

Marian SUWAŁA
Instytut Badawczy Leśnictwa
Zakład Użytkowania Lasu
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 Roku, nr 3
00-973 Warszawa
e-mail: M.Suwala@ibles.waw.pl

USZKODZENIA DRZEW I GLEBY PRZY POZYSKIWANIU DREWNA W PÓŻNYCH TRZEBIEŻACH DRZEWOSTANÓW SOSNOWYCH

DAMAGES OF TREES AND SOIL CAUSED AT TIMBER HARVESTING IN LATE THINNINGS
OF PINE STANDS

Abstract. *The significant influence of methods and technological processes at timber harvesting and the distances between strip roads on tree and soil damages were presented in the paper. Indexes of tree and soil surface damages were prepared and applied for damage assessment. Short-wood method in which chain saw and forwarder are used and whole-stem method with chain saw and horse caused the least damages. Small damages was also found when a harvester and forwarder were used in a short-wood method. Properly established strip roads can limit the damages.*

Key words: *pine stands thinning, timber harvesting, tree and soil damages.*

1. WSTĘP

Stosowanie metod pozyskiwania drewna przyjaznych dla lasu nabiera coraz większego znaczenia ze względu na jego zagrożenia, wynikające z powstających uszkodzeń. Należy przy tym uwzględnić nowe możliwości w zakresie technologii i środków technicznych, które mogą wpłynąć na ograniczenie zagrożeń.

Do najczęściej wykazywanych i zaliczanych do najpoważniejszych uszkodzeń lasu przy pozyskiwaniu drewna należą uszkodzenia drzew i gleby. Inne zagrożenia, choć ciągle istniejące i trudne do wyeliminowania, jak np. oleje przedostające się do gleby, a także emisja spalin oraz hałasu, wydają się mieć coraz mniejsze znaczenie, w związku z możliwością stosowania bioolei oraz zabezpieczeń w budowie maszyn (układy zabezpieczające przed awaryjnym wyciekiem oleju, zmniejszające jego zużycie do smarowania urządzeń tnących, katalizatory spalin itd.).

Maszyny do ścinki, okrzesywania i wyróbki drewna stosowane w trzebieżach, biorąc pod uwagę m.in. ich oddziaływanie na drzewostan i glebę, można podzielić na niżej przedstawione grupy podstawowe.



Maszyny (narzędzia mechaniczne) przenośne lub przewoźne, przemieszczane do każdego ścinanego drzewa, reprezentujące najczęściej poziom pracy ręczno-maszynowej. Najpowszechniejsze zastosowanie z tej grupy maszyn znalazła pilarka.



Samojezdne maszyny wielooperacyjne z głowicą obróbczą zamontowaną bezpośrednio na maszynie bazowej, poruszające się po całym drzewostanie i dojeżdżające do każdego ścinanego drzewa, z możliwością przemieszczenia obrobionego drewna do szlaku operacyjnego. Reprezentują poziom pracy maszynowej lub częściowo zautomatyzowanej. Przykładowym rozwiązaniem był np. harwester "Makeri".



Maszyny wielooperacyjne, samojezdne, zwykle większe od poprzednich, np. z głowicą ścinkowo-okrzesująco-przerzynającą zawieszoną na żurawiu maszyny bazowej (harwester jednochwytakowy), bądź z urządzeniem okrzesująco-przerzynającym zamontowanym bezpośrednio na maszynie bazowej i głowicą ścinkową zawieszoną na żurawiu (harwester dwuchwytakowy). Dokonują one ścinki, okrzesywania i wyróbki drewna, bez konieczności dojazdu do każdego ścinanego drzewa. Realizują pracę na poziomie częściowo zautomatyzowanym. W produkcji seryjnej tych harwesterów dominują podwozia kołowe (4–8 szt.) o nacisku statycznym do około 75 kPa. Zdecydowanie rzadziej stosowane są podwozia gąsienicowe. Wśród najnowszych konstrukcji wyróżnia się prototypowa maszyna krocząca. Wysięg żurawiu waha się od 5 do 11 m, a w rozwiązaniach prototypowych dochodzi do 15 m.

Maszyny (ciągniki) specjalistyczne do zrywki drewna dzielą się na dwa podstawowe typy:



Skider — przeznaczony do półpodwieszanej zrywki ładunków drewna (głównie w postaci dłużyc), których jeden koniec jest unoszony, natomiast drugi ciągnięty po podłożu. Dominujące znaczenie mają ciągniki kołowe (4–8 szt.). W Europie najpowszechniej stosowany jest czterośladowy skider linowy (z wciągarką).



Forwarder — przeznaczony do nasiębiernej zrywki ładunków drewna o długości 2–7 m (pojedyncze sztuki drewna mogą być dłuższe). Ładunek transportowany jest w kłonicowej skrzyni. Do za- i rozładunku drewna służy żuraw, zamontowany na maszynie. Jego wysięg wynosi około 10 m i jest stale zwiększany, choć występuje w tym zakresie ograniczenie, związane ze statecznością i racjonalną szerokością maszyny. Najczęściej stosuje się forwarder sześć- i ośmiokołowy, rzadko czterośladowy.

Zdania na temat dominujących w kraju metod pozyskiwania drewna, a także kierunków ich rozwoju oraz podnoszenia poziomu technicznego pracy są podzielone. Z jednej strony wyrażane są opinie, że tradycyjne metody, charakteryzujące się zrywką drewna w dłużycach, są dostosowane do naszych warunków. Utrzymuje się także, że obecnie dominujące technologie i związane z nimi środki pracy, tj. pilarka w operacjach technologicznych oraz koń i ciągnik do zrywki półpodwieszanej oraz niewielkie usprawnienia w tym zakresie, pozwalają na ograniczenie do minimum uszkodzenia lasu. Natomiast w odniesieniu do maszyn wielooperacyjnych wyrażane są opinie, że szkody powstające w lesie przy ich użyciu są duże. Wskazuje się przy tym na różnice występujące między warunkami drzewostanowymi w kraju i za granicą, np. w Skandynawii, gdzie takie maszyny stosuje się powszechnie.

Daje się również odczuć niechęć do zakładania szlaków operacyjnych (technologiczno-zrywkowych i zrywkowych), w szczególności do ich zagęszczania. Inne opinie wskazują na możliwość uzyskania lepszych efektów środowiskowych przy zastosowaniu nowych technologii pozyskiwania drewna. Wynikają one z doświadczeń zagranicznych oraz wstępnych wyników badań krajowych. Przemawiają one także za celowością wprowadzania do pozyskiwania drewna maszyn o wysokim poziomie technicznym, szczególnie harwestera oraz forwardera. Maszyny takie są stopniowo wprowadzane w kraju. Trzeba przy tym zaznaczyć, że w dążeniu do ograniczenia szkód wydaje się konieczne stosowanie odpowiednio poprowadzonych szlaków operacyjnych.

Powyższe zagadnienia, szczególnie w odniesieniu do cięć przedrębnych, budzą najwięcej kontrowersji. Wynikają one głównie stąd, że wiedza o uszkodzeniach drzew i gleby jest ograniczona, zwłaszcza przy pozyskiwaniu drewna z użyciem nowych maszyn o wysokim poziomie technicznym. Odnosi się to szczególnie do późnych trzebieży drzewostanów sosnowych. W tej sytuacji podjęcie niniejszej pracy jest uzasadnione dążeniem do ograniczenia uszkodzeń drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna w późnych trzebieżach drzewostanów

sosnowych oraz potrzebą wskazania rozwiązań technologicznych i technicznych przyjaznych dla lasu.

2. PRZEGLĄD I OKREŚLENIE PROBLEMÓW BADAWCZYCH

Ocena oraz wybór technologii i środków pozyskiwania drewna w lesie wielofunkcyjnym są złożone. Można wyróżnić sześć podstawowych, często wzajemnie powiązanych, grup kryteriów oceny procesów technologicznych pozyskiwania drewna: środowiskowe (ekosystemowe), hodowlano–ochronne, produktywności lasu, gospodarcze (głównie ekonomiczne), warunków pracy oraz społeczne (SUWAŁA 1998). Pokazują one, że ocena procesów technologicznych wymaga w coraz większym stopniu badań interdyscyplinarnych. W zależności od preferencji i wymagań lokalnych różne może być znaczenie poszczególnych kryteriów. Do ważniejszych pośród nich zaliczyć należy środowiskowe kryteria oceny pozyskiwania drewna.

Na uszkodzenia niektórych elementów drzewostanu przy pozyskiwaniu drewna wskazywano w kraju już od lat pięćdziesiątych (CZEREYSKI 1953; Kamiński, Szmit 1959, za RADZIMIŃSKIM 1963; RADZIMIŃSKI 1963). Środowiskowe skutki pozyskiwania drewna są dostrzegane szczególnie w ostatnich latach. Przedstawiane są także różne propozycje ich ograniczenia (GIEFING 1992, 1995a, b; KUBIAK i in. 1990, 1995; LAUROW 1992, 1995a, b, 1996a, b; MUSZYŃSKI 1995a, b, 1997; PASCHALIS 1992, 1996, 1997a, b; PORTER 1992, 1994, 1995, 1997; RZADKOWSKI 1996; RZADKOWSKI, JODŁOWSKI 1997; STAJNIAK 1992, 1994, 1995; STAJNIAK, SUWAŁA 1997a, b; SUWAŁA 1992, 1994, 1995a, b, c, 1996, 1997a, b, c, d; SUWAŁA i in. 1995, 1997; WIĘSIK 1995a, b, c, 1996, 1997). Można jednak stwierdzić, że zagadnienia te, mimo rosnącego zainteresowania nimi i pewnego postępu w ocenie uszkodzeń, wywołują w dalszym ciągu sprzeczne opinie. Wynikają one być może stąd, że badania środowiskowych skutków pozyskiwania drewna rozpoczęto stosunkowo niedawno. Mały jest również krąg specjalistów prezentujących wyniki badań z tego zakresu.

W przypadku pozyskiwania drewna metodami o niskim poziomie technicznym, a więc z użyciem pilarki w operacjach technologicznych, autorzy zagraniczni podają udział drzew uszkodzonych przy zastosowaniu metody sortymentowej w całym procesie technologicznym, ze zrywką forwarderem. Jak wynika z badań przeprowadzonych w Szwecji, w drzewostanach sosnowych i świerkowych od pierwszej do ostatniej trzebieży drzewa uszkodzone stanowiły przeciętnie 3% (FRÖDING 1992). W Finlandii, jak podają HAKKILA (1995) i HARSTELA (1982), udział ten wynosił 1–2%. Brak jest wyników badań uszkodzeń drzew przy stosowaniu innych metod pozyskiwania drewna.

Badania krajowe prowadzone były niemal wyłącznie w młodych drzewostanach sosnowych podczas zrywki drewna. Wyniki badań przeprowadzonych w czyszczeniach późnych, z użyciem do zrywki konia i ciągnika rolniczego wskazują, że udział drzew uszkodzonych nie przekracza 1,5% (GIEFING 1995b). Jak podają KUBIAK i in. (1990), drzewa uszkodzone przy zrywce konnej i ciągnikiem rolniczym z wciągarką stanowiły odpowiednio 1 i 1,8% w drzewostanie w wieku 27 lat. PASCHALIS i PORTER (1994) stwierdzają na podstawie badań w trzebieżach wczesnych, że udział drzew uszkodzonych wyniósł przy zrywce konnej 2,8%, natomiast ciągnikiem skider (LKT) — 4,7%. Badania przeprowadzone przez RZADKOWSKIEGO (1996) w trzebieżach wczesnych wykazały, że podczas zrywki ciągnikiem rolniczym z wciągarką sterowaną mechanicznie uszkodzonych zostało 4,8% drzew przy obsłudze dwuosobowej i 6,1% — przy obsłudze jednoosobowej ciągnika, a przy zrywce konnej — 5,5%. Z najnowszych wyników badań PORTERA (1997) w trzebieżach młodych drzewostanów sosnowych wynika, że udział drzew uszkodzonych wynosi przy zrywce konnej 4,8%, a ciągnikami: rolniczym z wciągarką LTWA — 7,5%, skiderem (LKT) — 8,9%, forwarderem (FMG 1010) — 3,4%. Badania przeprowadzono przy odstępnie 60 m między szlakami operacyjnymi. Przy zastosowaniu konia oraz ciągnika rolniczego i skidera wyniki dotyczą zrywki jednoetapowej, natomiast w przypadku forwardera obejmują uszkodzenia podczas dociągania drewna koniem i zrywki ciągnikiem. Wstępne wyniki badań autora wskazują, że także w trzebieżach późnych udział drzew uszkodzonych jest najmniejszy przy zrywce forwarderem, większy przy zrywce konnej, a największy w przypadku zrywki ciągnikiem rolniczym i skiderem (SUWAŁA 1992, 1995a, b, c, 1996, 1997d). Spostrzeżenia dotyczące całego procesu technologicznego pozyskiwania drewna przemawiają za metodą sortymentową, która stwarza większe możliwości ograniczenia uszkodzeń drzew niż metoda całej strzały (SUWAŁA 1994, 1995b, c, 1996, 1997a, b, c).

Jak już wspomniano, typowym rozwiązaniem konstrukcyjnym koncepcji maszyn poruszających się po całym drzewostanie był harwester "Makeri". Podczas prób przeprowadzonych w b. Czechosłowacji, w trzebieży drzewostanu świerkowego w wieku 55 lat, na ogólną liczbę 893 drzew pozostających po zabiegu na powierzchni jednego hektara udział drzew uszkodzonych przy użyciu tej maszyny wyniósł 17,4%, a w całym procesie ze zrywką drewna skiderem — 22,5% (LASÁK 1990). Na podstawie prób przeprowadzonych w Polsce, w dwóch metodach pozyskiwania drewna w późnej trzebieży drzewostanu sosnowego w wieku 63 lat, w którym po zabiegu pozostawało około 950 drzew/ha, stwierdzono, że udział drzew uszkodzonych wymienionym wyżej harwesterem wyniósł 5,2–6,1%, natomiast w całym procesie technologicznym 5,4–7,9% (SUWAŁA 1992). Należy przy tym podkreślić, że możliwości stosowania nawet tak małej maszyny (dł. 3800 mm, szer. 1580 mm) są ograniczone. Jeśli bowiem po zabiegu pozostaje więcej niż 1000 drzew na 1 hektarze, poruszanie się maszyny

w drzewostanie jest utrudnione, a udział drzew uszkodzonych zdecydowanie się zwiększa. Istnieją również zdania odmienne, sugerujące że omawiany harwester mógłby być stosowany w drzewostanach sosnowych, jeżeli liczba drzew pozostających nie przekracza 1600–1700 sztuk na 1 ha (HAKKILA, WÓJCIK 1980).

