

## SZEROKOŚCI SZLAKÓW OPERACYJNYCH I ODSTĘPY MIĘDZY NIMI W PRAKTYCE MASZYNOWEGO POZYSKIWANIA DREWNA W TRZEBIEŻACH DRZEWOSTANÓW SOSNOWYCH

Włodzimierz Stempski<sup>1</sup>✉, Dariusz Rutkowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Ekonomiki i Techniki Leśnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

<sup>2</sup>Katedra Leśnictwa i Ekologii Lasu, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
plac Łódzki 2, 10-727 Olsztyn

### ABSTRAKT

**Wstęp.** Podstawowe parametry szlaków operacyjnych to szerokość i odległość między nimi. Ich wartości zawierają stosowne branżowe wytyczne. Celem pracy była ocena rzeczywistych szerokości szlaków i odległości między nimi dla w pełni zmechanizowanej technologii pozyskiwania drewna w trzebieżach drzewostanów sosnowych.

**Materiał i metody.** Pomiarów parametrów szlaków dla technologii w pełni zmechanizowanej wykonano w pięciu drzewostanach. Dodatkowo, w celach porównawczych w jednym drzewostanie, pomierzono parametry szlaków zaprojektowanych dla technologii ręczno-maszynowej (z pilarkami). Szerokość szlaku mierzono na każdym 10-metrowym odcinku jego długości. Była ona sumą odległości od osi lepiej zachowanego śladu po przejeździe maszyny do najbliższego drzewa z jednej i drugiej strony szlaku. Odległości między szlakami mierzono w punktach granicznych 10-metrowych odcinków.

**Wyniki.** Średnie szerokości szlaków dla poszczególnych drzewostanów wynosiły od około 360 cm do prawie 480 cm, przy czym większe wartości (ponad 400 cm) stwierdzono w dwóch najstarszych drzewostanach, a mniejsze (do 380 cm) w pozostałych, młodszych. Odległości między szlakami z reguły przekraczały 20 m, które są zalecane dla technologii w pełni zmechanizowanej.

**Podsumowanie.** Zarówno w przypadku szerokości szlaków, jak i odległości między nimi statystycznie istotne różnice stwierdzono między drzewostanami. W obrębie drzewostanów różnice takie dotyczyły tylko odległości między szlakami.

**Słowa kluczowe:** pozyskiwanie drewna, szlaki operacyjne, szerokość szlaku, odstęp

### WSTĘP

W Polsce od dłuższego czasu wzrasta sukcesywnie ilość drewna pozyskiwanego maszynami wielooperacyjnymi – harwesterami (Bodył, 2019). Wprawdzie ciągle dominują technologie ręczno-maszynowe (z pilarkami), ale widoczny jest zdecydowany trend wzrostowy liczby harwesterów, których w 2015 roku

było około 530 (Mederski i in., 2016), podczas gdy 10 lat wcześniej zaledwie 20 (Jodłowski i Moskalik, 2016). Obecnie liczbę harwesterów szacuje się na około 1000. Harwestery i zrywające wyrobione przez nie drewno forwardery wymagają szlaków operacyjnych do sprawnego poruszania się po lesie. Właściwie

✉włodzimierz.stempski@up.poznan.pl, <https://orcid.org/0000-0003-2983-8504>

zaprojektowane szlaki mogą jednocześnie przyczyniać się do redukcji negatywnych skutków pracy maszyn w lesie w postaci uszkodzeń drzew (Bort i in., 1993; Han i Kellogg, 2000; Košir, 2008; Sauter i Busmann, 1994; Stempski i Jabłoński, 2018; Suwała, 2003) oraz gleby (Suwała, 2004; von Wilpert i Schäffer, 2006). Ze wzrostem liczby specjalistycznych maszyn do pozyskiwania i zrywki drewna w Polsce wiąże się większe zainteresowanie tematem dostępności drzewostanów dla tych maszyn. W praktyce przez długi czas brakowało adekwatnych do dynamicznie zmieniającej się rzeczywistości wytycznych wykonywania szlaków operacyjnych, a do 2016 roku nie było również formalnego obowiązku ich stosowania. W połowie lat 90. w Instytucie Badawczym Leśnictwa opracowano „Wytyczne do projektowania i wykonywania szlaków operacyjnych” (Rzadkowski, 1995), ale dotyczyły one głównie technologii ręczno-maszynowych z wleczoną oraz półpodwieszoną zrywką drewna i w znacznej części dosyć szybko straciły aktualność (Jodłowski, 2010). Sytuacja uległa zmianie w połowie 2016 roku, kiedy w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych wprowadzono obowiązek stosowania szlaków, które należało zakładać według nowych „Wytycznych do udostępniania drzewostanów sieci szlaków operacyjnych”. Dla harwesterów i nasiębiernych środków zrywkowych przewidywano w nich szlaki o szerokości 4,5–5 m, w odstępach podwójnego wysięgu żurawia harwestera – około 20 m. Obecnie są one już nieaktualne, ponieważ od 1 stycznia 2020 roku obowiązują „Zasady użytkowania lasu”, których druga część poświęcona jest udostępnianiu drzewostanów szlakami operacyjnymi. Zmniejszono maksymalną szerokość szlaku do około 4 m (odległości między szlakami pozostawiono bez zmian).

Celem pracy była ocena szerokości szlaków i odległości między nimi w praktyce w pełni zmechanizowanego pozyskiwania drewna z trzebieży drzewostanów sosnowych.

