzez 79 $cm^2$ dla metody 3. i 83 $cm^2$ dla 1., do 90 $cm^2$ dla metody 4. Analiza statystyczna tego wskaźnika wykazała istotne różnice między metodami. W literaturze z reguły większe rany stwierdzano po pozyskaniu harwesterem (Suwała 1999, Stańczykiewicz i Kulak 2014). W porównaniu do wyników uzyskanych w niniejszej pracy zdecydowanie większą średnią powierzchnię ran wynoszącą aż 438 $cm^2$, otrzymali Maciak i Popczyński (2019), natomiast bardzo podobne wyniki uzyskali Suwała (1999) i Stańczykiewicz (2010).

W badaniach przeprowadzonych na potrzeby niniejszej pracy dokonano analizy związku metody z wynikami określonej kategorii ich wielkości (najmniejszy, mniejszy, większy, największy). Analiza ta wykazała, że metoda 4. cechowała się największym udziałem wyników kategorii „największy”, z kolei metoda 3. wykazała tych wyników zdecydowanie najmniej. Duże różnice między metodami odnotowano także w przypadku udziałów wyników kategorii „najmniejszy”. Powyższe dane uzyskane na podstawie wyników wszystkich analizowanych wskaźników potwierdzają przyjętą hipotezę, że na wartości wskaźników uszkodzeń drzew ma wpływ metoda ich oceny.

# 7. WNIOSKI

1. Badania potwierdziły przyjętą hipotezę o wpływie metody oceny uszkodzeń drzew na wartości analizowanych wskaźników, przy czym różnice między metodami były czasami znaczne, ale w zdecydowanej większości przypadków statystycznie nieistotne.
2. Różnice istotne statystycznie stwierdzono jedynie dla udziału drzew z uszkodzeniem tkanki drzewnej (klasa głębokości III) oraz dwóch parametrów ran, tj. wysokości występowania na strzale oraz ich powierzchni.
3. Badania wykazały dosyć duże różnice pomiędzy metodami w procentowych udziałach drzew z uszkodzeniami łącznie kory, łyka i drewna (klasy I–III), łyka i drewna (klasy II–III) i sięgającymi drewna (klasa III), przy czym większe wyniki stwierdzono dla metod z kołowymi powierzchniami próbnymi.
4. W grupie wskaźników obejmujących udziały drzew uszkodzonych, szczególnie duże różnice stwierdzono między metodą z mniejszymi powierzchniami kołowymi (r = 3,99 m) i metodą z powierzchniami próbnymi w kształcie kwadratu (50 x 50 m). Metoda z kwadratowymi powierzchniami wykazywała w przypadku tych wskaźników zawsze najmniejsze wyniki.
5. W grupie wskaźników obejmujących udziały drzew z ranami niskimi, dużymi i obejmującymi powyżej 1/8 obwodu drzewa, w każdym przypadku największe wyniki wykazywała metoda z prostokątnymi powierzchniami próbnymi o wielkości 1000 $m^2$.
6. Największą wartość wskaźnika syntetycznej oceny uszkodzeń drzew $U_d$ uzyskano dla metody z mniejszymi powierzchniami kołowymi (r = 3,99 m), przy czym różnice w stosunku do metody z większymi (r = 5,64 m) powierzchniami kołowymi i metody z powierzchniami prostokątnymi (1000 $m^2$) były niewielkie, natomiast metoda z powierzchniami kwadratowymi wykazała najmniejszą wartość tego wskaźnika, mniejszą o około 30% w stosunku do pozostałych metod.
7. W grupie wskaźników obejmujących udziały ran, w przypadku ran szczególnie dotkliwych (niskie, obejmujące powyżej 1/8 obwodu drzewa, duże, rany łyka oraz rany z uszkodzeniem tkanki drzewnej) największe wyniki stwierdzono w metodzie z powierzchniami próbnymi w kształcie prostokąta.
8. Nieznacznie większe średnie liczby ran na jedno drzewo uszkodzone stwierdzono w metodach oceny uszkodzeń drzew opartych na kołowych powierzchniach

próbnych. Dla metod tych uzyskano także większe średnie wysokości występowania ran na drzewie, przy czym różnice w stosunku do dwóch pozostałych metod, były w tym przypadku większe. W przypadku powierzchni ran, największe średnie wartości tego parametru wykazywała najczęściej metoda z prostokątnymi powierzchniami próbnymi o wielkości 1000 $m^2$.

9. W pracy stwierdzono statystycznie istotny związek między metodą i wielkością uzyskanych wyników (kategorii wyników: najmniejsze, mniejsze, większe i największe). Szczególnie widoczne było to w przypadku wyników największych, które metody z kołowymi powierzchniami próbnymi, a w szczególności metoda z prostokątnymi powierzchniami próbnymi, wykazywały statystycznie istotnie częściej niż metoda z powierzchniami w kształcie kwadratu.

# 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): 461–467.

BEMBENEK M., MEDERSKI P.S., STUHLMANN C., GIEFING D.F. (2008): Wpływ zrywki drewna skiderem chwytakowym na glebę w rębnych drzewostanach bukowych. W: Tendencje i problemy techniki leśnej w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego (red. H. Różański, K. Jabłoński). Katedra Techniki Leśnej UP, Poznań: 135–142.