Do prowadzenia cięć w trzebieżach z użyciem maszyn wielooperacyjnych z głowicami zawieszonymi na żurawiu szersze zastosowanie znalazły harwestery jednochwytakowe. Badania uszkodzeń drzew przy użyciu takich harwesterów prowadzono za granicą wyłącznie przy pozyskiwaniu drewna metodą sortymentową, głównie w drzewostanach świerkowych. Podczas badań przeprowadzonych w Szwecji, drzewostany były udostępnione szlakami operacyjnymi szerokości około 4 m, w odstępach 24–25 m. Udział drzew uszkodzonych w całym procesie przy użyciu różnych harwesterów i forwarderów stanowił w drzewostanach sosnowych 4,0%, w świerkowych — 7,2% (FRÖDING 1992). Badania przeprowadzone w Finlandii wskazują, że udział drzew uszkodzonych przy użyciu harwestera jednochwytakowego i forwardera w drzewostanie świerkowym wyniósł 5,0% (SIREN 1991). Szlaki operacyjne szerokości ok. 3,8 m były prowadzone w odstępach ok. 22 m. Jak podaje EPALTS (1989), udział drzew uszkodzonych w trzebieżach drzewostanów sosnowych i mieszanych z użyciem maszyn wielooperacyjnych i forwardera wyniósł średnio 6,5% przy odstępach 20 m między szlakami. Z badań przeprowadzonych w Niemczech wynika, że przy zastosowaniu trzech procesów technologicznych pozyskiwania drewna metodą sortymentową w drzewostanie świerkowym z użyciem harwestera i forwardera oraz przy odstępach między szlakami 20, 30 i 40 m, udział drzew uszkodzonych wyniósł odpowiednio 7,3, 10,6 i 10,9%, a samych dorodnych 3,4, 6,8 i 10,6% (BORT i in. 1993; SAUTER, BUSMANN 1994). Trzeba wyjaśnić, że w przypadku odstępów 20 m między szlakami pozyskiwanie drewna przebiegało jednoetapowo, natomiast przy odstępach 30 i 40 m w dwóch etapach. W pierwszym etapie za pomocą harwestera ścięto drzewa i dokonano wyróbki drewna w zasięgu maszyny (około 10 m) poruszającej się po szlaku oraz zerwano drewno forwarderem. W drugim etapie, przy odstępach 30 m, drzewa stojące poza zasięgiem harwestera zostały ścięte pilarką (z obalaniem w kierunku szlaku), następnie okrzesane i wyrobione harwesterem oraz zerwane forwarderem. Proces technologiczny podczas drugiego etapu w przypadku odstępów 40 m obejmował: ścinę drzew pilarką (obalanie w kierunku przeciwnym do szlaku), dociąganie drzew do szlaku za pomocą wciągarki, okrzesywanie i wyróbkę harwesterem oraz zrywkę forwarderem.

Zastosowanie harwestera o wysięgu żurawia 15 m, umożliwiającego pozyskiwanie drewna w trzebieżach przy odstępach między szlakami 30 m, jak dotąd nie wskazuje na zmniejszenie udziału drzew uszkodzonych. Na podstawie badań przeprowadzonych w Niemczech stwierdzono, że stanowiły one 10–15% (SCHÖTTLE i in. 1997; WEIXLER i in. 1997), mimo stosunkowo małego zagęszczenia drzew (około 500 /ha). Można także przyjąć, że uszkodzenia gleby

były większe, ponieważ w maszynie bazowej zastosowano podwozie gaśienicowe, mając na uwadze jej stateczność.

Dotychczasowe wyniki badań krajowych w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych z użyciem harwestera jednochwytakowego (o wysięgu ok. 10 m) wskazują na różnice w udziałach drzew uszkodzonych, w zależności od metod pozyskiwania drewna (SUWAŁA 1995b, c, 1996, 1997b, c).

W zakresie badań nad wpływem technologii i środków pozyskiwania drewna na glebę leśną istnieje wiele niejasności. Kontrowersje występują już przy ustalaniu, czy wynikiem oddziaływania maszyn na glebę jest jej uszkodzenie, czy jedynie przejściowa zmiana (WEIXLER 1994). Zdaniem FURUBERG GJEDTJERNET (1995) uszkodzenia gleby powodowane przez operacje leśne są poważnym problemem, w związku z nasilającym się stosowaniem maszyn. Bardzo trudno jest jednak ustalić bezwzględne wielkości graniczne, zarówno w odniesieniu do maszyn, jak i uszkodzeń. W tej chwili musimy się więc kierować wielkościami porównawczymi uszkodzeń. MATTHIS (1994), SCHACK-KIRCHNER, HILDEBRAND (1994), WÄSTERLUND (1991) stwierdzają, że uszkodzenie gleby może być różnie interpretowane, a pytanie o jego mierniki i wskaźniki pozostaje ciągle otwarte. Najczęściej określa się je przez ustalenie udziału powierzchniowego i głębokości uszkodzeń gleby.

W nawiązaniu do koncepcji stosowania maszyn wielooperacyjnych poruszających się po całym drzewostanie, w świetle dotychczasowej wiedzy należy stwierdzić, że powodują one szczególnie duże uszkodzenia powierzchniowe gleby. LASÁK (1990) podaje, że udział powierzchni uszkodzonej gleby w drzewostanie świerkowym przy zastosowaniu do pozyskiwania drewna harwestera "Makeri" wyniósł około 11%, bez uwzględnienia szlaków operacyjnych. Według badań przeprowadzonych na Łotwie, udział powierzchni gleby uszkodzonej tym harvesterem podczas trzebieży drzewostanu sosnowego wyniósł 18%, a głębokość uszkodzeń sięgała 15 cm, średnio 7,6 cm (HARSTELA i in. 1984). W warunkach fińskich udział uszkodzonej powierzchni stanowił również około 18%, a średnia głębokość 10,7 cm (Valonen, Harstela 1980, za HARSTELA i in. 1984).

Trudno wykluczyć stosowanie w przyszłości maszyn wielooperacyjnych, poruszających się po całym drzewostanie. Koncepcja ta nie jest obecnie szerzej rozwijana, z powodu m.in. dużych uszkodzeń dna lasu i ograniczonych możliwości ich zmniejszenia.

W przypadku harwesterów jednochwytakowych poruszających się po szlaku operacyjnym przy zastosowaniu metody sortymentowej uszkodzenia gleby ograniczają się do kolein. Niektórzy autorzy przyjmują jako zakłóconą całą powierzchnię szlaku (BORT i in. 1993; WÄSTERLUND 1992).

W literaturze krajowej wyniki w zakresie uszkodzeń gleby odnoszą się prawie wyłącznie do zrywki. Zagadnienia te przedstawił ogólnie KAMIŃSKI (1988). KUBIAK i in. (1990) podają, że przy pozyskiwaniu drewna w trzebieżach wczesnych z użyciem do zrywki konia i ciągnika rolniczego udział powierzchni

zranionej lub ubitej gleby wynosi od 20 do 45%. Jak wykazuje PORTER (1997), udział powierzchni uszkodzonej gleby wynosi przy zrywce drewna: koniem — 3,1%, ciągnikiem rolniczym od 3,1 do 3,8%, a skiderem — 4,2%. W warunkach górskich uszkodzenia pokrywy glebowej sięgają przy zrywce konnej 47,2%, a ciągnikiem rolniczym — 59,3% (Łuc 1995, za MUSZYŃSKIM 1995a).

Jako miarę uszkodzeń gleby przez maszyny podaje się również głębokość kolein. W warunkach glebowych istniejących w Szwecji głębokość koleiny wyniosła 3–6 cm, w zależności od różnych maszyn (FRÖDING 1992). WÄSTERLUND (1990) podaje głębokość koleiny 2,5 cm przy nacisku 90 kPa. Przy pozyskiwaniu drewna w Finlandii SIREN (1991) określa przeciętną głębokość koleiny po przejazdach harwestera i forwardera na 5 cm. W warunkach krajowych, jak podają np. PASCHALIS i PORTER (1994), głębokość koleiny w drzewostanach sosnowych wyniosła po zrywce ciągnikiem rolniczym 5,8 cm, a skiderem (LKT) — 4,4 cm. Nowsze wyniki badań PORTERA (1997) wskazują, że przeciętna głębokość kolein osiągnęła w przypadku zrywki ciągnikiem rolniczym 7,0 cm, skiderem (LKT) — 6,0 cm, forwarderem (FMG) — 6,6 cm.

Przedstawione uszkodzenia gleby należy uwzględnić jako istotne, biorąc m.in. pod uwagę, że 80–90% masy korzeni drzew iglastych znajduje się w jej wierzchniej warstwie o grubości 30 cm, a około 90% ważnych korzeni przewodzących o średnicy do 0,3 mm położona jest na głębokości do 10 cm (DEMKO 1990). WÄSTERLUND (1989) podaje, że w drzewostanach w okresie trzebieży około 70% korzeni położonych jest w górnej warstwie gleby od 3 do 10 cm. ZIMMERMANN i BROWN (1981) stwierdzają ogólnie, że większość spośród mniejszych korzeni absorpcyjnych leży w obrębie górnych 15 cm gleby leśnej. Zdaniem PUTKISTO (1986), uszkodzenia korzeni drzew w koleinach w drzewostanach sosnowych mogą być jednak mniejsze niż w świerkowych. Dotychczasowe wyniki badań krajowych wykonanych podczas późnych trzebieży drzewostanów sosnowych przemawiają za rozróżnieniem dwóch powiązanych ze sobą przypadków uszkodzeń korzeni i gleby:

- 1) uszkodzenia korzeni drzew są stosunkowo małe w koleinach, śladach kopyt i płytkich bruzdach, powstających pod ładunkiem przy zrywce pojedynczych sztuk, np. koniem, w warunkach stosunkowo suchych gleb, wytworzonych z piasków. Udział silnych uszkodzeń odcinków korzeni, a więc z ranami tkanki drzewnej, ogranicza się w przedstawionych uszkodzeniach gleby do około 2%;

- 2) w głębszych bruzdach, wyłobionych czołami przemieszczanego drewna, np. podczas okrzesywania całych strzał harvesterem, korzenie są silnie uszkodzane, w dużej części przerywane. W takim przypadku można przyjąć, że wszystkie korzenie w wierzchniej warstwie gleby, o łącznej długości około 10 cm na 100 cm³, są niszczone (DOBROWOLSKA i in. 1996; SUWAŁA i in. 1995, 1996).

W pierwszym z przedstawionych przypadków następują wprawdzie zmiany własności fizycznych gleby (ciężar objętościowy, porowatość ogólna, kapilarna pojemność wodna, przepuszczalność), jednak ich wielkość nie wskazuje na po-

ważne zakłócenia w bilansie wodno-pokarmowym gleby (OLEJARSKI, WALENDZIK 1996). W drugim przypadku trudno jest obiektywnie ocenić zmiany własności fizycznych gleby, kiedy jest ona wyrwana czołami przemieszczanych strzał.

Na podstawie przedstawionego przeglądu uszkodzeń drzew i gleby można stwierdzić, że wykonywanie ścinki, wyróbki i zrywki drewna nie jest obojętne dla ekosystemu leśnego. Wiedza w przedstawionym zakresie jest ciągle fragmentaryczna. Wyniki badań zagranicznych dotyczyły prawie wyłącznie pozyskiwania drewna metodą sortymentową w drzewostanach świerkowych.

Badania krajowe ograniczają się do niektórych uszkodzeń lasu, głównie przy prowadzeniu cięć metodami o niskim poziomie technicznym w młodszych drzewostanach sosnowych, przede wszystkim podczas zrywki drewna. Należy tu odnotować opinie, że produkowane obecnie na świecie maszyny o wysokim poziomie technicznym są w stanie spełnić wymagania ochrony ekosystemu leśnego oraz ograniczyć powstawanie uszkodzeń (STAJNIAK 1994, 1995; WIĘSIK 1995a, b). Zarówno za granicą, jak i w kraju brak jest wyników badań porównawczych metod i procesów technologicznych pozyskiwania drewna maszynami o różnych poziomach technicznych.

Szczególne znaczenie w dążeniu do ograniczenia uszkodzeń lasu wydają się mieć odstępstwa między szlakami operacyjnymi. Zagadnienia te ciągle budzą wiele kontrowersji nie tylko w kraju, ale także za granicą. Mogą o tym świadczyć sprzeczne głosy na ten temat, np. w Niemczech (BEISEL 1994; BORT 1994; FORBRIG 1994; HEIL, ATTULA 1996; FRIDERICHS 1994; GUGLHÖR 1993; HILDEBRAND i in. 1994; SCHWIETERT 1994, WEBER 1994). Krajowe propozycje rozwiązań są również rozbieżne, czego dowodzą referaty przedstawione na symposium poświęconym tym zagadnieniom (KUBIAK, GRODECKI 1995; LAUROW 1995a; MOSKALIK, SADOWSKI 1995; PIENKOS 1995; PORTER 1995; SUWAŁA 1995b; WIĘSIK 1995c; ZARZYCKI 1995; ŻYBURA 1995) oraz inne publikacje (LAUROW 1996a, b; RZADKOWSKI 1997). W tej sytuacji, we wnioskach ze wspomnianego symposium napisano, iż niezbędne są studia i badania zmierzające do jednoznacznych ustaleń (Wnioski z symposium PTL, 1995).

W podsumowaniu przedstawionego przeglądu aspektów środowiskowych pozyskiwania drewna można stwierdzić, że wiedza w tym zakresie, choć cząstkowa, daje wyobrażenie o złożoności zjawisk. Wiele publikacji włączono do przeglądu już po podjęciu badań przez autora. Pozwoliły one na korektę zakresu i metodyki pracy.

Odnosnie do badań zagranicznych należy podkreślić, że były one prowadzone w warunkach odmiennych od dominujących w kraju. Z tego względu tylko niektóre wyniki mogą być bezpośrednio wykorzystane. Szczególnie ważne, choć dotyczą tylko metody sortymentowej w drzewostanach świerkowych, są doświadczenia obejmujące dwuetapowe pozyskiwanie drewna w trzebieżach z użyciem harwestera jednochwytakowego. Umożliwia to stosowanie większych odstępów

między szlakami operacyjnymi, wpływa jednak na wzrost uszkodzeń drzew, a w przypadku podwozi gąsienicowych – także gleby. Celowe jest więc sprawdzenie możliwości zastosowania odmiennych metod i rozwiązań w tym zakresie, z uwzględnieniem różnych odstępów między szlakami operacyjnymi. Uzasadnione jest przy tym objęcie badaniami całych procesów technologicznych pozyskiwania drewna (operacje technologiczne i zrywka) w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych, ponieważ dotychczasowe mają szczególnie w tym zakresie charakter fragmentaryczny. Istnieją przesłanki wskazujące, że nowe technologie i środki techniczne mogą przynieść efekt pozytywny. Konieczne jest jednak rozwiązanie określonych problemów w krajowych warunkach przyrodniczych, w szczególności:

— dokonanie oceny oraz wyboru metod i procesów technologicznych z uwzględnieniem różnych poziomów technicznych pracy, charakteryzujących się najmniejszą uciążliwością dla drzew i gleby;

— określenie racjonalnych odstępów między szlakami operacyjnymi, mając na uwadze ograniczenie uszkodzeń drzew i gleby.

Wymaga to poszukiwania nowych rozwiązań metodycznych, zwłaszcza w zakresie oceny syntetycznej, ponieważ stosowane dotąd wskaźniki cząstkowe utrudniają obiektywną ocenę rozwiązań technologicznych i technicznych pod względem uszkodzeń drzew i gleby. Należy również przeprowadzić badania terenowe, które w takim zakresie nie były dotychczas realizowane.

3. CEL I ZAKRES PRACY

Ogólnym celem poznawczym pracy było określenie wpływu wybranych metod i procesów technologicznych oraz odstępów między szlakami operacyjnymi na uszkodzenia drzew i gleby, powstające przy pozyskiwaniu drewna w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych.

Cele szczegółowe pracy obejmowały:

— podjęcie próby syntetycznej oceny uszkodzeń drzew, powstających przy zastosowaniu wybranych do badań metod i procesów technologicznych pozyskiwania drewna oraz odstępów między szlakami operacyjnymi;

— określenie cech zranień drzew, następujących przy zastosowaniu wybranych do badań metod, procesów technologicznych i odstępów między szlakami operacyjnymi;

— ustalenie rozmieszczenia drzew uszkodzonych w drzewostanie oraz bezpośrednich przyczyn sprawczych ran drzew, powodowanych przez poszczególne środki użyte do pozyskiwania drewna, jako dodatkowej podstawy do analizy możliwości ograniczenia uszkodzeń;

— podjęcie próby syntetycznej oceny uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby, powstających przy zastosowaniu wybranych do badań metod i procesów technologicznych pozyskiwania drewna oraz odstępów między szlakami operacyjnymi;

— określenie cech uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby, następujących przy zastosowaniu wybranych do badań metod, procesów technologicznych i odstępów między szlakami operacyjnymi;

— podjęcie próby syntetycznej oceny uszkodzeń drzew i gleby, następujących przy zastosowaniu wybranych do badań metod i procesów technologicznych pozyskiwania drewna oraz odstępów między szlakami operacyjnymi.