## TEREN I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w sześciu drzewostanach na terenie Puszczy Noteckiej, w Nadleśnictwie Oborniki (tab. 1). W pięciu z nich objęto pomiarami szlaki dla w pełni zmechanizowanej technologii pozyskiwania drewna (harwesterami), a w szóstym (1105i), w celach

**Tabela 1.** Opis drzewostanów, w których prowadzono pomiary szlaków

**Table 1.** Description of stands, in which strip road parameters were measured

Pododdział Subcompartment	990i	988h	64a	992k	972i	1105i
Gatunek Spiecies	So	So	So	So	So	So
Siedlisko Habitat	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw	Bśw
Wiek, lata Age, years	39	68	58	81	35	52
Pierśnica, cm DBH, cm	14	26	22	25	10	20
Wysokość, m Height, m	14	23	21	22	12	19
Wiek szlaków, lata Age of strip roads, years	2	9	1	9	5	18

porównawczych, pomierzono parametry szlaków dla technologii ręczno-maszynowej (z pilarkami).

W pierwszych trzech pododdziałach objęto pomiarami szerokości po sześć szlaków operacyjnych, w pozostałych – po pięć. Odległość między szlakami, przyjęta na etapie ich projektowania, w drzewostanach, w których pozyskiwano drewno harwesterem wynosiła około 20 m, a w pododdziale 1105i – około 30 m. Szerokość szlaku mierzono na każdym 10-metrowym odcinku jego długości. Granice odcinków zaznaczono na gruncie farbą, a następnie pomierzono na nim odległości od osi lepiej zachowanego śladu po przejeździe maszyny do najbliższego drzewa z jednej i drugiej strony szlaku. Odległości te mierzono pod kątem prostym do osi śladu. Szerokość szlaku na danym odcinku jego długości była sumą wyników tych pomiarów, a całego szlaku – średnią z wszystkich odcinków (Bobik, 2008; Modig i in., 2012). Zarówno długości poszczególnych odcinków szlaku, jak i odległości do drzew mierzono taśmą samozwijającą z dokładnością do 5 cm.

Pomiary odległości między szlakami wykonano w miejscach oznaczeń na gruncie punktów granicznych 10-metrowych odcinków długości szlaku. Odległość mierzono między osiami szlaków dalmierzem laserowym (TruPulse 360B) z dokładnością do 30 cm.

W ramach prac kameralnych policzono podstawowe charakterystyki statystyczne szerokości szlaków i odległości między nimi (średnia  $\pm$ SD, mediana, minimum, maksimum i współczynnik zmienności). Charakterystyki policzono dla każdego i wszystkich szlaków w każdej lokalizacji (pododdziale). Statystyczna weryfikacja wyników polegała na ocenie istotności różnic między wartościami szerokości szlaków i odległości między nimi w każdej lokalizacji i między lokalizacjami. W przypadku oceny między lokalizacjami brano pod uwagę tylko drzewostany, w których drewno pozyskiwano harvesterem. W zależności od charakteru rozkładu wyników szerokości szlaków i odstępów między nimi, zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji lub jej nieparametryczny odpowiednik – test Kruskala-Wallisa. Statystycznej weryfikacji poddano także różnicę między szerokością

szlaku dla technologii pozyskiwania drewna w pełni zmechanizowanej i ręczno-maszynowej (test U Manna-Whitneya). Weryfikacje hipotez statystycznych przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

## WYNIKI

Średnie i pozostałe statystyki opisowe szerokości szlaków dla technologii maszynowej i ręczno-maszynowej (oddział 1105i) zawarto w tabeli 2. Analizując wyniki dla technologii maszynowej, dane zawarte w tabeli 2 wskazują na wyraźny podział lokalizacji na dwie grupy – ze szlakami o szerokości do i ponad 4 m. Wyjątek od tej reguły stanowił szlak nr 4 w wydzieleniu 64a, o średniej szerokości prawie 420 cm, podczas gdy szerokości pozostałych nie przekroczyły 385 cm. Średnie szerokości w wydzieleniach z węższymi

**Tabela 2.** Podstawowe statystyki opisowe szerokości szlaków, cm

**Table 2.** Basic descriptive statistics for strip road width, cm

Szlak Strip road	Średnia Mean $\bar{x}$ ( $\pm$ SD)	Mediana Median Me	Minimum	Maksimum Maximum	Współczynnik zmienności Coefficient of variation <i>V</i>
1	2	3	4	5	6
Pododdział 990i – Subcompartment 990i					
1	360 ( $\pm$ 37)	347	315	425	10,4
2	368 ( $\pm$ 37)	363	320	465	10,1
3	366 ( $\pm$ 34)	366	315	438	6,4
4	386 ( $\pm$ 48)	371	325	505	12,4
5	371 ( $\pm$ 40)	380	315	440	10,7
6	360 ( $\pm$ 51)	334	318	477	14,1
Razem – Total	369 ( $\pm$ 41)	361	315	505	11,1
Pododdział 988h – Subcompartment 988h					
1	480 ( $\pm$ 126)	420	355	850	26,2
2	416 ( $\pm$ 54)	410	305	515	12,9
3	410 ( $\pm$ 71)	390	303	555	17,2
4	403 ( $\pm$ 89)	390	295	630	22,1
5	446 ( $\pm$ 145)	405	300	940	32,4
6	400 ( $\pm$ 59)	380	305	480	14,8
Razem – Total	426 ( $\pm$ 99)	400	295	940	12,1