BEMBENEK M., TSIORAS P.A., KARASZEWSKI Z., ZAWIEJA B., BAKINOWSKA E., MEDERSKI P.S. (2020): Effect of Day or Night and Cumulative Shift Time on the Frequency of Tree Damage during CTL Harvesting in Various Conditions. Forests 11: 743.

BOBIK M. (2008): Damages to Residual Stand in Commercial Thinnings. Swedish University of Agricultural Sciences. Master Thesis no. 127, Southern Swedish Forest Research Centre, Alnarp, Swedish.

BODYŁ M. (2022): Rozmiar pozyskania maszynowego w Polsce. Drwal 4: 24–28.

CHOMICZ E. (2012): Odporność świerka na hubę korzeni. Leśne Prace Badawcze 73 (2): 153−158.

DVOŘÁK J., IORDACHE E. (2010): Estimating the level of trees damages and financial losses by logging, Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, Vol. 3 (52): 37–46.

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, Prodruk: 17–24.

GIEFING D.F., BEMBENEK M., GACKOWSKI M., GRZYWIŃSKI W., KARASZEWSKI Z., KLENTAK I., KOSAK J., MEDERSKI P. S., SIEWIERT S. (2012): Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyroda Technologie 6 (3) #59.

HOFFMAN L., MEDERSKI P.S., BEMBENEK M., JAKUBOWSKI M. (2005): Analysis of soil surface damage due to mechanised thinning operations in pine stands. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie 419, Sesja Naukowa 91: 161–166

KARASZEWSKI Z., GIEFING D. F., MEDERSKI P. S., BEMBENEK M., DOBEK A., STERGIADOU A. (2013): Uszkodzenia drzewostanu w zależności od metody pozyskiwania drewna ze zrywką ciągnikiem. Leśne Prace Badawcze 74 (1): 27−34.

ŁAKOMY P., CIEŚLAK R., RODAK W., KOSTRZEWSKI T. (2001): Wpływ porażenia przez Heterobasidion annosum wybranych drzewostanów sosnowych i świerkowych na powstanie wiatrołomów i wiatrowałów w 1999 i 2000 roku. Sylwan 145 (7): 43−54.

MACIAK A., POPCZYŃSKI B. (2019): Wpływ sposobu zrywki i doświadczenia wykonawcy na wielkość uszkodzeń drzew na powierzchniach trzebieżowych Nadleśnictwa Chojnów. Sylwan 163 (1): 25−34.

MEDERSKI P.S., KARASZEWSKI Z., ROSIŃSKA M., BEMBENEK M. (2016): Dynamika zmian liczby harwesterów w Polsce oraz czynniki determinujące ich występowanie. Sylwan 160 (10): 795–804.

MOSKALIK T. (2002): Rozwój technik i technologii maszynowego pozyskiwania drewna. Sylwan 146 (10): 31–37.

STAŃCZYKIEWICZ A. (2010): Damage to trees and regeneration layer resulting from timber harvesting with the use of equipment aggregated with farm tractors in thinned mountain stands. In Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment. FORMEC 2010, July 11 – 14 Padova Italy.

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 155 (2): 129−137.

STAŃCZYKIEWICZ A., KULAK D. (2014): Uszkodzenia drzew i odnowienia w wyniku trzebieży wczesnych w wybranych drzewostanach jodłowych. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie R. 16 Zeszyt 39/2B/2014.

STEMPSKI W., WOJTKOWIAK R., PILAREK Z. 2013. Tree damage during machine timber harvesting in pine stand thinning. In: Utilization of agricultural and forest machinery

in research and teaching. Monograph. Vol. 4. Polish Academy of Art and Sciences. Commission on Agricultural, Forestry and Veterinary Sciences. No. 18, 241–252.

STEMPSKI W., JABŁOŃSKI K. (2018): Damage to Trees from Wood Extraction in Motor-Manual Wood Harvesting Technologies of Pine Stands. Baltic Forestry 24(2): 313–320.

SUWAŁA M. (1999): Uszkodzenia drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa Seria A 873: 1–86.

SUWAŁA M. (2003a): Uszkodzenia drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna w wybranych rębniach złożonych na terenach nizinnych. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa 949: 23–38.

SUWAŁA M. (2003b): Uszkodzenia drzew w drzewostanach sosnowych przy pozyskiwaniu drewna w praktyce leśnej. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa Seria A 3(959): 61–80.

TSIORAS P.A., LIAMAS D.K. (2010): Hauling damages in a mixed beech oak stand. FORMEC 2010. Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment. July 11 –14, Padova – Italy: 1–8.

VASILIAUSKAS R. (2001): Damage to trees due to forestry operation and its pathological significance in temperate forests: A literature review. Forestry 74: 319–336.

WALLENTIN C. (2007): Thinning of Norway spruce. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp: 116 pp.

WIĘSIK J. (2022): Relacje oparte na wiedzy. Drwal, 9: 5–8.

WÓJCIK K. (2020): Rozmiar uszkodzeń drzew pozostających podczas nasiębiernej zrywki w drzewostanie sosnowym przy wykorzystaniu posztucznej metody szacowania. Sylwan 164 (3): 216−225.

ZASTOCKI D., WALCZAK A. (2011) Uszkodzenia drzew w górskich przedrębnych drzewostanach sosnowych. Sylwan 155 (9): 642–650.

ŻÓŁCIAK A. (1997): Występowanie grzybów na strzałach sosny zwyczajnej (Pinus sylwestris) w obrębie ran powstałych przy wykonywaniu prac trzebieżowych. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, A, 833: 85–102.