Wyniki pracy będą podstawą do wskazania metod, procesów technologicznych i środków pozyskiwania drewna oraz odstępów między szlakami, których stosowanie charakteryzuje się najmniejszymi uszkodzeniami drzew i gleby i w tym znaczeniu przyjaznych dla lasu.

Do badań przyjęto tradycyjną w kraju metodę całej strzały oraz sortymentową, która nie ma jeszcze większego znaczenia gospodarczego. Podstawowa różnica między nimi polega na tym, że w pierwszej metodzie zrywane są okrze-sane strzały, natomiast w drugiej kłody i/lub wałki (wyrzynki). W ramach metod zestawiono procesy technologiczne obejmujące ścinę, okrzesywanie i wyróbkę oraz zrywkę drewną. Procesy technologiczne różnią się poziomem technicznym pracy, w wyniku zastosowania odpowiednich maszyn oraz zrywki konnej. Uwzględniono przy tym obecne trendy europejskie, obejmujące między innymi wprowadzanie w coraz szerszym zakresie nowych maszyn o wysokim poziomie technicznym, a więc harwestera oraz forwardera. Założono, że pozyskiwanie drewna będzie się odbywało jednoetapowo.

Biorąc pod uwagę powyższe założenia, w ramach metody całej strzały (C) zestawiono trzy procesy technologiczne:

- C–PK, polegający na ścinie i okrzesywaniu pilarką (P) oraz zrywce konnej (K) okrzęsanych strzał;

- C–PW, obejmujący ścinę i okrzesywanie pilarką (P) oraz zrywkę okrzęsanych strzał skiderem (W);

- C–HW, w którym ścinę i okrzesywanie wykonano harvesterem jedno-chwytkowym (H), natomiast zrywkę okrzęsanych strzał skiderem (W).

W metodzie sortymentowej (S) wyróżniono dwa procesy:

- S–PF, w którym za pomocą pilarki (P) wykonano ścinę, okrzesywanie oraz przerzynkę części odziomkowej strzały na kłody długości 3,1; 4,1 i 5,1 m, a pozostałej na wałki długości 2,4 m, z ich ręcznym składowaniem po kilka sztuk, natomiast zrywkę całości drewna forwarderem (F);

- proces S–HF, na który złożyły się ścinka, okrzesywanie i przerzynka drewna harvesterem jednochwytkowym (H) na kłody i wałki, jak w procesie S–PF, z ich składowaniem po kilka sztuk przez odpowiednie manewrowanie głowicą oraz zrywka całości drewna forwarderem (F).

Do prób użyto następujących typów maszyn specjalistycznych (stosowanych za granicą również w trzebieżach):

- harwestera jednochwytakowego (FMG 990/756, z głowicą obróbczą na żurawiu o wysięgu 10,2 m),
- skidera (LKT 81, z wciągarką dwubębnową, sterowaną mechanicznie),
- forwardera (FMG 1010, z żurawiem o wysięgu 10,2 m).

Harwester i forwarder były obsługiwane jednoosobowo przez operatorów, natomiast skider przez dwie osoby. Praca pomocnika operatora (kierowcy) skidera obejmowała zakładanie linek zaczepowych na dolne (grubsze) końce strzał (średnio trzy strzały były opasywane jedną linką), rozciąganie lin wciągarki i zapinanie do nich linek zaczepowych oraz doraźne odsuwanie ładunku od drzew stojących.

Przy projektowaniu szlaków operacyjnych uwzględniono obecnie spotykany w praktyce odstęp 60 m oraz bardzo rzadko stosowane dotychczas rozwiązania w tym zakresie, a mianowicie 20 i 40 m. Przyjęcie odstępu 20 m było podyktowane tym, aby harwester i ciągniki poruszały się w drzewostanie wyłącznie po wyznaczonych szlakach. Odstęp 40 m przyjęto jako wielkość pośrednią między 20 i 60 m. Procesy technologiczne C–HW i S–HF, z użyciem harwestera w obu metodach, badano przy udostępnieniu drzewostanu szlakami operacyjnymi w odstępach około 20, 40 i 60 m. Założono, że przy odstępach między szlakami 40 i 60 m harwester będzie zjeżdżał z wyznaczonych szlaków w luki w drzewostanie oraz dokonywał ścinki i wyróbki z przemieszczeniem drewna jak najbliżej szlaku. W przypadku procesów C–PK i C–PW z użyciem pilarki oraz konia i skidera przyjęto odstępy między szlakami około 40 i 60 m. Przy pozyskiwaniu drewna procesem S–PF stosowano odstęp około 40 m. Założona szerokość szlaków wynosiła około 3 m przy zastosowaniu procesów C–PK i C–PW ze zrywką konną lub skiderem, natomiast w pozostałych procesach (C–HW, S–PF i S–HF), z użyciem harwestera lub forwardera, około 4 m.

Drzewa na szlakach oraz przylegających do nich pasach drzewostanu wycinano jednoetapowo. Zrywki dokonywano bezpośrednio po zakończeniu operacji technologicznych. Podczas zrywki wszystkimi środkami zachodziła potrzeba ich wjazdu na pasy drzewostanu ze szlaków wyznaczonych w odstępach 40 i 60 m, celem zaczepienia i sformowania ładunku (zrywka koniem i skiderem) lub dokonania załadunku (zrywka forwarderem) części drewna.

Badania ograniczono do drzewostanów sosnowych na siedlisku Bśw, biorąc pod uwagę złożony cel i szeroki zakres pracy, uwzględniający odmienne metody i procesy technologiczne na różnych poziomach technicznych oraz wariantowe odstępy między szlakami operacyjnymi.

4. METODYKA PRACY

4.1. Wskaźniki i mierniki

4.1.1. Wskaźniki i mierniki uszkodzeń drzew

WSKAŹNIK USZKODZEŃ DRZEW

Jako uszkodzenie drzewa przyjęto zranienia strzały, złamania żywych gałęzi oraz rany korzeni danego drzewa, widocznych na powierzchni w obrębie jego szyi korzeniowej.

Do opracowania syntetycznego wskaźnika uszkodzeń drzew przyjęto następujące założenia:

— uwzględnienie stosowanych klasyfikacji uszkodzeń lub nowych, jeżeli jest to uzasadnione ich powiązaniem ze znanymi lub przewidywanymi skutkami (zdrowotność, produktywność),

— nadanie wagi uszkodzeniom, które mogą mieć poważniejsze następstwa dla drzew i lasu,

— wielkość liczbowa wskaźnika powinna być łatwa do percepcji oraz zawierać się w teoretycznie przewidzianych granicach.

Biorąc pod uwagę powyższe założenia, opracowano oraz zastosowano wskaźnik syntetycznej oceny uszkodzeń drzew U_D :

$$U_D = \frac{D_o + D_{0,1} + D_{100} + D_{0,125} + D_d}{5} \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

D_o — ogólny udział procentowy drzew uszkodzonych,

$D_{0,1}$ — udział procentowy drzew z przynajmniej jedną raną niską (występującą na wysokości $\leq 0,1$ m),

D_{100} — udział procentowy drzew z ranami o łącznej powierzchni > 100 cm²,

$D_{0,125}$ — udział procentowy drzew z co najmniej jedną raną obejmującą $> 0,125$ (1/8) obwodu w miejscu zranienia,

D_d — udział procentowy drzew z raną tkanki drzewnej.

Wszystkie wskaźniki cząstkowe D_o ; $D_{0,1}$; D_{100} ; $D_{0,125}$; D_d , ujęte we wzorze 1, stanowią udział procentowy drzew o odpowiednich cechach uszkodzeń, w stosunku do wszystkich drzew pozostających w drzewostanie po trzebieży. Tak więc, to samo drzewo posiadające jedną lub więcej ran, może być uwzględnione do obliczenia wielkości średniej więcej niż jeden raz, jeżeli rany te są dla drzewa bardziej dotkliwe.

Wskaźnik uwzględnia ogólny udział drzew uszkodzonych oraz zranienia bardziej dotkliwe, mając na uwadze znane oraz prawdopodobne ich skutki. Rany

niskie określa się jako szczególnie niebezpieczne, ponieważ charakteryzują się największym prawdopodobieństwem infekcji i rozwoju grzybów, powodujących zgnilizny (SIEROTA 1995; WÄSTERLUND 1989; ŻÓŁCIAK 1997). Rany o powierzchni powyżej 100 cm² oraz zajmujące ponad 1/8 obwodu strzały uznaje się za duże, o poważniejszych następstwach np. dla produktywności lasu (FRÖDING 1992; Isomäki, Kallio 1974, za SIRENEM 1991; Olson 1984, za SIRENEM 1991; PORTER 1997). Także rany głębokie, odkrywające drewno, można zaliczyć do bardziej szkodliwych, ponieważ sprzyjają infekcjom, przede wszystkim grzybów wywołujących siniznę oraz ogólnie pojętej deprecjacji drewna (Olson 1984, za SIRENEM 1991; RYKOWSKI 1974).

Wskaźnik zawiera się w przedziale:

$$0 \leq U_D \leq 100 \quad [\%]$$

Im mniejsza wielkość wskaźnika, tym mniejsza dotkliwość uszkodzeń drzew. Wzrost wskaźnika oznacza nie tylko zwiększenie uszkodzeń drzew w drzewostanie, lecz wskazuje także na prawdopodobny wzrost ich negatywnych skutków w zakresie zdrowotności i produktywności drzewostanu.

Wielkość wskaźnika uszkodzeń drzew wyniesie 1/5 udziału drzew uszkodzonych, jeżeli nie wystąpią rany uznane za bardziej szkodliwe. Wskaźnik uszkodzeń drzew i udział drzew uszkodzonych będą sobie równe, jeżeli rany drzew są dla nich dotkliwe, wyczerpując określone znamiona większej szkodliwości. Wskaźnik uszkodzeń drzew osiągnie 100%, jeżeli zostałyby uszkodzone wszystkie drzewa pozostające po trzebieży i każde z nich posiadałoby przynajmniej jedną ranę uznaną za bardziej dotkliwą pod względem wysokości na strzale, powierzchni, zranionej części obwodu strzały i głębokości.

Za pomocą wzoru 1 możliwe jest ustalenie wskaźnika uszkodzeń drzew w całym procesie oraz w dowolnej jego części. W tym opracowaniu obliczono go po procesie technologicznym jako sumę wskaźników uszkodzeń, które nastąpiły po wykonaniu operacji technologicznych, a następnie zrywki drewna.

UDZIAŁ DRZEW USZKODZONYCH

Ogólny udział drzew uszkodzonych D_o , niezależnie od uwzględnienia go w syntetycznej ocenie, zdecydowano się przedstawić w wynikach pracy oddzielnie. Kierowano się przy tym powszechnym stosowaniem tego wskaźnika, a więc możliwością interpretacji jego wielkości w dyskusji.

CECHY USZKODZEŃ DRZEW

Obliczono średnie wielkości charakteryzujące rany oraz ich procentowy udział w klasach:

- wysokości ran (wysokość na drzewie, na której wystąpiły rany):
 - niskie ($\leq 0,1$ m),

— o średniej wysokości (0,11– 4,10 m), obejmujące odcinek strzały, którego jakość decyduje w dużej części o klasie jakości dłużycy, bądź kłody odziomkowej; stanowi też często przeciętną długość kłody przy pozyskaniu drewna metodą sortymentową w krajach europejskich oraz uwzględnioną także w niniejszej pracy;

— wysokie (> 4,10 m);

• powierzchni ran:

— $\leq 100 \text{ cm}^2$

— $> 100 \text{ cm}^2$;

• uszkodzonych części obwodu strzały w miejscu ran ($\leq 1/8$ i $> 1/8$);

• głębokości ran (do strefy drewna, z uszkodzeniem drewna).

W klasyfikacji ran wykorzystano propozycje, które podają BJÖRHEDEN i FRÖDING (1986) oraz przyjęto własne założenia, szczególnie odnośnie do wysokości, na której występują.

ROZMIESZCZENIE DRZEW USZKODZONYCH W DRZEWOSTANIE

Obliczono średnie odległości drzew uszkodzonych od środka szlaku operacyjnego oraz ich udział w pięciometrowych stopniach odległości.

BEZPOŚREDNIE CZYNNIKI SPRAWCZE USZKODZEŃ DRZEW

Ustalono udział procentowy bezpośrednich czynników sprawczych ran drzew pozostających po trzebieży:

— w operacjach technologicznych: ścinane drzewo i obrabiane drewno, głowica i żuraw harwestera, koła, inne części harwestera;

— przy zrywce: zrywane drewno, orczyk lub łańcuch zaczepowy przy zastosowaniu konia, lina w przypadku skidera, żuraw z chwytakiem przy użyciu forwardera, koła ciągników, inne części ciągników.

4.1.2. Wskaźniki i mierniki uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby

WSKAŹNIK USZKODZEŃ WIERZCHNIEJ WARSTWY GLEBY

Jako uszkodzenie gleby przyjęto w tej pracy wszelkie naruszenia i zmiany jej wierzchniej warstwy, obejmujące pośrednio zranienia i niszczenie korzeni drzew.

Biorąc pod uwagę założenia podobne jak w przypadku wskaźnika uszkodzeń drzew U_D , opracowano i przyjęto następujący syntetyczny wskaźnik uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby U_G :

$$U_G = G_{ko} + G_{kp} + G_{bp} + 2G_{bg} \quad [\%] \quad (2)$$

gdzie:

- G_{ko} — udział procentowy objętości kolein (lub jej zwiększenia podczas kolejnych przejazdów) w warstwie gleby o grubości 10 cm,
- G_{kp} — udział procentowy objętości odcisków (śladów) kopyt w warstwie gleby o grubości 10 cm,
- G_{bp} — udział procentowy objętości płytkich bruzd (głównie ugnieceń gleby) o średniej głębokości do 5 cm, w warstwie gleby o grubości 10 cm,
- G_{bg} — udział procentowy objętości głębokich bruzd (w dużej części wyłobionych czołami przemieszczanego drewna) o średniej głębokości powyżej 5 cm, w warstwie gleby o grubości 10 cm.

Jako poziom odniesienia uszkodzeń gleby przyjęto objętość jej wierzchniej warstwy o grubości 10 cm, biorąc głównie pod uwagę, że w drzewostanach iglastych znajduje się w niej 70–90% ważnych dla drzewa korzeni przewodzących (DEMKO 1990; WÄSTERLUND 1989). Większości uszkodzeń nadano równoważne znaczenie, natomiast udziałowi głębokich bruzd przypisano podwójną wagę. Wyniki badań wykonanych na tych samych powierzchniach doświadczalnych wskazują bowiem, że w koleinach, odciskach kopyt i płytkich bruzdach występują podobne zmiany własności fizycznych gleby oraz stosunkowo małe uszkodzenia korzeni drzew (DOBROWOLSKA i in. 1996; OLEJARSKI, WALENDZIK 1996; SUWAŁA i in. 1995, 1996). Natomiast w głębokich bruzdach następują poważniejsze uszkodzenia korzeni, m.in. ich przerywanie i przemieszczanie wraz z glebą (SUWAŁA i in. 1996). W tym przypadku obiektywne ustalenie zmian własności gleby, jak również uszkodzeń korzeni, nastęrcza trudne jeszcze do rozwiązania problemy metodyczne. Stąd we wzorze 2 nadano podwójną wagę udziałowi objętości gleby uszkodzonej w taki sposób.

Zakładając, że uwzględnione we wzorze uszkodzenia nie nakładają się na siebie, a ich głębokość nie przekracza 10 cm (pomijając w obliczeniach powierzchnię zajętą przez pnie drzew), wskaźnik zawiera się w przedziale:

$$0 \leq U_G \leq 100 + G_{bg} \quad [\%]$$

Im wskaźnik jest mniejszy, tym mniejszy jest udział objętości naruszenia struktury wierzchniej warstwy gleby, a tym samym także mniejszy ogólny rozmiar uszkodzeń korzeni drzew. Można również przyjąć, że mniejszy jest także udział uszkodzeń runa leśnego.