**Tabela 2 – cd. / Table 2 – cont.**

1	2	3	4	5	6
Pododdział 64a – Subcompartment 64a					
1	365 (±43)	363	315	450	11,8
2	372 (±53)	358	310	465	14,2
3	379 (±59)	370	315	513	15,5
4	418 (±68)	408	310	597	16,2
5	384 (±61)	370	310	505	15,8
6	367 (±39)	350	308	430	10,6
Razem – Total	381 (±56)	370 a	308	597	14,8
Pododdział 992k – Subcompartment 992k					
1	464 (±140)	405	320	870	30,2
2	465 (±95)	450	350	715	20,5
3	488 (±121)	445	312	790	24,8
4	504 (±101)	490	360	690	20,0
5	455 (±91)	405	370	650	20,0
Razem – Total	477 (±111)	445 c	312	870	23,4
Pododdział 972i – Subcompartment 972i					
1	345 (±21)	344	310	375	6,2
2	365 (±33)	365	310	420	8,9
3	381 (±52)	365	340	470	13,6
4	358 (±38)	365	305	425	10,8
5	363 (±21)	360	330	390	5,7
Razem – Total	363 (±35)	360 a	305	470	9,7
Pododdział 1105i – Subcompartment 1105i					
1	381 (±62)	370	275	535	16,2
2	356 (±38)	348	300	415	10,7
3	342 (±35)	335	280	410	10,3
4	356 (±28)	350	320	410	7,9
5	361 (±53)	350	275	450	14,6
Razem – Total	359 (±45)	355	275	535	12,64

SD – odchylenie standardowe.

SD – standard deviation.

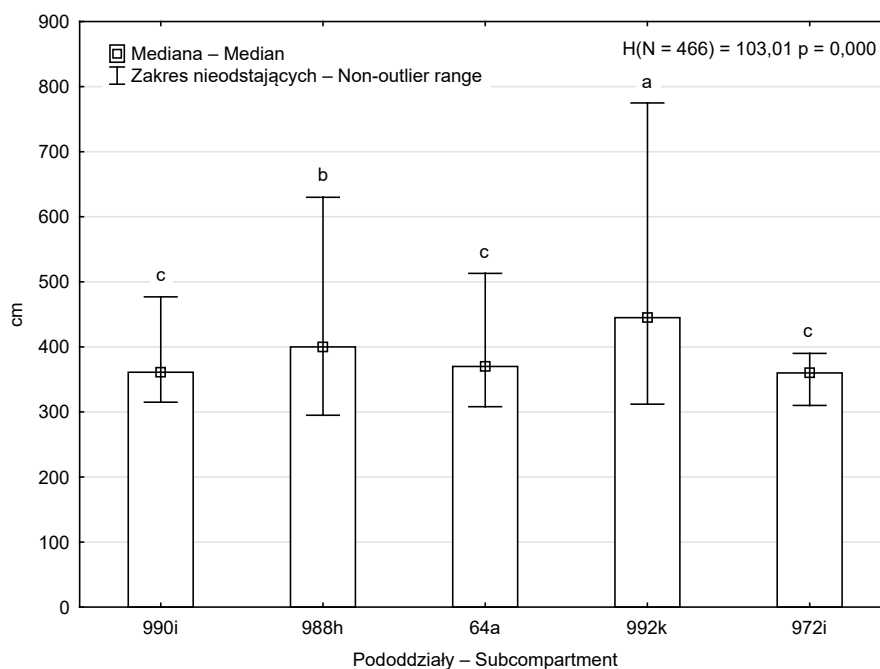
szlakami wynosiły od 345 cm do niecałych 390 cm (z wyjątkiem szlaku nr 4 w oddziale 64a), a szerszych od 400 cm do nieco ponad 500 cm. Minimalna szerokość w grupie węższych szlaków wynosiła 305 cm, a maksymalna 505 cm (z wyjątkiem szlaku nr 4 w oddziale 64a), natomiast w grupie szerszych było to odpowiednio 295 cm i 940 cm. Zróżnicowanie wyników szerokości szlaków było z reguły małe ( $5,7\% \leq V \leq 17,2\%$ ), jedynie w przypadku trzech szlaków w wydzieleniu 988h i całego wydzielenia 992k stwierdzono zmienność przeciętną ( $20\% \leq V \leq 32,4\%$ ).

Statystyczna weryfikacja wyników z poszczególnych lokalizacji wykazała brak istotnych różnic między szerokościami szlaków (prawdopodobieństwo testowe  $p$  testu Kruskala-Wallisa wynosiło od 0,155 do 0,5561).

W technologii ręczno-maszynowej (oddział 1105i) średnie szerokości szlaków były zbliżone do szerokości węższych szlaków dla technologii maszynowej (340–380 cm; tab. 2). Podobnie jak we wszystkich lokalizacjach dla technologii maszynowej, zmienność

wyników była mała ( $7,9\% \leq V \leq 16,2\%$ ) i także tutaj nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między szerokościami szlaków (prawdopodobieństwo testowe  $p$  analizy wariancji wynosiło 0,255).

Średnie szerokości wszystkich szlaków (pozycja „razem” w tabeli 2) dla technologii maszynowej zawierały się od około 360–380 cm w lokalizacjach z węższymi szlakami do 425–480 cm z szerszymi. Zróżnicowanie wyników było na poziomie małej zmienności ( $9,7\% \leq V \leq 14,8\%$ ), jedynie w oddziale 992k stwierdzono zmienność przeciętną. Statystyczna weryfikacja wykazała istotne różnice między lokalizacjami. Wyniki szerokości z obydwu pododdziałów z szerszymi szlakami (988h i 922k) były istotnie większe od wyników z wszystkich pododdziałów z węższymi szlakami. Poza tym w grupie wydzieleni z szerszymi szlakami, istotnie szersze były szlaki w wydzieleniu 992k w porównaniu z 988h. Nie stwierdzono natomiast statystycznie istotnych różnic w wartościach szerokości szlaków między wydzieleniami ze szlakami węższymi (rys. 1).



**Rys. 1.** Wykres pudełkowy szerokości szlaków w poszczególnych pododdziałach (różne litery na rysunku 1 i pozostałych oznaczają różnice istotne statystycznie)

**Fig. 1.** Box plot for strip road width in individual subcompartments (different letters in Figure 1 and successive figures indicate statistically significant differences)

Średnie i pozostałe statystyki opisowe odległości między szlakami dla technologii maszynowej i ręczno-maszynowej (oddział 1105i) zawarto w tabeli 3.

Wyniki dla technologii maszynowej wskazują, że w większości przypadków średnie odległości przekraczały 20 m. Przewagę odległości poniżej 20 m stwierdzono tylko w dwóch pododdziałach (990i oraz 64a). Minimalna średnia odległość między szlakami wynosiła nieco ponad 10 m, a maksymalna – prawie 30 m,

przy czym różnice między wartościami skrajnymi wynosiły z reguły kilkanaście metrów (13–16). Zróżnicowanie wyników było generalnie na poziomie małej zmienności ( $4,6\% \leq V \leq 18,7\%$ ), zmienność przeciętną ( $20\% \leq V \leq 26,4\%$ ) stwierdzono jedynie w przypadku, w którym minimalna odległość wynosiła około 10 m. W przeciwieństwie do wyników szerokości szlaków, wystąpiły tutaj statystycznie istotne różnice dla trzech z pięciu lokalizacji (rys. 2, 3, 4). W pododdziale 990i

**Tabela 3.** Podstawowe statystyki opisowe odległości między szlakami, m  
**Table 3.** Basic descriptive statistics for distance between strip roads, m

Szlak Strip road	Średnia Mean $\bar{x}$ ( $\pm$ SD)	Mediana Median Me	Minimum	Maksimum Maximum	Współczynnik zmienności Coefficient of variation <i>V</i>
1	2	3	4	5	6
Pododdział 990i – Subcompartment 990i					
1–2	16,6 ( $\pm$ 3,1)	15,3	13,0	25,7	18,73
2–3	17,4 ( $\pm$ 2,1)	17,2	15,4	23,0	12,08
3–4	18,9 ( $\pm$ 1,8)	18,9	16,0	22,9	9,50
4–5	20,3 ( $\pm$ 1,7)	20,3	17,1	23,4	8,36
5–6	19,7 ( $\pm$ 1,6)	19,8	16,5	22,6	8,31
Razem – Total	18,7 ( $\pm$ 2,5)	19,0 a	13,0	25,7	13,21
Pododdział 988h – Subcompartment 988h					
1–2	24,7 ( $\pm$ 4,0)	25,2	17,4	33,0	16,07
2–3	25,7 ( $\pm$ 2,9)	25,5	19,5	31,9	11,10
3–4	23,8 ( $\pm$ 3,5)	23,7	17,9	32,0	14,88
4–5	25,0 ( $\pm$ 3,4)	24,2	19,7	33,4	13,55
5–6	23,4 ( $\pm$ 2,6)	23,1	19,0	28,0	11,28
Razem – Total	24,5 ( $\pm$ 3,4)	24,3 b	17,4	33,4	13,74
Pododdział 64a – Subcompartment 64a					
1–2	19,7 ( $\pm$ 1,5)	19,8	15,9	22,2	7,37
2–3	19,7 ( $\pm$ 1,2)	19,7	17,8	21,9	5,88
3–4	20,4 ( $\pm$ 1,1)	20,3	18,6	22,4	5,18
4–5	21,3 ( $\pm$ 1,0)	21,5	19,4	23,3	4,63
5–6	19,7 ( $\pm$ 1,5)	20,0	16,4	21,6	7,72
Razem – Total	20,2 ( $\pm$ 1,4)	20,2 c	15,9	23,3	6,74

**Tabela 3 – cd. / Table 3 – cont.**

1	2	3	4	5	6
Pododdział 992k – Subcompartment 992k					
1–2	29,8 (±2,1)	29,9	26,2	33,2	7,05
2–3	28,4 (±2,3)	28,5	23,0	32,5	8,20
3–4	28,1 (±3,7)	26,9	23,3	35,7	13,40
4–5	26,2 (±4,0)	26,0	20,2	32,7	15,19
5–6	25,3 (±1,4)	25,5	23,1	27,8	5,54
Razem – Total	27,7 (±3,3)	27,2 d	20,2	35,7	11,94
Pododdział 972i – Subcompartment 972i					
1–2	22,7 (±3,6)	23,0	17,7	28,3	15,78
2–3	24,0 (±3,7)	23,7	18,2	30,0	15,52
3–4	23,7 (±3,9)	24,1	18,0	30,6	16,50
4–5	19,6 (±5,2)	21,1	10,3	25,6	26,43
Razem – Total	22,5 (±4,4)	23,5 b	10,3	30,6	19,42
Pododdział 1105i – Subcompartment 1105i					
1–2	27,5 (±2,3)	27,5 a	23,6	33,2	8,55
2–3	28,7 (±3,6)	30,2 a	17,8	32,6	12,69
3–4	27,1 (±2,6)	27,2 b	23,2	32,2	9,70
4–5	28,5 (±3,0)	27,9 a	23,6	35,0	10,61
Razem – Total	27,7 (±2,8)	27,7	17,8	33,2	9,75

SD – odchylenie standardowe.