Za pomocą wzoru 2 obliczono wskaźnik uszkodzeń gleby w całym procesie technologicznym jako sumę wskaźników po operacjach technologicznych i zrywce drewna. Jeżeli uszkodzenia wystąpiły już podczas operacji technologicznych (zastosowanie harwestera), to przy zrywce ustalano jego przyrost, w wyniku zwiększenia objętości kolein i powstania nowych oraz innych uszkodzeń gleby. Wzorem posłużono się również do określenia wskaźnika uszkodzeń gleby

w następnych nawrotach cięć przy zastosowaniu procesów technologicznych, w których uszkodzenia ograniczają się do zwiększenia głębokości starych kolein.

CECHY USZKODZEŃ WIERZCHNIEJ WARSTWY GLEBY

Do charakterystyki szczegółowej uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby przy zastosowaniu uwzględnionych metod, procesów technologicznych i środków pozyskiwania drewna, mając głównie na uwadze wskaźnik syntetyczny, przyjęto:

- długość par kolein i jazd konia (m/ha),
- powierzchnię uszkodzeń gleby koleinami, kopytami oraz bruzdami (m^2/ha),
- głębokość kolein oraz innych uszkodzeń gleby (cm).

4.1.3. Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby

Do porównania przyjętych rozwiązań technologicznych i technicznych pod względem uszkodzeń drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna posłużono się niżej przedstawionym wskaźnikiem U_{DG} :

$$U_{DG} = \frac{U_D + U_G}{2} \quad [\%] \quad (3)$$

Wskaźnik obejmuje bezpośrednio uszkodzenia drzew i wierzchniej warstwy gleby. Ujęte jego składniki są najczęściej podnoszone, jako ulegające uszkodzeniom podczas pozyskiwania drewna. W odniesieniu do uszkodzeń drzew i gleby powyższy wzór 3 uwzględnia wiele obiektywnych przesłanek i wyników badań, nawiązujących do skutków uszkodzeń, uzasadniających przyjęcie wskaźników U_D i U_G . Uznano przy tym, że obecnie brak jest podstaw do nadania różnicowanej wagi uszkodzeniom drzew i wierzchniej warstwy gleby. W tej sytuacji, średnia ich wielkość najlepiej oddaje uszkodzenia łączne drzew i gleby.

Wskaźnik ten, przy uwzględnieniu założeń odnoszących się do wskaźnika uszkodzeń gleby, zawiera się w przedziale:

$$0 \leq U_{DG} \leq 100 + \frac{1}{2} G_{hg} \quad [\%]$$

Można przyjąć, że im mniejsza wielkość wskaźnika, tym mniejsze uszkodzenia drzew i gleby oraz znajdujących się w niej korzeni, a także runa leśnego.

Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby w całym procesie technologicznym, tak jak w przypadku drzew i gleby, obliczono jako sumę wskaźników uszkodzeń, następujących po wykonaniu operacji technologicznych oraz zrywki drewna. Wzór 3 przyjęto przede wszystkim do obliczenia uszkodzeń drzew i gleby przy zastosowaniu uwzględnionych w badaniach terenowych procesów technologicznych i nowo założonych szlaków operacyjnych. Posłużono się nim także do

określenia uszkodzeń w następnych nawrotach cięć, biorąc pod uwagę uszkodzenia gleby przy wykorzystaniu starych kolein.

4.1.4. Obliczenia i analizy statystyczne

Wskaźniki i mierniki uszkodzeń (rozdz. 4.1.1–4.1.3) następujących przy zastosowaniu wybranych do badań wariantów doświadczenia (procesów technologicznych i odstępów między szlakami — rozdz. 3), obliczono jako średnie arytmetyczne z poszczególnych powierzchni doświadczalnych (drzewostanów). Zmienność podstawowych wskaźników (U_{DG} , U_D , U_G , D_o) między powierzchniami doświadczalnymi przedstawiono za pomocą odchylenia standardowego.

Do oceny istotności wpływu wariantów doświadczenia na wskaźniki uszkodzeń (U_{DG} , U_D , U_G , D_o) stosowano analizę wariancji przy użyciu testu Fischera. Weryfikacji hipotez dokonywano na poziomie istotności $p_\alpha \leq 0,05$. Porównanie istotności różnic między średnimi wskaźnikami prowadzono przy zastosowaniu testu Scheffego (przy $p_\alpha = 0,05$). Spełnienie warunków stosowania testów (normalność rozkładów, równość wariancji) wymagało transformacji wskaźników uszkodzeń przez $\arcsin\sqrt{\text{wskaźnik}}$. Normalność rozkładów badano przy użyciu testu Kołmogorowa-Smirnowa, natomiast równość (homogeniczność) wariancji za pomocą testu Bartletta.

W ramach wybranego procesu technologicznego o wysokim poziomie technicznym zbadano korelację prostoliniową między wskaźnikiem uszkodzeń U_D a liczbą drzew pozostających po trzebieży (szt./ha), rozmiarem pozyskania drewna (m^3/ha) i przeciętną miąższością pozyskiwanego drzewa ($\text{m}^3/\text{szt.}$). W tym celu obliczono współczynniki determinacji R^2 oraz sprawdzono ich istotność za pomocą analizy wariancji w regresji. W przypadku stwierdzenia korelacji, wyrażono zależność wskaźnika uszkodzeń drzew U_D od poszczególnych zmiennych w postaci równań regresji.

Obliczenia powyższe wykonano głównie za pomocą pakietu Statgraphics plus 6.1.

4.2. Prace terenowe

Do przeprowadzenia badań terenowych wytypowano drzewostany na siedlisku boru świeżego, zgodnie z zakresem pracy. Prace prowadzono w okresie wiosennym oraz jesiennym przy glebie niezamarzniętej, bez pokrywy śnieżnej.

W drzewostanach wybrano i oznaczono drzewa dorodne i szkodliwe. Do pozyskiwania drewna wybrany drzewostan dzielono losowo na działki, przeznaczone dla wariantów doświadczenia. Szlaki operacyjne wytyczano środkiem działek, z uwzględnieniem luk w drzewostanie lub wykorzystywano szlaki już istniejące. Granice działek zostały trwale oznakowane farbą. Szlaki oznaczono

tymczasowo taśmą papierową. Na działkach dokonano pomiaru pierśnic drzew z podziałem na stojące na szlakach i na pasach drzewostanu poza szlakiem oraz na dorodne, pożyteczne i szkodliwe.

Po wykonaniu operacji technologicznych, a następnie po zrywce, prowadzono na działkach niżej wymienione prace i pomiary:

1. Po trwałym ponumerowaniu drzew uszkodzonych określano współrzędne ich położenia na działce oraz ewidencjonowano dla każdego z nich dane dotyczące ran: wysokość na strzale, wymiary (przyjęto kształty: prostokąta, kwadratu, koła), głębokość (do drewna, z uszkodzeniem tkanki drzewnej), średnicę strzały w miejscu zranienia. Cechy ran wysokich szacowano z ziemi, z użyciem lornetki i wysokościomierza.

2. W celu ustalenia bezpośrednich czynników sprawczych ran prowadzono obserwacje w trakcie wykonywania operacji, a w przypadkach budzących wątpliwości dokonywano weryfikacji, biorąc pod uwagę m.in. położenie rany na drzewie, usytuowanie wyrobionego drewna, przebieg koleiny i innych uszkodzeń gleby.

3. Długość kolein maszyn oraz jazd konia określono w trakcie ich pracy na podstawie uprzedniego pomiaru i oznaczenia punktów odległościowych oraz szacunkowej oceny odcinków między tymi punktami, z wykorzystaniem oznakowania granic i znanej szerokości działki.

4. Do obliczenia łącznej powierzchni śladów kopyt określono ich średnią powierzchnię oraz liczbę przypadającą na 10 m jazdy, na podstawie doświadczalnych przejazdów (na linii oddziałowej lub drodze o piaszczystej nawierzchni, na której ślady były dobrze widoczne).

5. Do obliczenia powierzchni bruzd mierzono ich długość oraz szerokości (w przypadku większych długości, tj. powyżej 4 m — pomiar co 2 m, dla małej — pomiar wykonywano w miejscu uznanym wizualnie za szerokość przeciętną).

6. Do obliczenia średniej głębokości kolein wykonano po 30 pomiarów co 2 m w obu koleinach, na odcinku szlaku od 12 m (licząc od wylotu szlaku na drogę) do 70 m. Głębokość tę mierzono od pierwotnego poziomego podłoża ustalonego wykonaną do tego celu metalową łata. Na starych szlakach mierzono głębokość kolein przed przystąpieniem do pozyskiwania drewna oraz po całych procesach technologicznych z użyciem harwestera i forwardera.

7. Do obliczenia średniej głębokości bruzd wykonano pomiary co 2 m, podobnie jak w przypadku kolein.

8. Do ustalenia średniej głębokości odcisków (śladów) kopyt podjęto próbę wykonania pomiarów bezpośrednio podczas zrywki. Sprawiało to duże trudności, a wynik byłby obciążony znacznym błędem, ze względu na zaráwnywanie (zaciekanie) śladów zrywaniem drewnem. W przedstawionej sytuacji ustalono tę głębokość podczas specjalnych jazd konia w drzewostanie (zmiany kierunku jazdy, zatrzymywanie, oznaczanie śladów kopyt). W śladach kopyt stwierdzono wizualnie głównie przemieszczanie gleby. Głębokość naruszenia wierzchniej jej

warstwy sięgała średnio 5 cm. Wielkość tę przyjęto jako przeciętną głębokość odcisków kopyt. Ocena obejmuje tylko odkształcenia wierzchniej warstwy gleby i związane z nią uszkodzenia korzeni, analogicznie jak w przypadku kolein i bruzd. Jest to pewne uproszczenie. Musi temu towarzyszyć świadomość, że zmiany własności fizycznych gleby w odcisku kopyta, koleinie i bruzdzie sięgają głębiej (OLEJARSKI, WALENDZIK 1996; SUWAŁA i in. 1995, 1996). Naruszenie struktury gleby może nastąpić też obok wymienionych wyżej uszkodzeń.

9. Zdecydowano się również na pewne uproszczenie w obliczeniu objętości kolein i bruzd, przyjmując ich przekrój poprzeczny w kształcie prostokąta. Szerokość kolein ustalono na podstawie wymiaru opon.

5. CHARAKTERYSTYKA POWIERZCHNI DOŚWIADCZALNYCH

Badania terenowe przeprowadzono w latach 1993-1996 w nadleśnictwach Dąbrowa i Solec Kujawski (obecnie Cierpiszewo) w RDLP Toruń.

Wstępnego wyboru drzewostanów dokonano na podstawie wniosku cięć i operatu urządzania lasu. Wybór ten następnie zweryfikowano w terenie, rezygnując z drzewostanów wyraźnie zróżnicowanych pod względem cech taksacyjnych. Wyznaczenia drzew dorodnych oraz szkodliwych dokonano przy współpracy z miejscową administracją Lasów Państwowych oraz Zakładem Hodowli Lasu IBL.

Charakterystykę wybranych drzewostanów i przeprowadzonej trzebieży przedstawiono w tabeli 1.

Drzewostany zajmowały siedlisko boru świeżego. Wiek drzewostanów podczas prowadzenia trzebieży wynosił od 59 do 92 lat (\bar{x} = 69 lat). Przeciętna pierśnica wynosiła przed trzebieżą — od 16,7 do 23,8 cm (\bar{x} = 20,3 cm); po trzebieży od 18,1 do 25,5 cm (\bar{x} = 21,5 cm). Liczba drzew przed trzebieżą wahała się od 671 do 1162 i wynosiła średnio 867 drzew/ha. Na średnią liczbę drzew na 1 ha drzewostanu przed zabiegiem złożyły się: drzewa dorodne — 234 szt., pożyteczne — 465 szt., szkodliwe — 159 szt. Na nowo założonych szlakach operacyjnych usuwano w przeliczeniu na 1 ha drzewostanu: 28 drzew (w tym 3 dorodne) przy odstępach około 20 m, 17 drzew (w tym 2 dorodne) przy odstępach 40 m i 14 drzew (w tym 2 dorodne) przy odstępach 60 m. Liczba drzew pozostających po trzebieży wyniosła od 532 do 904, średnio 692 drzewa/ha. Przeciętny rozmiar pozyskania z uwzględnieniem drzew wycinanych na szlakach operacyjnych wyniósł 25,12 m³/ha. Średnia miąższość drzew usuwanych w drzewostanach wahała się od 0,10 do 0,21 i wyniosła przeciętnie 0,15 m³.

Tabela 1

Table 1

Charakterystyka drzewostanów i przeprowadzonej trzebieży na powierzchniach badawczych

Characteristic of stands and thinning in the investigated area

| Wyszczególnienie Specification | Lokalizacja powierzchni* Plot location* | | | | | | Średnia Mean |
|--|---|------------------|------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| | Nadleśnictwo Forest Division | | | | | | |
| | Solec Kujawski | Dąbrowa | | | | | |
| | Leśnictwo, oddział | | | Forest Division, Section | | | |
| | Dybowo 3a | Borsukowo 55a | Jeżewnica 55f | Wilcze Błota 146f | Wilcze Błota 145g | Borowy Młyn 257a | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Na podstawie operatu Based on the assessment report | | | | | | | |
| Gatunek drzewa Tree species | So | So | So | So | So | So | So |
| Wiek w roku wykonania trzebieży Age (in a year of thinning) | 65 | 66 | 68 | 92 | 59 | 63 | 69 |
| Typ siedliskowy Site type | Bśw | Bśw | Bśw | Bśw | Bśw | Bśw | Bśw |
| Zadrzewienie Degree of crop density | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,8 |
| Zwarcie Stand density | u** | p** | u | u | u | p | – |
| Bonitacja Stand quality class | II,5 | II,5 | I,5 | III | II | III | II,4 |
| Zasobność [m ³ /ha] Volume [m ³ /ha] | 193 | 228 | 258 | 230 | 214 | 132 | 209 |
| Na podstawie prac terenowych Based on field works | | | | | | | |
| Pierśnica [cm]: Dbh | | | | | | | |
| – przed trzebieżą before thinning | 19,2 | 19,8 | 20,3 | 23,8 | 22 | 16,7 | 20,3 |
| – po trzebieży after thinning | 20,2 | 20,8 | 21,1 | 25,5 | 23,5 | 18,1 | 21,5 |
| Liczba drzew przed trzebieżą [szt./ha] (ogółem /w tym do ścinki na szlaku): Tree no. before thinning (total/for felling on the strip road): | 847/24 | 775/6 | 884/28 | 671/21 | 865/31 | 1162/32 | 867/24 |
| – dorodne chosen trees | 257/3 | 265/- | 302/4 | 219/1 | 159/2 | 257/1 | 243/2 |
| – pożyteczne positive | 443/15 | 371/4 | 451/18 | 326/12 | 314/18 | 667/19 | 465/14 |
| – szkodliwe negative | 147/6 | 139/2 | 131/6 | 126/8 | 174/11 | 238/12 | 159/8 |

Tabela 1 c. d.
Table 1 continued

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| Liczba drzew pozostających po trzebieży [szt./ha] No. of trees remained after thinning | 682 | 632 | 731 | 532 | 671 | 904 | 692 |
| Liczba drzew usuwanych [szt./ha] No. of removed trees | 165 | 143 | 153 | 139 | 194 | 258 | 175 |
| Rozmiar pozyskania [m³/ha] Amount of harvested wood | 24,52 | 18,49 | 26,17 | 29,48 | 26,51 | 25,53 | 25,12 |
| Średnia miąższość usuwanych drzew [m³/szt.] Mean volume of removed trees | 0,15 | 0,13 | 0,17 | 0,21 | 0,14 | 0,10 | 0,15 |
| Termin wykonania trzebieży Time of thinning | wiosna spring | jesień autumn | wiosna spring | jesień autumn | jesień autumn | wiosna spring | — |

* w kolejności realizacji badań

* following the succession of investigations

** u – umiarkowane moderate , p – przerywane rare

Glebę na powierzchniach doświadczalnych przykrywała warstwa ściółki grubości 0,5–2,0 cm, fragmentami porośnięta mchami i borówką. Pod warstwą ściółki znajdowały się poziomy:

— butwinowo-próchniczy Ofh, o barwie brązowej, grubości 2–5 cm, którego odczyn był bardzo kwaśny (pH 2,7–3,5);

— akumulacyjno-eluwialny AE, grubości 5–8 cm, o składzie mechanicznym piasku luźnego, słabo próchnicznego, ze śladami bielcowania, barwy ziemistej. Jego odczyn był bardzo kwaśny (pH 3,1–3,2).