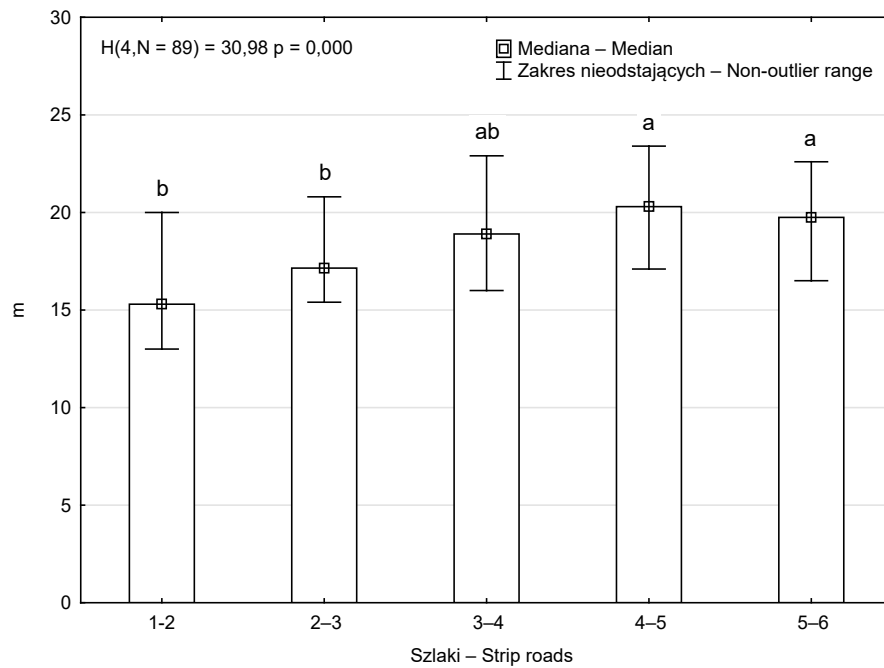
SD – standard deviation.

dwie około 20-metrowe odległości były istotnie większe od odległości wynoszących około 16,5 i 17,5 m (rys. 2), z kolei w pododdziale 64a odległości między szlakami 4 i 5 były istotnie większe od wszystkich pozostałych (rys. 3), a w 992k odległość między pierwszym i drugim szlakiem była istotnie większa od odległości między szlakami 3 i 4 oraz 4 i 5. Od odległości między szlakami 4 i 5 istotnie większa była także odległość między szlakami 2 i 3 (rys. 4). W wydzieleniach 988h i 972i różnice statystycznie istotne nie wystąpiły (prawdopodobieństwo testowe  $p$  testu Kruskala-Wallis wyniosło odpowiednio 0,158 i 0,115).

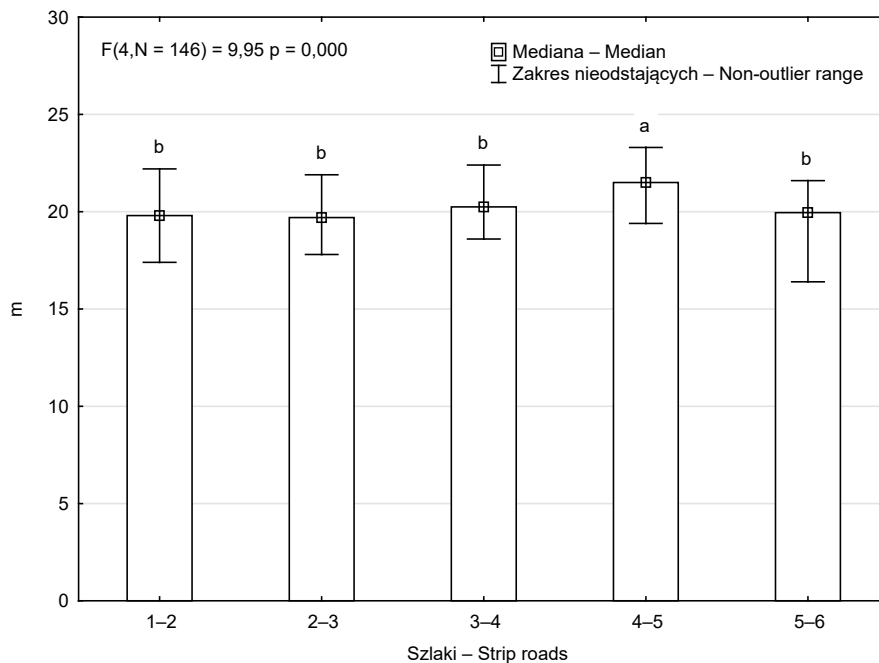
Średnie odległości między szlakami dla technologii ręczno-maszynowej (oddział 1105i) wynosiły od 27 m do prawie 29 m, przy minimalnej wartości

prawie 18 m, a maksymalnej 35 m. Zróznicowanie wyników, podobnie jak w technologii w pełni zmechanizowanej, było na poziomie małej zmienności ( $8,6\% \leq V \leq 12,7\%$ ). Statystyczna weryfikacja wykazała brak istotnych różnic między odległościami ( $p = 0,115$ ).

Średnie odległości między szlakami dla poszczególnych lokalizacji (pozycja „razem” w tabeli 3), w których pozyskiwanie drewna wykonano harvesterem, generalnie przekroczyły 20 m, jedynie w jednym przypadku (pododdział 990i) było mniej (18,7 m), a maksymalna wartość wyniosła prawie 28 m. Statystyczna weryfikacja wyników wykazała w tym przypadku istotne różnice między lokalizacjami. Odległości z pododdziałów 990i oraz 64a były istotnie mniejsze od odległości z wszystkich pozostałych,

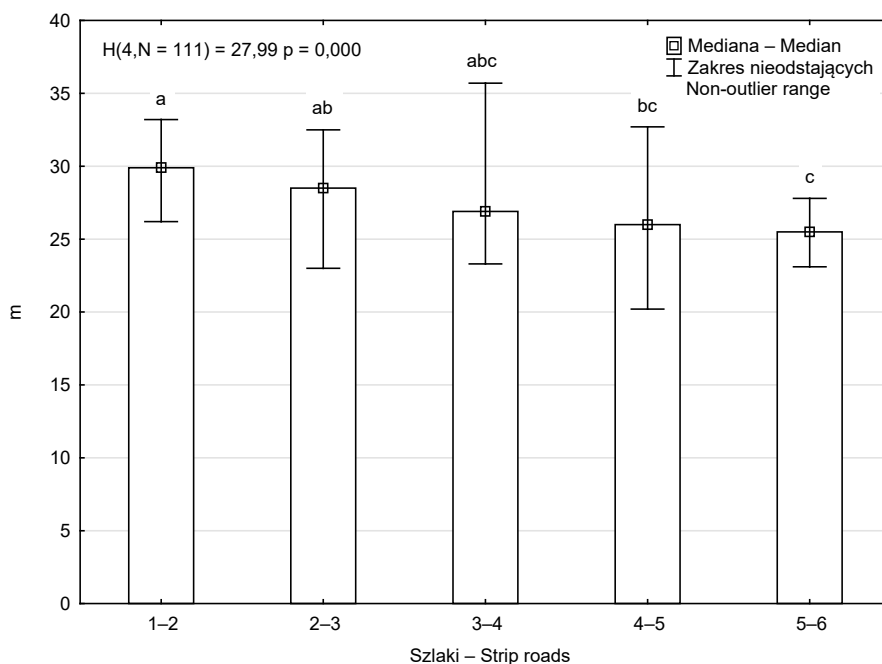


**Rys. 2.** Wykres pudełkowy odległości między szlakami w pododdziale 990i  
**Fig. 2.** Box plot for distance between strip roads in subcompartment 990i

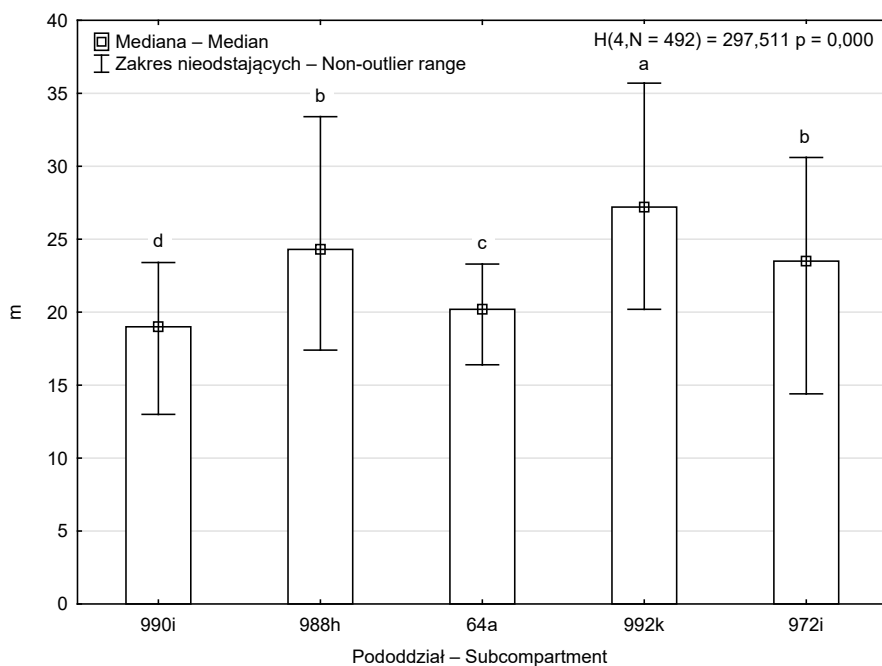


**Rys. 3.** Wykres pudełkowy odległości między szlakami w pododdziale 64a  
**Fig. 3.** Box plot for distance between strip roads in subcompartment 64a





**Rys. 4.** Wykres pudełkowy odległości między szlakami w pododdziale 992k  
**Fig. 4.** Box plot for distance between strip roads in subcompartment 992k



**Rys. 5.** Wykres pudełkowy odległości między szlakami w poszczególnych pododdziałach  
**Fig. 5.** Box plot for distance between strip roads in individual subcompartments

a z pododdziału 992k istotnie większe od wszystkich pozostałych. Istotnie większe od pozostałych (poza odległościami z 972i) były także odległości w pododdziale 988h. Poza tym statystycznie istotnie większe wyniki odległości stwierdzono w wydzieleniu 972i w porównaniu z 64a (rys. 5).

Zgodnie z przyjętą metodyką porównano szerokości szlaków dla technologii maszynowej i ręczno-maszynowej (parami). Test U Manna-Whitneya wykazał, że szlaki w pododdziale 1105i o średniej szerokości 359 cm były istotnie węższe niż szlaki dla technologii maszynowej z pododdziałów 988h ( $p = 0,000$ ), 992k ( $p = 0,022$ ) i 64a ( $p = 0,000$ ).

## DYSKUSJA

W badaniach mierzono szerokości szlaków wyciętych wcześniej: rok, 2 lata, 5, 9 i 18 lat. Według przyjętej metodyki szerokość szlaku była sumą odległości do najbliższych drzew z jednej i drugiej strony szlaku na każdym 10-metrowym odcinku jego długości. Postępowanie takie pozwalało uzyskać konkretny wynik średniej szerokości całego szlaku. Operowanie dokładnymi szerokościami na etapie projektowania szlaków jest niemożliwe, ponieważ nie zakłada się ich trwałego oddzielenia od reszty drzewostanu. Między innymi z tego względu szerokość szlaku może być różnie interpretowana. Zależnie od podejścia, parametr ten można rozpatrywać z punktu widzenia produkcji drewna oraz z punktu widzenia jego pozyskania, istnieje także pojęcie tzw. szerokości zewnętrznej (Isomäki i Niemistö, 1990). Szerokość szlaku z perspektywy produkcji drewna decyduje o wielkości powierzchni wyłączzonej z dalszej produkcji surowca drzewnego (Stempski i in., 2020), a tym samym o wielkości strat będących konsekwencją wycięcia szlaku. Warto zaznaczyć, że nie cała powierzchnia jest wyłączona z dalszej produkcji, ponieważ z przestrzeni nad szlakiem korzystają korony drzew granicznych, wykazując zwiększony przyrost z prześwietlenia (Eriksson, 1987; Horák i Novák, 2009; Kuliešis i in., 2018; Mäkinen i in., 2006; Wallentin i Nilsson, 2011). Z kolei szerokość szlaku z punktu widzenia pozyskania drewna (tzw. szerokość celowa) decyduje o przestrzeni, jaką uzyska maszyna do swobodnego poruszania się. Natomiast szerokość zewnętrzna to odległość między wszystkimi drzewami graniczącymi ze szlakiem. W przeciwieństwie do