Drugi poziom przechodził wyraźnie w poziom wzbogacenia B, również o składzie mechanicznym piasku luźnego, barwy rdzawej, o odczynie kwaśnym (pH 4,9–5,5).

Gleby na powierzchniach doświadczalnych zakwalifikowano do rzędu bielicoziemnych, typu rdzawego, podtypu bielcowo-rdzawego, wytworzone z piasków akumulacji wodno-lodowcowej. Opisu gleb na powierzchniach doświadczalnych dokonano we współpracy z Samodzielną Pracownią Gleboznawstwa i Nawożenia IBL (SUWAŁA i in. 1996).

6. WYNIKI PRACY

Wyniki zawarte w tym rozdziale przedstawione zostały w postaci wypunktowanych stwierdzeń w celu lepszej przejrzystości pracy.

6.1. Uszkodzenia drzew

6.1.1. Wskaźnik uszkodzeń drzew

WSKAŹNIK USZKODZEŃ DRZEW W CAŁYM PROCESIE TECHNOLOGICZNYM

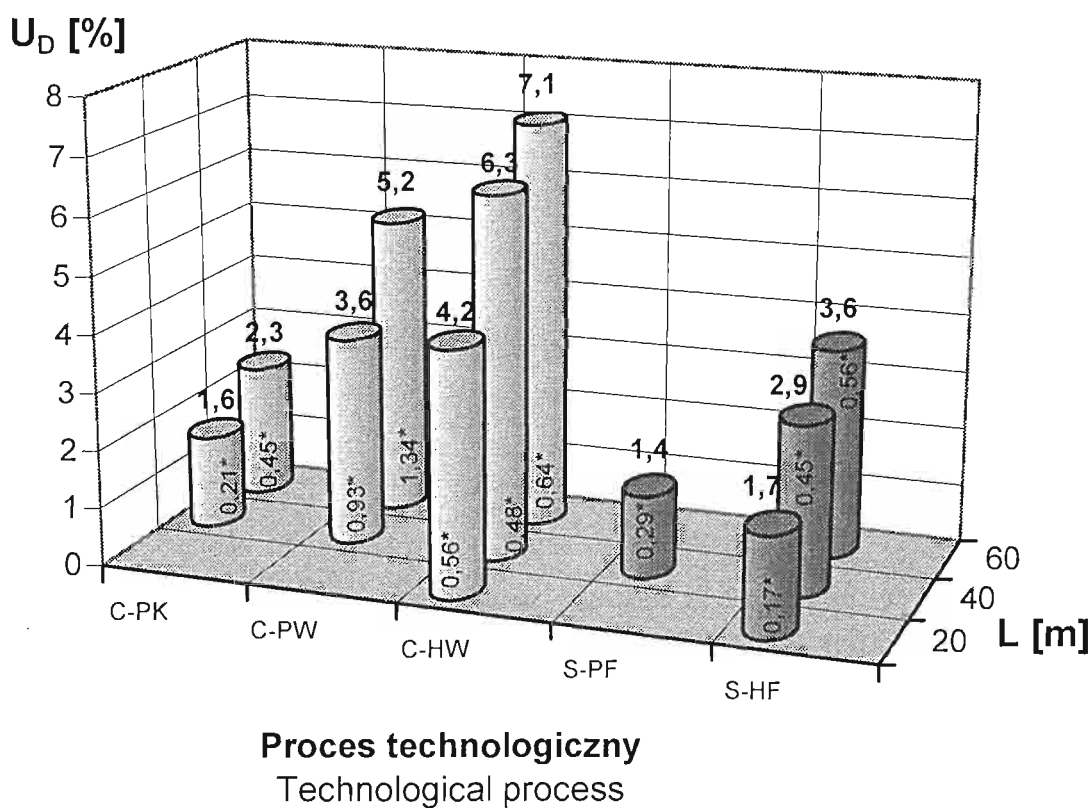
- Procesy technologiczne pozyskiwania drewna w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych oraz odstępy między szlakami operacyjnymi istotnie wpływają na wskaźnik uszkodzeń drzew (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0001). Wielkości średnie wskaźnika uszkodzeń U_D w całych procesach technologicznych przedstawiono na rycinie 1.

- Uszkodzenia drzew przy zastosowaniu metody całej strzały z użyciem pilarki i konia (C-PK₄₀₋₆₀*; U_D wynosi odpowiednio 1,6 i 2,3%), a także metody sortymentowej realizowanej pilarką i forwarderem (S-PF₄₀; $U_D = 1,4\%$) oraz harweste-rem i forwarderem, przy odstępach między szlakami 20 m (S-HF₂₀; $U_D=1,7\%$), są istotnie mniejsze niż przy zastosowaniu pozostałych procesów (C-PW₄₀₋₆₀; $U_D = 3,6$ i $5,2\%$ oraz C-HW₂₀₋₆₀; $U_D = 4,2-7,1\%$).

- Rozpatrując procesy technologiczne na niższym poziomie technicznym, a więc z użyciem pilarki do ścinki i wyróbki drewna, należy stwierdzić, że uszkodzenia drzew przy zastosowaniu metody sortymentowej ze zrywką forwarderem (S-PF) oraz całej strzały ze zrywką konną (C-PK) są istotnie mniejsze niż w tej ostatniej metodzie ze zrywką skiderem (C-PW). Uzyskane wyniki wskazują również, że uszkodzenia te przy zastosowaniu procesów ze zrywką koniem (C-PK) oraz skiderem (C-PW) są mniejsze przy odstępach między szlakami 40 m niż przy 60 m (przy zastosowaniu procesu S-PF uwzględniono tylko jeden odstęp między szlakami).

- W przypadku pracy na wyższym poziomie technicznym, tzn. ze ścinką i wyróbką harweste-rem, okazało się, że uszkodzenia drzew przy zastosowaniu metody sortymentowej ze zrywką forwarderem (S-HF) są istotnie mniejsze niż w metodzie całej strzały z użyciem do zrywki skidera (C-HW). Uszkodzenia przy odstępach między szlakami 20 m są istotnie mniejsze niż w przypadku 40 i 60 m.

* Liczby użyte w indeksie dolnym przy symbolach procesów technologicznych w całej pracy oznaczają odległości w metrach stosowane między szlakami operacyjnymi w poszczególnych wariantach doświadczenia



Ryc. 1. Wskaźnik uszkodzeń drzew U_D przy pozyskiwaniu drewna w zależności od metody i procesu technologicznego oraz odstępu między szlakami operacyjnymi L (*odchylenie standardowe między powierzchniami doświadczalnymi)

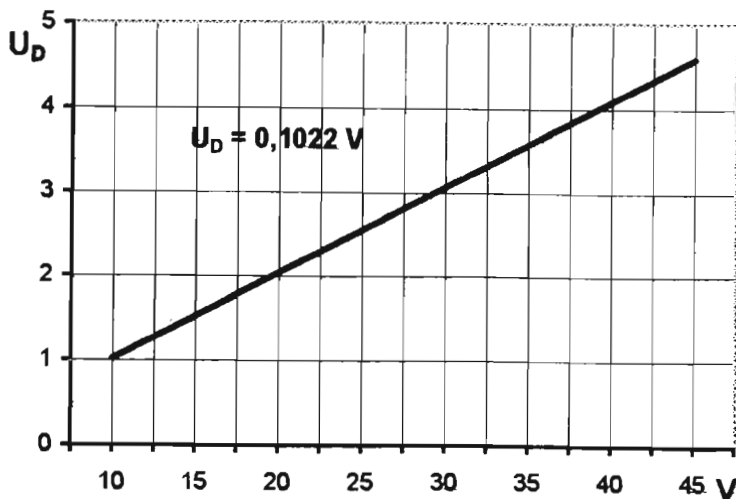
Fig. 1. Index of tree injuries U_D during timber harvesting, according to method, technological process and the distance between strip roads L (*standard deviation between study areas)

Na przykładzie wybranego procesu S–HF₂₀ stwierdzono korelację między wskaźnikiem uszkodzeń drzew i przeciętnym rozmiarem pozyskiwania drewna V ($R^2=0,87$, $p_\alpha=0,0003$, $U_D=0,1022V$). Prosta regresji wskaźnika uszkodzeń drzew w zależności od rozmiaru pozyskiwania drewna przedstawia rycina 2. Stwierdzono także korelację między wskaźnikiem uszkodzeń drzew i przeciętną miąższością pozyskiwanego drzewa v ($R^2=0,45$; $p_\alpha=0,0063$; $U_D=13,4v$). Prosta regresji dla tej zależności przedstawia rycina 3. Nie stwierdzono korelacji między wskaźnikiem uszkodzeń drzew i liczbą drzew pozostających po trzebieży.

WSKAŹNIK USZKODZEŃ DRZEW PODCZAS OPERACJI TECHNOLOGICZNYCH

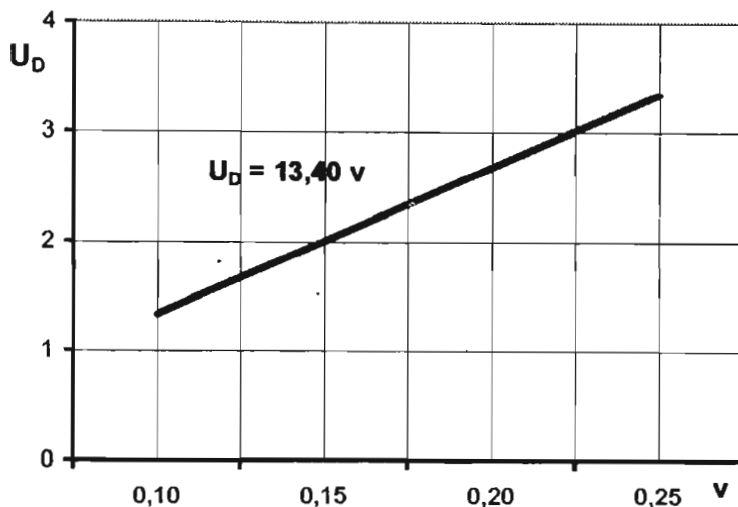
- Środki pracy zastosowane w operacjach technologicznych i odstępy między szlakami operacyjnymi istotnie wpływają na wskaźnik uszkodzeń drzew (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0039). Średnie wielkości wskaźnika uszkodzeń drzew U_D podano w tabeli 2.

- Uszkodzenia drzew przy ścinie i wyróbce pilarką w obu metodach (C–PK i C–PW; $U_D=0,9\%$ oraz S–PF; $U_D=0,6\%$) oraz harvesterem w metodzie sorty-



Ryc. 2. Prosta regresji wskaźnika uszkodzeń drzew U_D [%] przy zastosowaniu procesu S-HF₂₀, w zależności od rozmiaru pozyskania drewna V [m^3/ha]

Fig. 2. Regression line of tree injuries index U_D in the S-HF₂₀ process according to the amount of harvested timber V [m^3/ha]



Ryc. 3. Prosta regresji wskaźnika uszkodzeń drzew U_D [%] przy zastosowaniu procesu SH-F₂₀, w zależności od przeciętnej miąższości drzewa w drzewostanie v [$m^3/szt.$], przeznaczanego do pozyskiwania





Fig. 3. Regression line of tree injuries indexes U_D [%] in the S-HF₂₀ process according to the average tree volume v [$m^3/szt.$]

mentowej przy odstępnie 20 m (S-HF₂₀; $U_D = 1,6\%$) są istotnie mniejsze niż przy zastosowaniu harwestera w pozostałych przypadkach (S-HF₄₀₋₆₀; $U_D = 2,5$ i $2,8\%$ oraz C-HW₂₀₋₆₀; $U_D = 3,3-5,0\%$). Trzeba jednak zaznaczyć, że uszkodzenia drzew pilarką są mniejsze niż harwesterem, nawet przy odstępnie między szlakami 20 m. Okazało się też, że wskaźnik uszkodzeń drzew przyjął mniejszą wartość przy zastosowaniu pilarki w metodzie sortymentowej niż całej strzały (choć statystycznie różnica okazała się nieistotna).

- Uszkodzenia drzew przy ścinie, okrzesywaniu i wyróbce drewna harwesterem w metodzie sortymentowej (S-HF) są istotnie mniejsze niż przy zastosowaniu tego harwestera do ścinki i okrzesywania drzew w metodzie całej strzały (C-HW). Uszkodzenia przy odstępnie między szlakami 20 m są istotnie mniejsze niż w przypadku 40 i 60 m.

Tabela 2
Table 2

Wskaźnik uszkodzeń drzew U_D w operacjach technologicznych, w zależności od metody i zastosowanego środka pracy oraz odstępów między szlakami operacyjnymi
Index of tree damages U_D during technological operations according to applied methods, equipment and the distance between strip roads

| Metoda Method | | | | | | | | |
|---|------|---|------|----------------------------|---|------|---|------|
| Całej strzały Whole-stem | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | |
| Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | |
| C-PK i C-PW | | C-HW | | | S-PF | | S-HF | |
| Środek pracy Equipment | | | | | | | | |
|  | |  | | |  | |  | |
| Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | |
| 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 |
| Wskaźnik uszkodzeń drzew [%] Index of tree damages [%] | | | | | | | | |
| 0,9 | 0,9 | 3,3 | 4,6 | 5,0 | 0,6 | 1,6 | 2,5 | 2,8 |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | | | | | | | | |
| 0,16 | 0,14 | 0,53 | 0,42 | 0,66 | 0,23 | 0,13 | 0,31 | 0,45 |

WSKAŹNIK USZKODZEŃ DRZEW PRZY ZRYWCE

- Środki zrywkowe i odstępów między szlakami istotnie wpływają na uszkodzenia drzew (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0011). Średnie wielkości wskaźnika uszkodzeń drzew U_D podano w tabeli 3.




- Po wykonaniu operacji technologicznych pilarką uszkodzenia drzew przy zrywce forwarderem w metodzie sortymentowej (S-PF₄₀; $U_D = 0,8\%$) oraz koniem w metodzie całej strzały (C-PK₄₀₋₆₀; $U_D = 0,7$ i $1,4\%$) są istotnie mniejsze niż skiderem w tej ostatniej metodzie (C-PW₄₀₋₆₀; $U_D = 2,7$ i $4,3\%$).

- Po wykonaniu operacji technologicznych harwesterem uszkodzenia drzew przy zrywce forwarderem w metodzie sortymentowej (S-HF₂₀₋₆₀; $U_D = 0,1-0,8\%$) są istotnie mniejsze niż skiderem w metodzie całej strzały (C-HW₂₀₋₆₀; $U_D = 0,9-2,1\%$). Uszkodzenia drzew przy odstępach między szlakami 20 m są istotnie mniejsze niż przy 60 m.

Tabela 3
Table 3

Wskaźnik uszkodzeń drzew U_D przy zrywce, w zależności od metody, procesu technologicznego i środka zrywkowego pracy oraz odstępu między szlakami operacyjnymi

Index of tree damages U_D during skidding according to applied methods, technological processes, skidding equipment and the distance between strip roads

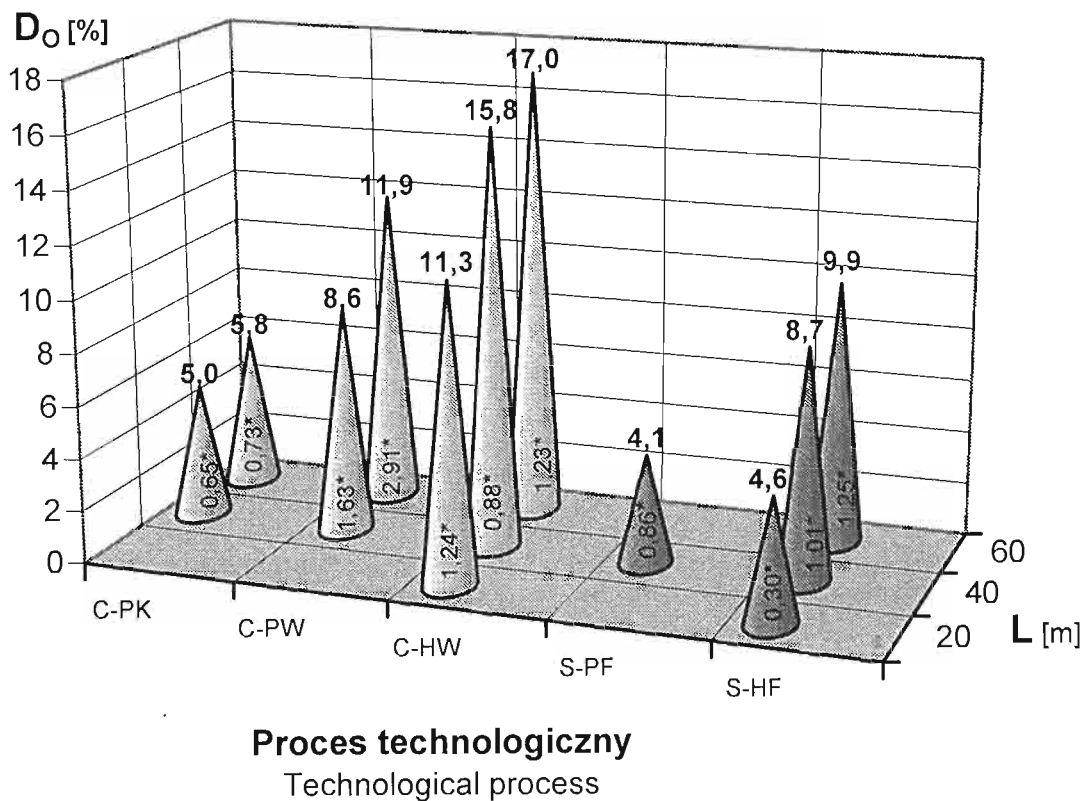
| Metoda Method | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|--|------|------|----------------------------|------|------|---|------|--|
| Całej strzały Whole-stem | | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | |
| Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | | |
| C-PK | | C-PW | | C-HW | | | | S-PF | | S-HF | |
| Środek zrywkowy Skidding equipment | | | | | | | | | | | |
|  | | |  | | | | | |  | | |
| Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | |
| 40 | 60 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | |
| Wskaźnik uszkodzeń drzew [%] Index of tree damages [%] | | | | | | | | | | | |
| 0,7 | 1,4 | 2,7 | 4,3 | 0,9 | 1,7 | 2,1 | 0,8 | 0,1 | 0,4 | 0,8 | |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | | | | | | | | | | | |
| 0,07 | 0,49 | 0,93 | 1,34 | 0,10 | 0,33 | 0,23 | 0,38 | 0,07 | 0,19 | 0,30 | |

• Uszkodzenia drzew przy zrywce tymi samymi ciągnikami w metodzie całej strzały (skider) oraz sortymentowej (forwarder) po ścinie i wyróbce drewna harvesterem (C–HW i S–HF) są mniejsze niż po wykonaniu tych operacji pilarką (C–PW i S–PF).

6.1.2. Udział drzew uszkodzonych

UDZIAŁ DRZEW USZKODZONYCH W CAŁYM PROCESIE TECHNOLOGICZNYM

• Procesy technologiczne i odstępy między szlakami operacyjnymi istotnie wpływają na udział procentowy drzew uszkodzonych (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0000). Średnie udziały drzew uszkodzonych D_o w całych procesach technologicznych przedstawiono na rycinie 4.



Ryc. 4. Udział drzew uszkodzonych D_o przy pozyskiwaniu drewna w zależności od metody i procesu technologicznego oraz odstępu między szlakami operacyjnymi (*odchylenie standardowe między powierzchniami doświadczalnymi)

Fig. 4. The share of injured trees during timber harvesting, according to method, technological process and the distance between strip roads (*standard deviation between study areas)

- Udziały drzew uszkodzonych w metodzie sortymentowej realizowanej pilarką i forwarderem (S-PF₄₀; $D_o = 4,1\%$), a także harwesterem i forwarderem, pod warunkiem zachowania odstępu między szlakami 20 m (S-HF₂₀; $D_o = 4,6\%$) oraz w metodzie całej strzały z użyciem pilarki i konia (C-PK₄₀₋₆₀; $D_o = 5,0$ i $5,8\%$), są istotnie mniejsze niż w pozostałych procesach (C-PW₄₀₋₆₀; $D_o = 8,6$ i $11,9\%$ oraz C-HW₂₀₋₆₀; $D_o = 11,3-17,0\%$).

- Porównanie procesów o niższym poziomie technicznym, z użyciem pilarki do ścinki i wyróbki drewna wskazuje, że udziały drzew uszkodzonych w metodzie sortymentowej ze zrywką forwarderem (S-PF) oraz całej strzały ze zrywką konną są istotnie mniejsze niż w tej ostatniej metodzie ze zrywką skiderem (C-PW).

- W przypadku pozyskiwania drewna maszynami o wyższym poziomie technicznym (ze ścinką i wyróbką harwesterem) stwierdzono, że udział procentowy drzew uszkodzonych przy zastosowaniu metody sortymentowej ze zrywką forwarderem (S-HF) jest istotnie mniejszy niż w metodzie całej strzały ze zrywką skiderem (C-HW).





- Udział procentowy drzew uszkodzonych przy odstępie między szlakami 20 m jest istotnie mniejszy niż w przypadku 40 i 60 m.

Tabela 4

Table 4

Udział drzew uszkodzonych U_D w operacjach technologicznych, w zależności od metody i środka pracy oraz odstęp między szlakami operacyjnymi

The share of damaged trees U_D at technological operations according to applied methods, equipment and the distance between strip roads

| Metoda Method | | | | | | | | | |
|---|------|---|------|------|---|------|---|------|--|
| Całej strzały Whole-stem | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | |
| Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | |
| C-PK i C-PW | | | C-HW | | S-PF | | | S-HF | |
| Środek pracy Equipment | | | | | | | | | |
|  | |  | | |  | |  | | |
| Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | |
| 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | |
| Udział drzew uszkodzonych [%] The share of damaged trees [%] | | | | | | | | | |
| 3,0 | 3,1 | 9,2 | 12,3 | 12,8 | 2,2 | 4,5 | 7,7 | 8,0 | |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | | | | | | | | | |
| 0,62 | 0,22 | 1,06 | 0,89 | 1,48 | 0,75 | 0,23 | 0,71 | 0,96 | |

UDZIAŁ DRZEW USZKODZONYCH PODCZAS OPERACJI TECHNOLOGICZNYCH

• Środki pracy przyjęte do ścinki i wyróbki drewna (pilarka, harwester) oraz odstępy między szlakami istotnie wpływają na udział procentowy drzew uszkodzonych (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0008). Średnie udziały drzew uszkodzonych D_o podczas operacji technologicznych wyszczególniono w tabeli 4.

• Udziały drzew uszkodzonych pilarką (S-PF₄₀; $D_o = 2,2\%$ oraz C-PK i C-PW przy odstępnie 40 i 60 m; $D_o = 3,0$ i $3,1\%$) oraz harwesterem w metodzie sortymentowej przy odstępnie między szlakami 20 m (S-HF₂₀; $D_o = 4,5\%$) nie różnią się między sobą istotnie i są mniejsze niż w pozostałych przypadkach (S-HF₄₀₋₆₀; $D_o = 7,7$ i $8,0\%$ oraz C-HW₂₀₋₆₀; $D_o = 9,2-12,8\%$). Trzeba jednak zauważyć, że przy zastosowaniu pilarki są one mniejsze niż przy użyciu harwestera. Na uwagę zasługuje również to, że udział drzew uszkodzonych pilarką w metodzie sortymentowej jest mniejszy niż w metodzie całej strzały.




• Udział drzew uszkodzonych harwesterem w metodzie sortymentowej (S-HF) jest istotnie mniejszy niż w metodzie całej strzały (C-HW).

• Udział drzew uszkodzonych przy odstępnie między szlakami 20 m jest istotnie mniejszy niż przy 40 i 60 m.

Tabela 5

Table 5

Udział drzew uszkodzonych D_o przy zrywce, w zależności od metody, procesu technologicznego i środka zrywkowego oraz odstęp między szlakami operacyjnymi
The share of damaged trees D_o during skidding according to applied methods, technological process, skidding equipment and the distance between strip roads

| Metoda Method | | | | | | | | | | | |
|---|------|---|------|------|------|----------------------------|------|---|------|------|--|
| Całej strzały Whole-stem | | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | |
| Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | | |
| C-PK | | C-PW | | C-HW | | S-PF | | S-HF | | | |
| Środek zrywkowy Skidding equipment | | | | | | | | | | | |
|  | |  | | | | | |  | | | |
| Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | |
| 40 | 60 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | |
| Udział drzew uszkodzonych [%] The share of damaged trees [%] | | | | | | | | | | | |
| 2,0 | 2,7 | 5,6 | 8,8 | 2,1 | 3,5 | 4,2 | 1,9 | 0,1 | 1,0 | 1,9 | |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | | | | | | | | | | | |
| 0,08 | 0,97 | 1,63 | 2,92 | 0,27 | 0,60 | 0,33 | 0,74 | 0,13 | 0,40 | 0,75 | |

UDZIAŁ DRZEW USZKODZONYCH PRZY ZRYWCE

- Środki zrywkowe i odstęp między szlakami wpływają istotnie na udział drzew uszkodzonych (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0025). Średnie udziały drzew uszkodzonych D_o przy zrywce podano w tabeli 5.

- Po wykonaniu operacji technologicznych pilarką – udziały drzew uszkodzonych przy zrywce forwarderem w metodzie sortymentowej (S-PF₄₀; $D_o=1,9\%$) oraz koniem w metodzie całej strzały (C-PK₄₀₋₆₀; $D_o=2,0$ i $2,7\%$) są istotnie mniejsze niż skiderem (C-PW₄₀₋₆₀; $D_o=5,6$ i $8,8\%$).

- Po wykonaniu operacji technologicznych harwesterem udział drzew uszkodzonych forwarderem (S-HF₂₀₋₆₀; $D_o=0,1-1,9\%$) jest istotnie mniejszy niż skiderem (C-HW₂₀₋₆₀; $D_o=2,1-4,2\%$).

- Udział drzew uszkodzonych przy odstępnie między szlakami 20 m jest istotnie mniejszy niż przy 60 m.

- Udziały drzew uszkodzonych przy zrywce ciągnikami po ścinie i wyróbce harwesterem (C-HW i S-HF) są mniejsze niż po wykonaniu operacji technologicznych pilarką (C-PW, S-PF).

6.1.3. Charakterystyka uszkodzeń drzew

CECHY RAN DRZEW PO CAŁYM PROCESIE TECHNOLOGICZNYM

Cechy ran powstających na drzewach w procesie pozyskiwania drewna po całym procesie technologicznym przedstawiono poniżej (tab. 6).

Liczba ran jednego drzewa

Średnia liczba ran drzewa waha się od 1,4 do 1,8. Trudno jest wskazać wyraźne prawidłowości. Można jedynie zauważyć, że liczba ran jest nieco mniejsza w metodzie całej strzały (1,4–1,6) niż sortymentowej (1,7–1,8).

Wysokość ran

Średnia wysokość, na której występują rany na drzewach po poszczególnych procesach technologicznych, wynosi od 2,9 do 4,6 m. Zmienność jest więc duża. Wynika ona ze zróżnicowania wysokości ran zarówno w operacjach technologicznych jak i przy zrywce.

Wyraźniejsze prawidłowości zarysowały się pod względem udziału ran w klasach wysokości. W procesach technologicznych realizowanych za pomocą pilarki i konia (C–PK) oraz pilarki i skidera (C–PW) udział ran w klasach wysokości jest bardziej wyrównany niż przy zastosowaniu procesów z użyciem harwestera (C–HW i S–HF) bądź forwardera (S–PF), cechujących się przeważającym udziałem ran o średniej wysokości (0,11–4,10 m). Charakterystyczny jest także większy udział ran niskich ($\leq 0,1$ m) w metodzie całej strzały, szczególnie po ścinie drzew pilarką (C–PK i C–PW), niż w sortymentowej (S–PF).

Powierzchnia ran

Średnia powierzchnia ran drzew kształtuje się od 61 do 92 cm², w zależności od procesu technologicznego oraz odstępów między szlakami. Najmniejszymi ranami cechuje się zastosowanie pilarki i konia (C–PK), pilarki i skidera – przy odstępach między szlakami 40 m (C–PW₄₀) oraz pilarki i forwardera (S–PF). W pozostałych procesach rany są większe. W ramach prawie wszystkich procesów technologicznych wyraźna jest tendencja do zwiększania się średniej powierzchni ran wraz z odstępem między szlakami. Nie występuje ona jedynie w procesie z użyciem pilarki i konia.

Udziały ran w klasach powierzchni (≤ 100 i > 100 cm²) są podobne w poszczególnych procesach technologicznych. Dominują rany małe (≤ 100 cm²).

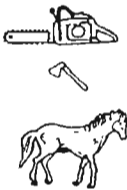
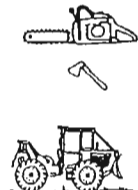
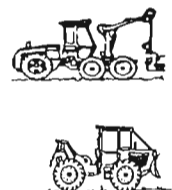
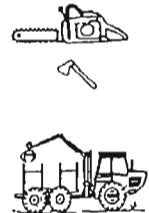
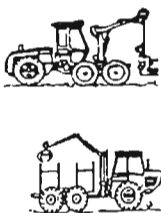
Uszkodzona część obwodu strzały

Średnia część zranionego obwodu strzały objęta przez ranę wynosi od 0,066 do 0,087. Najmniejszą częścią uszkodzonego obwodu strzały charakteryzują się procesy z użyciem harwestera i forwardera, przy odstępach między szlakami około 20 m (S–HF₂₀), oraz pilarki i konia, w przypadku odstępów 40 m (C–PK₄₀). Procesy

Tabela 6
Table 6

Cechy ran drzew powstałych przy pozyskaniu drewna, w zależności od metody, procesu technologicznego i odstępu między szlakami operacyjnymi

Characteristics of tree wounds at timber harvesting according to applied methods, technological process and the distance between strip roads

| Wyszczególnienie Specification | | J.m. Units | Metoda Method | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|---------------------------|---|-----|--|-----|---|-----|----------------------------|---|-----|---|-----|--|
| | | | Całej strzały Whole-stern | | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | |
| | | | Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | | |
| | | | C - PK | | C - PW | | C - HW | | | S - PF | | S - HF | | |
| | | |  | |  | |  | | |  | |  | | |
| | | | Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | |
| | | 40 | 60 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | | |
| Średnia liczba ran Mean no. of wounds | | Szt/ drzewo No/tree | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | |
| Średnia wysokość rany Average height of wound | | m | 4,6 | 4,2 | 3,5 | 3,6 | 2,9 | 3,2 | 2,7 | 3,3 | 3,7 | 3,9 | 3,7 | |
| Udział ran w klasach wysokości Share of wounds in height classes | ≤ 0,1 m | % | 24 | 25 | 19 | 21 | 7 | 8 | 7 | 6 | 3 | 3 | 3 | |
| | 0,11- 4,1 m | | 30 | 32 | 42 | 52 | 65 | 54 | 67 | 63 | 67 | 61 | 66 | |
| | > 4,1 m | | 46 | 43 | 39 | 27 | 28 | 38 | 26 | 31 | 30 | 36 | 31 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Średnia powierzchnia rany Mean damaged area | | cm ² | 62 | 58 | 61 | 92 | 75 | 76 | 92 | 67 | 73 | 84 | 83 |
| Udział ran w klasach powierzchni Share of wounds in damaged classes | ≤ 100 cm ² | % | 82 | 85 | 79 | 81 | 80 | 75 | 78 | 80 | 83 | 85 | 77 |
| | > 100 cm ² | | 18 | 15 | 21 | 19 | 20 | 25 | 22 | 20 | 17 | 15 | 23 |
| Średnia część obwodu strzały objęta przez ranę Mean portion of tree circumference affected by damage | | - | 0,068 | 0,083 | 0,075 | 0,080 | 0,084 | 0,079 | 0,084 | 0,087 | 0,066 | 0,076 | 0,075 |
| Udział ran w klasach obwodu strzały Share of wounds in classes of tree circumference | ≤1/8 (0,125) | % | 87 | 81 | 81 | 80 | 84 | 83 | 80 | 79 | 90 | 86 | 83 |
| | > 1/8 | | 13 | 19 | 19 | 20 | 16 | 17 | 20 | 21 | 10 | 14 | 17 |
| Udział ran w klasach głębokości Share of wounds in depth classes | do drewna to wood material | % | 96 | 92 | 89 | 85 | 86 | 86 | 83 | 97 | 92 | 92 | 89 |
| | z uszkodz. tk. drzewnej with xylem damages | | 4 | 8 | 11 | 15 | 14 | 14 | 17 | 3 | 8 | 8 | 11 |

te cechują się także najmniejszym udziałem ran zajmujących ponad $1/8$ (0,125) obwodu strzały. Trzeba przy tym zauważyć, że we wszystkich procesach dominują rany obejmujące mniej niż $1/8$ obwodu. Zarówno wielkości średnie, jak i udziały ran obejmujących powyżej $1/8$ obwodu zwiększają się wraz z odstępem między szlakami operacyjnymi.