szerokości celowej nie pomija się w tym przypadku powiększenia szerokości wynikającego z różnych odległości drzew granicznych od osi szlaku. Szerokości podawane jako zalecane w stosownych wytycznych, to według powyższego podziału tzw. szerokości celowe, które powinny być możliwie niewielkie (żeby redukcja potencjału produkcyjnego drzewostanu była jak najmniejsza), a jednocześnie na tyle duże, by umożliwiły swobodne poruszanie się maszyn bez wyrządzenia szkód w lesie.

Dla technologii w pełni zmechanizowanych najmniejsza szerokość szlaku wynosiła ponad 360 cm, a największa prawie 480 cm, przy czym mniejsze szerokości uzyskano w młodszych drzewostanach, a większe w starszych. Zależność szerokości szlaku od wieku drzewostanu była bardzo wyraźna. Największą szerokość stwierdzono w najstarszym, 81-letnim drzewostanie, mniejszą o blisko 0,5 m – w drzewostanie prawie 70-letnim, a najmniejszą – w drzewostanie 35-letnim. Dla technologii ręczno-maszynowej (z pilarką) stwierdzono najmniejszą szerokość nieprzekraczającą 3,6 m. Została uzyskana w drzewostanie 55-letnim, więc starszym od tego, w którym wykazano nieco większą szerokość dla technologii w pełni zmechanizowanej. Wynikało to z mniejszej nominalnej wartości tego parametru, którą przyjęto dla tej technologii na etapie projektowania szlaków (3,5 m, a dla technologii w pełni zmechanizowanych – ok. 4 m). Większe szerokości szlaków w starszych drzewostanach wynikają z generalnie większych odległości między drzewami. Dodatkowo wpływ na zwiększenie średniej szerokości szlaków w takich drzewostanach może mieć obecność luk, które są większe. Najszersze szlaki zostały wycięte raptem 9 lat wcześniej (w wieku ok. 60 i 72 lat) i jeżeli na etapie ich wyznaczania w terenie wykorzystano luki (zgodnie z ówczesnymi wytycznymi), to mogły one wpłynąć na zwiększenie średniej szerokości.

W kontekście wykazanej w badaniach maksymalnej szerokości 477 cm w drzewostanie ponad 80-letnim może nieco dziwić maksymalna szerokość szlaku 5 m zapisana w wytycznych z 2016 roku. Tak duża szerokość przyjęta na etapie wycinania szlaków powiększy się jeszcze z wiekiem, co potwierdzają wyniki z niniejszej pracy. Można zatem oczekiwać, że nawet tak duża początkowa szerokość powiększy się z czasem, znacznie przekraczając 5 m, co nie znajduje

racjonalnego uzasadnienia. Poza tym zapis ten był niezgodny z niechęcią większości leśników do szlaków o dużej szerokości (Czarnecki, 2020).

Wykazane w badaniach odległości między szlakami dla technologii w pełni zmechanizowanej w większości przypadków przekroczyły zalecane 20 m, a z kolei dla technologii ręczno-maszynowej nie osiągnęły 30 m wskazywanych w wytycznych z 1995 roku (szlaki wycięto w 1999). Warto zwrócić uwagę, że odległości między szlakami dla technologii w pełni zmechanizowanej były tym większe, im więcej czasu upłynęło od wycięcia szlaków (2008 – 24,5–27,5 m, 2012 – 22,5 m, 2015/16 – 18,7–20,2 m). Prawdopodobnie miało to związek ze wzrostem liczby harwesterów w Polsce w tym okresie, co skutkowało większą akceptacją dla mniejszych odstępów między szlakami, których wymagają te maszyny.

## PODSUMOWANIE

Badania wykazały brak statystycznie istotnych różnic między szerokościami szlaków w obrębie poszczególnych pododdziałów dla technologii zarówno w pełni zmechanizowanej, jak i ręczno-maszynowej. Różnice takie dla technologii z harwesterem stwierdzono między pododdziałami (starsze drzewostany – szersze szlaki, młodsze – węższe).

Szerokość szlaków zwiększała się sukcesywnie z wiekiem drzewostanów, w których prowadzono pomiary.

W trzech lokalizacjach (pododdziałach), z pięciu, w których pozyskiwano drewno harwesterem, występowały statystycznie istotne różnice odległości między szlakami. Różnice takie dla tej technologii były również między pododdziałami. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między odległościami dla technologii ręczno-maszynowej.

## PIŚMIENNICTWO

Bobik, M. (2008). Damages to residual stand in commercial thinnings. Master Thesis no. 127. Swedish University of Agricultural Sciences. Southern Swedish Forest Research Centre Alnarp.

Bodył, M. (2019). Rozmiar pozyskania maszynowego w Polsce [Volume of timber harvested by mechanized felling in Poland]. *Drwal*, 3, 5–9 [in Polish].

Bort, U., Mahler, G., Pfeil, C. (1993). Mechanisierte Holzernte. Wechselwirkungen von Erschliessungsdichte, Pfléglichkeit und Betriebserfolg. *Forsttech. Inf.*, 11, 121–124.

Czarnecki, J. (2020). Szlak zrywkowy jako element procesu pielęgnacji drzewostanu [Strip road as an element of stand tending processes]. *Przeł. Leśn.*, 3, 19 [in Polish].