Głębokość ran

We wszystkich procesach dominują rany płytkie (bez uszkodzeń tkanki drzewnej). Najmniejszym udziałem ran głębokich (z uszkodzeniem tkanki drzewnej) charakteryzują się procesy z użyciem pilarki i forwadera (S–PF) oraz pilarki i konia, przy odstępach między szlakami 40 m (C–PK₄₀). We wszystkich procesach dosyć wyraźna jest prawidłowość, że udział ran głębokich zwiększa się wraz z odstępem między szlakami operacyjnymi, szczególnie powyżej 40 m.

CECHY RAN DRZEW PO OPERACJACH TECHNOLOGICZNYCH

Cechy ran drzew po operacjach technologicznych scharakteryzowano w tabeli 7.

Liczba ran jednego drzewa

Średnia liczba ran drzewa, spowodowanych pilarką i harwesterem, jest podobna i wynosi od 1,7 do 1,9.

Wysokość ran

Średnia wysokość ran waha się od 3,2 m do 6,4 m, w zależności od zastosowanych środków. Jest wyraźnie większa przy użyciu pilarki niż harwestera w obu metodach pozyskiwania drewna. W przypadku zastosowania pilarki przeważają rany wysokie ($>4,1$ m), natomiast nie występują rany niskie ($\leq 0,1$ m). Harwester powoduje najwięcej ran średniej wysokości (0,11–4,1 m), mniejszy jest udział ran wysokich, a najmniejszy niskich w obu metodach pozyskiwania. Udział tych ostatnich jest nieco większy w metodzie całej strzały.

Powierzchnia ran

Średnia powierzchnia ran wynosi od 42 do 86 cm². Jest mniejsza przy użyciu pilarki niż harwestera w obu metodach pozyskiwania drewna. W każdym przypadku zdecydowanie przeważają rany do 100 cm². Najmniejszy jest udział ran dużych (>100 cm²) przy ścinie drzew pilarką.

Uszkodzona część obwodu strzały

Średnia część zranionego obwodu strzały zawiera się w przedziale 0,066–0,087. Uszkodzenia obwodu strzały są mniejsze w metodzie sortymentowej niż całej strzały, zarówno przy użyciu pilarki jak i harwestera. W każdym przypadku wyraźnie większy jest udział zranień obejmujących do $1/8$ obwodu.

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Średnia powierzchnia rany Mean damaged area | | cm ² | 62 | 58 | 61 | 92 | 75 | 76 | 92 | 67 | 73 | 84 | 83 |
| Udział ran w klasach powierzchni Share of wounds in damaged classes | ≤ 100 cm ² | % | 82 | 85 | 79 | 81 | 80 | 75 | 78 | 80 | 83 | 85 | 77 |
| | > 100 cm ² | | 18 | 15 | 21 | 19 | 20 | 25 | 22 | 20 | 17 | 15 | 23 |
| Średnia część obwodu strzały objęta przez ranę Mean portion of tree circumference affected by damage | | - | 0,068 | 0,083 | 0,075 | 0,080 | 0,084 | 0,079 | 0,084 | 0,087 | 0,066 | 0,076 | 0,075 |
| Udział ran w klasach obwodu strzały Share of wounds in classes of tree circumference | ≤ 1/8 (0,125) | % | 87 | 81 | 81 | 80 | 84 | 83 | 80 | 79 | 90 | 86 | 83 |
| | > 1/8 | | 13 | 19 | 19 | 20 | 16 | 17 | 20 | 21 | 10 | 14 | 17 |
| Udział ran w klasach głębokości Share of wounds in depth classes | do drewna to wood material | % | 96 | 92 | 89 | 85 | 86 | 86 | 83 | 97 | 92 | 92 | 89 |
| | z uszkodz. tk. drzewnej with xylem damages | | 4 | 8 | 11 | 15 | 14 | 14 | 17 | 3 | 8 | 8 | 11 |

te cechują się także najmniejszym udziałem ran zajmujących ponad $1/8$ (0,125) obwodu strzały. Trzeba przy tym zauważyć, że we wszystkich procesach dominują rany obejmujące mniej niż $1/8$ obwodu. Zarówno wielkości średnie, jak i udziały ran obejmujących powyżej $1/8$ obwodu zwiększają się wraz z odstępem między szlakami operacyjnymi.

Głębokość ran

We wszystkich procesach dominują rany płytkie (bez uszkodzeń tkanki drzewnej). Najmniejszym udziałem ran głębokich (z uszkodzeniem tkanki drzewnej) charakteryzują się procesy z użyciem pilarki i forwardera (S–PF) oraz pilarki i konia, przy odstępach między szlakami 40 m (C–PK₄₀). We wszystkich procesach dosyć wyraźna jest prawidłowość, że udział ran głębokich zwiększa się wraz z odstępem między szlakami operacyjnymi, szczególnie powyżej 40 m.

CECHY RAN DRZEW PO OPERACJACH TECHNOLOGICZNYCH

Cechy ran drzew po operacjach technologicznych scharakteryzowano w tabeli 7.

Liczba ran jednego drzewa

Średnia liczba ran drzewa, spowodowanych pilarką i harwesterem, jest podobna i wynosi od 1,7 do 1,9.

Wysokość ran

Średnia wysokość ran waha się od 3,2 m do 6,4 m, w zależności od zastosowanych środków. Jest wyraźnie większa przy użyciu pilarki niż harwestera w obu metodach pozyskiwania drewna. W przypadku zastosowania pilarki przeważają rany wysokie ($>4,1$ m), natomiast nie występują rany niskie ($\leq 0,1$ m). Harwester powoduje najwięcej ran średniej wysokości (0,11–4,1 m), mniejszy jest udział ran wysokich, a najmniejszy niskich w obu metodach pozyskiwania. Udział tych ostatnich jest nieco większy w metodzie całej strzały.

Powierzchnia ran

Średnia powierzchnia ran wynosi od 42 do 86 cm². Jest mniejsza przy użyciu pilarki niż harwestera w obu metodach pozyskiwania drewna. W każdym przypadku zdecydowanie przeważają rany do 100 cm². Najmniejszy jest udział ran dużych (>100 cm²) przy ścinie drzew pilarką.

Uszkodzona część obwodu strzały

Średnia część zranionego obwodu strzały zawiera się w przedziale 0,066–0,087. Uszkodzenia obwodu strzały są mniejsze w metodzie sortymentowej niż całej strzały, zarówno przy użyciu pilarki jak i harwestera. W każdym przypadku wyraźnie większy jest udział zranień obejmujących do $1/8$ obwodu.

Najmniejszym udziałem ran obejmujących powyżej 1/8 obwodu cechuje się metoda sortymentowa, zarówno przy zastosowaniu pilarki jak i harwestera.

Głębokość ran

Dominują uszkodzenia płytkie, szczególnie przy zastosowaniu pilarki. Udział uszkodzeń głębokich jest nieco mniejszy w metodzie sortymentowej niż całej strzały, tak przy użyciu pilarki jak i harwestera.

CECHY RAN DRZEW PO ZRYWCE

Wyniki badań dotyczących cech ran po zrywce drewna przedstawiono w tabeli 8.

Liczba ran jednego drzewa

Średnia liczba ran drzewa przy zrywce jest dosyć zróżnicowana i waha się od 1,1 do 1,7. Jest najmniejsza przy zrywce konnej, natomiast większa przy zastosowaniu ciągników. Największa liczba zranień w przypadku zrywki forwarderem po ścinie drzew i wyróbce drewna pilarką jest wynikiem jego wjazdów na pasy drzewostanu (odstęp między szlakami 40 m jest zbyt duży).

Wysokość ran

Średnia wysokość ran wynosi od 0,1 do 2,3 m, w zależności od zastosowanych środków. Jest najmniejsza przy zrywce konnej (0,1 m), nieco większa przy zastosowaniu skidera (0,3–0,7 m), a największa w przypadku forwardera (1,7–2,3 m). Różne są też udziały ran w klasach wysokości. W przypadku zrywki konnej przeważają rany niskie. Przy zrywce skiderem po ścinie pilarką pewną przewagę ma udział ran średniej wysokości, z dużym jeszcze udziałem ran niskich. Zrywka skiderem po ścinie harwesterem charakteryzuje się zdecydowaną przewagą ran średniej wysokości oraz mniejszym niż w poprzednim przypadku udziałem ran niskich. Zarówno przy zrywce koniem jak i skiderem nie występują rany wysokie. Zrywkę forwarderem cechuje przeważający udział ran średniej wysokości oraz stosunkowo mały udział ran niskich i wysokich.





Powierzchnia ran

Średnia powierzchnia ran waha się od 49 do 165 cm². Najmniejsze są przy zrywce forwarderem oraz koniem. Największe mają miejsce przy zrywce skiderem. Występuje przy tym tendencja zwiększania się powierzchni ran wraz z odstępem między szlakami przy zrywce ciągnikami. Przeważają rany o powierzchni do 100 cm², choć różnią się one w zależności od środków. Najmniejszy jest udział ran dużych (>100 cm²) przy zrywce forwarderem po ścinie i wyróbce drewna harwesterem przy odległości między szlakami około 20 m. Największy zaś w przypadku zrywki skiderem po ścinie i okrzesywaniu harwesterem oraz odległości między szlakami 60 m.

Tabela 7
Table 7

Cechy ran drzew powstałych po wykonaniu operacji technologicznych, w zależności od metody, procesu technologicznego i środka pracy oraz odstępów między szlakami operacyjnymi

Characteristics of tree wounds after technological operations according to applied methods, technological process, equipment and the distance between strip roads




| Wyszczególnienie Specification | | J.m. Units | Metoda Method | | | | | | | |
|---|-------------|---------------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| | | | Całej strzały Whole-stem | | | | Sortymentowa Short-wood | | | |
| | | | Proces technologiczny Technological process | | | | | | | |
| | | | C - PK i C-PW | | C - HW | | S - PF | | S - HF | |
| | | |  | |  | |  | |  | |
| | | | Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | |
| | | 40-60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | |
| Średnia liczba ran Mean no. of wounds | | Szt/ drzewo No/tree | 1,9 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Średnia wysokość rany Mean no. of wounds | | m | 6,4 | 3,3 | 3,8 | 3,2 | 5,6 | 3,7 | 4,0 | 3,7 |
| Udział ran w klasach wysokości Share of wounds in height classes | ≤ 0,1 m | % | 0 | 6 | 5 | 4 | 0 | 1 | 2 | 2 |
| | 0,11- 4,1 m | | 26 | 61 | 50 | 63 | 27 | 69 | 58 | 60 |
| | > 4,1 m | | 74 | 33 | 45 | 33 | 73 | 30 | 40 | 38 |

| | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Srednia powierzchnia rany The average area of a wound | | cm ² | 42 | 69 | 61 | 67 | 49 | 73 | 86 | 77 |
| Udział ran w klasach powierzchni Share of wounds in classes of damage | ≤ 100 cm ² | % | 89 | 80 | 76 | 83 | 87 | 83 | 86 | 80 |
| | > 100 cm ² | | 11 | 20 | 24 | 17 | 13 | 17 | 14 | 20 |
| Średnia część obwodu strzały objęta przez ranę Mean portion of tree circumference affected by damage | | - | 0,074 | 0,087 | 0,081 | 0,080 | 0,074 | 0,066 | 0,076 | 0,072 |
| Udział ran w klasach obwodu strzały Share of wounds in classes of tree circumference | ≤ 1/8 (0,125) | % | 84 | 83 | 83 | 83 | 92 | 88 | 87 | 86 |
| | > 1/8 | | 16 | 17 | 17 | 17 | 8 | 12 | 13 | 14 |
| Udział ran w klasach głębokości Share of wounds in depth classes | do drewna to wood arterial | % | 97 | 88 | 87 | 85 | 99 | 88 | 92 | 88 |
| | z uszkodz. tk. drzewnej with xylem damages | | 3 | 12 | 13 | 15 | 1 | 12 | 8 | 12 |

Tabela 8
Table 8

Cechy ran drzew powstałych przy zrywce drewna, w zależności od metody, procesu technologicznego i środka zrywkowego oraz odstępów między szlakami operacyjnymi

Characteristic of tree wounds during skidding according to applied methods, technological process, equipment and the distance between strip roads

| Wyszczególnienie Specification | | J.m. | Metoda Method | | | | | | | | | | | |
|---|------------|--------------------------------|---|-----|---|-----|--------|-----|----------------------------|--------|---|--------|-----|---|
| | | | Całej strzały Whole-stem | | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | |
| | | | Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | | |
| | | | C - PK | | C - PW | | C - HW | | | S - PF | | S - HF | | |
| | | |  | |  | | | | | |  | | | |
| | | | Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | |
| | | 40 | 60 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | | |
| Średnia liczba ran Mean no. of wounds | | Szt/ drze- wo No/tree | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | |
| Średnia wysokość rany Average height of wound | | m | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 1,7 | 2,0 | 2,3 | 2,0 | |
| Udział ran w klasach wysokości Share of wounds in height classes | ≤ 0,1 m | % | 67 | 67 | 40 | 35 | 14 | 28 | 18 | 9 | 8 | 12 | 7 | |
| | 0,11- 4,1m | | 33 | 33 | 60 | 65 | 86 | 72 | 82 | 79 | 77 | 84 | 88 | |
| | > 4,1 m | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 15 | 4 | 5 |

| Średnia powierzchnia rany The average area of a wound | | cm ² | 64 | 63 | 83 | 131 | 106 | 165 | 150 | 77 | 55 | 49 | 115 |
|--|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Udział ran w klasach powierzchni Share of wounds in classes of damage | ≤ 100 cm ² | % | 80 | 83 | 67 | 71 | 81 | 59 | 55 | 72 | 85 | 72 | 66 |
| | > 100 cm ² | | 20 | 17 | 33 | 29 | 19 | 41 | 45 | 28 | 15 | 28 | 34 |
| Średnia część obwodu strzały objęta przez ranę Mean portion of tree circumference affected by damage | | - | 0,054 | 0,080 | 0,075 | 0,086 | 0,070 | 0,076 | 0,110 | 0,088 | 0,067 | 0,087 | 0,085 |
| Udział ran w klasach obwodu strzały Share of wounds in classes of tree circumference | ≤ 1/8 (0,125) | % | 94 | 81 | 80 | 77 | 86 | 72 | 61 | 70 | 92 | 76 | 73 |
| | > 1/8 | | 6 | 19 | 20 | 23 | 14 | 28 | 39 | 30 | 8 | 24 | 27 |
| Udział ran w klasach głębokości Share of wounds in depth classes | do drewna to wood material | % | 93 | 80 | 80 | 76 | 78 | 78 | 75 | 95 | 100 | 96 | 93 |
| | z uszkodz. tk. drzewnej with xylem damages | | 7 | 20 | 20 | 24 | 22 | 22 | 25 | 5 | 0 | 4 | 7 |

Uszkodzona część obwodu strzały

Średnia część zranionego obwodu strzały wynosi od 0,054 do 0,110. Najmniejsza występuje przy zrywce koniem i odstępem między szlakami 40 m, największa przy użyciu skidera po ścinie i okrzesywaniu harwesterem oraz odstępem między szlakami 60 m. Uszkodzona część obwodu strzały rośnie wraz z odstępem między szlakami przy zastosowaniu wszystkich środków zrywkowych. Przeważają udziały zranień obejmujących do 1/8 obwodu strzały. Najmniejszym udziałem ran powyżej 1/8 obwodu cechuje się zrywka koniem przy odstępem między szlakami około 40 m oraz forwarderem po ścinie i wyróbce harwesterem przy odległości między szlakami około 20 m. Udział tych zranień zwiększa się wraz z odległością między szlakami przy zastosowaniu wszystkich środków zrywkowych.