Eriksson, H. (1987). New results from plot no. 5 at Sperlingsholm estate in southwestern Sweden in the European Stemnumber Experiment in *Picea abies*. *Scand. J. For. Res.*, 2(1–4), 85–98.

Han, H. S., Kellogg, L. D. (2000). Damage characteristics in young Douglas-fir stands from commercial thinning with four timber harvesting systems. *West. J. Appl. For.*, 15(1), 27–33.

Horák, J., Novák, J. (2009). Effect of stand segmentation on growth and development of Norway spruce stands. *J. For. Sci.*, 55(7), 323–329.

Isomäki, A., Niemistö, P. (1990). Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in southern Finland. *Folia For.*, 756.

Jodłowski, K. (2010). Szlaki zrywkowe w różnych kategoriach cięć [Strip roads in different cutting categories]. *Biblioteczka Leśniczego 316*. Warszawa: Wyd. Świat [in Polish].

Jodłowski, K., Moskalik, T. (2016). Uszkodzenia drzew i gleby w procesie pozyskiwania drewna [Damage to trees and soil in the process of timber harvesting]. *Biblioteczka Leśniczego 381*. Warszawa: Wyd. Świat [in Polish].

Košir, B. (2008). Damage to young forest due to harvesting in shelterwood systems. *Croat. J. For. Eng.*, 29(2), 141–153.

Kuliešis, A., Aleinikovas, M., Linkevičius, E., Saladis, J., Škėma, M., Šilinskas, B., Beniušienė, L. (2018). The impact of strip roads on the productivity of spruce plantations. *Forests*, 9(10), 640.

Mäkinen, H., Isomäki, A., Hongisto, T. (2006). Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots pine and Norway spruce in Finland. *Forestry*, 79(1), 103–121.

Mederski, P. S., Karaszewski, Z., Rosińska, M., Bembenek, M. (2016). Dynamika zmian liczby harwesterów w Polsce oraz czynniki determinujące ich występowanie [Dynamics of harvester fleet change in Poland and factors determining machine occurrence]. *Sylvan*, 160(10), 795–804 [in Polish].

Modig, E., Magnusson, B., Valinger, E., Cedergren, J., Lundqvist, L. (2012). Damage to residual stand caused by

- mechanized selection harvest in uneven-aged *Picea abies* dominated stands. *Silva Fenn.*, 46(2), 267–274.
- Rzadkowski, S. (1995). Wytyczne do projektowania i wykonywania szlaków operacyjnych [Guidelines for design and preparation of strip roads]. Warszawa: IBL [in Polish].
- Sauter, U. H., Busmann, C. (1994). Bestandesschäden bei der Durchforstung von Fichtenbeständen mit Kranvollernern unter Berücksichtigung unterschiedlicher Rückegassenabstände. *Forsttech. Inf.*, 12(1994), 137–141.
- Stempski, W., Jabłoński, K. (2018). Damage to trees from wood extraction in motor-manual wood harvesting technologies in thinnings in pine stands. *Baltic For.*, 24(2), 313–320.
- Stempski, W., Jabłoński, K., Jakubowski, J. (2020). Ocena możliwości rekompensaty miąższości drzew usuniętych ze szlaków zrywkowych zwiększonym przyrostem drzew granicznych [Assessing the possibility for the compensation of the volume of trees removed from the strip-roads by the increased increment of the edge trees]. *Sylvan*, 164(01), 16–24 [in Polish].
- Suwała, M. (2003). Uszkodzenia drzew w drzewostanach sosnowych przy pozyskiwaniu drewna w praktyce leśnej [Tree damage in pine stands resulting from wood harvesting in forest practice]. *Pr. Inst. Bad. Leśn. A*, 3(959), 61–80 [in Polish].
- Suwała, M. (2004). Uszkodzenia gleby w drzewostanach sosnowych przy pozyskiwaniu drewna w praktyce leśnej [Soil disturbances during wood harvesting in pine stands in forest practice]. *Leśn. Pr. Bad.*, 1, 87–101 [in Polish].
- von Wilpert, K., Schäffer, J. (2006). Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: A preliminary study. *Eur. J. For. Res.*, 125(2), 129–138.
- Wallentin, C., Nilsson, U. (2011). Initial effect of thinning on stand gross stem-volume production in a 33-year-old Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand in Southern Sweden. *Scand. J. For. Res.*, 26(S11), 21–35.

## THE WIDTH AND SPACING OF STRIP ROADS IN PRACTICE OF MECHANIZED TIMBER HARVESTING IN THINNING OF PINE STANDS

### ABSTRACT

**Introduction.** Basic parameters of strip roads include their width and the distance between them (their spacing). Values of these parameters are specified in respective binding guidelines. The aim of this study was to assess actual widths of strip roads and their spacing for mechanized timber harvesting in thinning of pine stands.

**Material and methods.** Parameters of strip roads for mechanized harvesting were measured in five stands. Additionally – for comparative purposes – in one stand strip road measurements were taken for the motor-manual felling technology. Strip road width was measured at each 10-m section of its length. It was the sum of the distance from the tracks of machine passage to the nearest tree from both sides of the road. Distances between strip roads were measured in border points of 10-m strip road sections.

**Results.** Mean strip road widths for individual stands ranged from approx. 360 cm to almost 480 cm, with greater values (over 400 cm) recorded in the two oldest stands and smaller (max. 380 cm) in the other, younger stands. Distances between the strip roads as a rule were greater than the 20 m recommended for mechanized timber harvesting.

**Conclusions.** Both in the case of strip road width and distances between them statistically significant differences were found between stands (compartments). Within stands such differences were recorded only for the distance between strip roads.

**Keywords:** timber harvesting, strip roads, strip road width, spacing