Głębokość ran

Udział ran płytkich jest dominujący w metodzie sortymentowej, natomiast w metodzie całej strzały jest on mniejszy, choć także przeważający. Udział ran z uszkodzeniem tkanki drzewnej jest wyraźnie większy przy zrywce skiderem i koniem niż forwarderem. Udział ran drewna rośnie wraz z odstępem między szlakami przy zastosowaniu wszystkich środków zrywkowych.

6.1.4. Rozmieszczenie drzew uszkodzonych w drzewostanie

ROZMIESZCZENIE DRZEW USZKODZONYCH PO CAŁYM PROCESIE TECHNOLOGICZNYM

Rozmieszczenie drzew uszkodzonych w drzewostanie po całych procesach technologicznych jest wypadkową pewnego zróżnicowania pod tym względem między operacjami technologicznymi a zrywką. W wyniku analizy materiału badawczego można przedstawić poniższe prawidłowości (tab. 9).

- Średnia odległość uszkodzonego drzewa od środka szlaku operacyjnego rośnie w przybliżeniu proporcjonalnie do odstepu między szlakami. W uproszczeniu można powiedzieć, że zwiększenie odstepu między szlakami o około 20 m, kiedy szerokość pasów drzewostanu po obu jego stronach przyrasta po około 10 m, powoduje zwiększenie średniej odległości drzewa uszkodzonego od środka szlaku o około 5 m.

- Przeważający udział drzew uszkodzonych przy szlakach operacyjnych przeprowadzonych w odstepie około 20 m zmienia się na zbliżony do równomiernego (na pasach szerokości 5–10 m) w miarę zwiększania odstepu do około 60 m.

- Uszkodzenia drzew następują również poza środkiem odległości między szlakami operacyjnymi, zarówno w metodzie całej strzały jak i sortymentowej.

ROZMIESZCZENIE DRZEW USZKODZONYCH PODCZAS OPERACJI TECHNOLOGICZNYCH

Z analizy rozmieszczenia drzew uszkodzonych podczas operacji technologicznych wynikają poniższe spostrzeżenia (tab. 10).

- W metodzie całej strzały rozmieszczenie drzew uszkodzonych w drzewostanie przy ścinie i wyróbce pilarką oraz harwesterem jest dosyć równomierne, z pewną przewagą położonych tuż przy szlaku (na pasie do 5 m od jego środka). Jest to szczególnie widoczne przy ścinie drzew pilarką. Jedynie w przypadku zastosowania harwestera i odstepu między szlakami 60 m zaczynają przeważać drzewa uszkodzone w pobliżu środka przylegających do nich pasów drzew. Przeważający udział drzew uszkodzonych przy szlaku wynika zapewne stąd, że w tej metodzie drzewa obalane są z reguły w kierunku przeciwnym do szlaku. Zwiększony udział drzew uszkodzonych dalej od szlaku przy odstepie między szlakami 60 m powodowany jest przyrostem uszkodzeń kołami i innymi częściami nadwozia maszyny, w wyniku jej zjazdu ze szlaku na przylegające pasy drzewostanu.

- W metodzie sortymentowej zarówno przy użyciu pilarki, jak i harwestera, największy jest udział drzew uszkodzonych na pasach drzewostanu położonych w odległości 5–10 m od środka szlaków, poprowadzonych w odstępach 20 i 40 m, natomiast przy odstepie między szlakami 60 m rozmieszczenie drzew uszkodzonych jest bardziej równomierne, a udział drzew uszkodzonych tuż przy szlaku jest także stosunkowo mały. Wynika to stąd, że w tej metodzie drzewa stojące na szlaku oraz w jego pobliżu obala się na wolną przestrzeń wyciętego wcześniej odcinka szlaku, a uszkodzenia powodowane są głównie drzewami ścinanymi dalej od niego i obalanymi w jego kierunku.

ROZMIESZCZENIE DRZEW USZKODZONYCH PODCZAS ZRYWKI

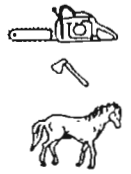

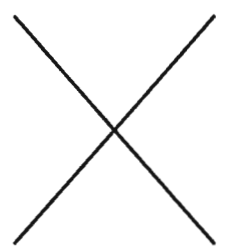
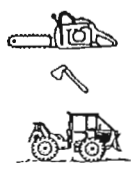

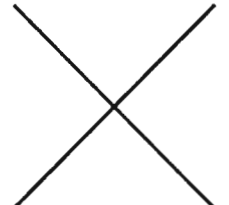
Rozmieszczenie drzew uszkodzonych przy zrywce cechują prawidłowości omówione poniżej (tab. 11).

- Podczas zrywki konnej najwięcej drzew uszkodzanych jest na pasie drzewostanu położonym w odległości 5–10 m od środka szlaku, przy odstepie między nimi około 40 m, oraz w odległości 10–15 m, przy odstepie między szlakami 60 m, a więc nie tuż przy szlaku. Można to wytłumaczyć tym, że zwrot większej części strzał w kierunku zrywki wykonywany jest przed wyciągnięciem strzał na szlak.

- W przypadku zrywki skiderem po ścinie drzew pilarką największa część drzew uszkodzanych jest na pasach do 10 m od szlaków, przy odstepie 40 m między nimi. Dzieje się to głównie w ostatniej fazie wyciągania drewna i ruszenia ciągnika z ładunkiem po jego uformowaniu. Przy odstepie między szlakami 60 m najwięcej drzew uszkodzanych jest w środkowej części pasów, z których dociągane są strzały do danego szlaku. Można przyjąć, że uszkodzenia następują w szczególności podczas wyciągania drewna i wjazdu ciągnika na przylegające do niego pasy drzewostanu. Podczas zrywki skiderem strzał ściętych i okrzęsanych

Tabela 9
Table 9

Rozmieszczenie drzew uszkodzonych w drzewostanie po procesie technologicznym
Distribution of damaged trees in a stand after technological process

| Metoda i proces technologiczny Method and technological process | Środki pracy Equipment | Średnie odległości od środka szlaku Mean distance from the middle of strip road | | Udział drzew uszkodzonych Share of damaged trees | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|------|--|--|--------|-----|-----|--------|---------|---------|-----|-----|--------|---------|---------|---------|---------|-----|--|--|
| | | Przy odstępach między szlakami [m] Distance between strip roads [m] | | Odstęp między szlakami [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 20 | 40 | | | 60 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Stopnie odległości od środka szlaku [m] Distance from the centre of strip roads [m] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 20 | 40 | 60 | < 5 | 5 - 10 | >10 | < 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | >20 | < 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 25 - 30 | >30 | | |
| [m] | | [%] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Całej strzały Whole-stem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C - PK |  |  | 10,9 | 14,0 |  | 23 | 25 | 21 | 22 | 9 | 18 | 15 | 21 | 10 | 16 | 13 | 7 | | | | |
| C - PW |  |  | 10,5 | 14,7 |  | 29 | 24 | 19 | 19 | 9 | 18 | 11 | 24 | 16 | 17 | 9 | 5 | | | | |







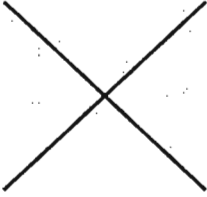
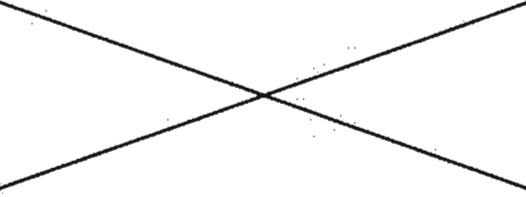


| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---|------|---|--|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|
| C - HW |   | 5,3 | 8,4 | 13,2 | 56 | 38 | 6 | 39 | 26 | 22 | 11 | 2 | 22 | 21 | 18 | 15 | 14 | 6 | 4 |
| Sortymentowa Short-wood | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S - PF |   |  | 9,6 |  |  | | | 33 | 27 | 21 | 10 | 9 |  | | | | | | |
| S - HF |   | 6,9 | 10,4 | 17,3 | 45 | 34 | 21 | 23 | 34 | 24 | 16 | 3 | 17 | 15 | 14 | 18 | 10 | 14 | 12 |

Tabela 10
Table 10

Rozmieszczenie drzew uszkodzonych w drzewostanie po wykonaniu operacji technologicznych
Distribution of damaged trees in a stand after technological operations










| Metoda i proces technologiczny Method and technological process | Środki pracy Equipment | Średnie odległości od środka szlaku Average distance from the middle of strip road | | | Udział drzew uszkodzonych Share of damaged trees | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|-------|--------------|--|-----|--------|---------|---------|------|-----|--------|--------------|---------|---------|---------|------|----|----|--|--|--|--|--|--|--|
| | | Przy odstępnie między szlakami Distance between strip roads [m] | | | Odstęp między szlakami [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 20 | 40 | | | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 20 | 40 | 60 | Stopnie odległości od środka szlaku [m] Distance from the centre of strip roads [m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | < 5 | 5 - 10 | > 10 | < 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | > 20 | < 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 25 - 30 | > 30 | | | | | | | | | |
| [m] | | | [%] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Całej strzały Whole-stem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C - PK C - PW |  | X | 11,3 | 16,8 | X | | | 28 | 17 | 19 | 23 | 13 | 19 | 13 | 13 | 13 | 15 | 14 | 13 | | | | | | | |
| C - HW |  | 5,5 | 9,4 | 15,0 | 52 | 40 | 8 | 30 | 28 | 26 | 14 | 2 | 17 | 18 | 19 | 18 | 16 | 7 | 5 | | | | | | | |
| Sortymentowa Short-wood | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S - PF |  | X | 7,9 | X | X | | | 27 | 34 | 22 | 13 | 4 | X | | | | | | | | | | | | | |
| S - HF |  | 7,2 | 11,8 | 17,6 | 35 | 42 | 23 | 22 | 33 | 24 | 17 | 4 | 14 | 16 | 14 | 20 | 11 | 15 | 10 | | | | | | | |

Tabela 11
Table 11

Rozmieszczenie drzew uszkodzonych w drzewostanie podczas zrywki
Distribution of damaged trees in a stand during skidding

| Metoda i proces technologiczny Method and technological process | Środki pracy Equipment | Średnie odległości od środka szlaku Average distance from the centre of strip road | | | Udział drzew uszkodzonych Share of damaged trees | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|-------|------|--|--------|------|-----|--------|---------|---------|------|--------------|--------|---------|---------|---------|---------|------|----|
| | | Przy odstępach między szlakami [m] Distance between strip roads [m] | | | Odstęp między szlakami [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 20 | | | | | 40 | | | | | 60 | | | | | |
| | | 20 | 40 | 60 | Stopnie odległości od środka szlaku [m] Distance from the centre of strip roads [m] | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | < 5 | 5 - 10 | > 10 | < 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | > 20 | < 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 25 - 30 | > 30 | |
| [m] | | | [%] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Całej strzały Whole-stem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C - PK |  | X | 9,6 | 13,7 | X | | | 22 | 33 | 21 | 18 | 6 | 16 | 17 | 34 | 5 | 14 | 8 | 6 | |
| C - PW |  | X | 9,9 | 13,7 | X | | | 35 | 27 | 17 | 19 | 2 | 19 | 10 | 28 | 18 | 18 | 6 | 1 | |
| C - HW |  | | 3,9 | 4,5 | 7,5 | 69 | 31 | - | 73 | 22 | 3 | 2 | - | 44 | 36 | 9 | 5 | 5 | 1 | - |
| Sortymentowa Short-wood | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S - PF |  | X | 10,6 | | X | | | 41 | 19 | 19 | 7 | 14 | X | | | | | | | |
| S - HF |  | | 2,1 | 7,7 | 16,8 | 100 | - | - | 32 | 37 | 31 | - | - | 26 | 12 | 12 | 14 | 9 | 11 | 16 |

harwesterem, większość drzew uszkodzonych jest na pasach do 10 m od środka szlaku. Wynika to stąd, że na tym pasie położona jest całość (odstęp około 20 m) lub większość (odstęp 40 i 60 m) odziomków strzał okrzęsanych harwesterem.

- W czasie zrywki forwarderem po ścinie drzew pilarką (odstęp między szlakami 40 m) znaczna część drzew uszkodzonych jest przy szlaku. Duży jest także udział drzew uszkodzonych dalej od szlaku, podczas zjazdów ciągnika na przylegające pasy drzewostanu, w celu załadunku drewna leżącego poza zasięgiem żurawia ciągnika poruszającego się po szlaku.

Po ścinie drzew i wyróbce drewna harwesterem udział drzew uszkodzonych forwarderem wyłącznie przy szlakach przy odstępach około 20 m zmniejsza się w miarę zwiększania odstępów między nimi (do 60 m), a rośnie udział drzew uszkodzonych dalej od nich.

6.1.5. Bezpośrednie czynniki sprawcze uszkodzeń drzew

CZYNNIKI SPRAWCZE USZKODZEŃ DRZEW W OPERACJACH TECHNOLOGICZNYCH

Bezpośrednie czynniki sprawcze uszkodzeń drzew podczas operacji technologicznych przedstawiono w tabeli 12 i omówiono poniżej.

- W operacjach technologicznych wykonywanych za pomocą pilarki uszkodzenia powodowane są prawie wyłącznie obalonym drzewem. Uszkodzenia pilarką zdarzają się sporadycznie i ograniczają do ułamkowej części procenta.

- W przypadku zastosowania harwestera również zdecydowana większość uszkodzeń powodowana jest obalonym drzewem i obrabianym drewnem. Udział tego czynnika jest przeciętnie większy w metodzie całej strzały niż sortymentowej, szczególnie przy mniejszych odstępach między szlakami.







W metodzie całej strzały charakterystyczny jest wzrost udziału uszkodzeń głowicą i żurawiem oraz kołami maszyny kosztem zmniejszania się udziału ran, powodowanych obalonym drzewem w miarę zwiększania odstępów między szlakami. Wynika to stąd, że przyrost liczby uszkodzeń głowicą, żurawiem i kołami jest większy niż ścinanym drzewem, w miarę zwiększania odstępów między szlakami.

W metodzie sortymentowej, w miarę zwiększania odstępów między szlakami, także rośnie udział uszkodzeń kołami, ale kosztem zmniejszania się udziału ran powodowanych zarówno głowicą i żurawiem jak i obalonym drzewem oraz obrabianym drewnem. W tym przypadku tylko przyrost liczby uszkodzeń kołami w miarę zwiększania odstępów między szlakami jest równie szybki (skokowy) jak w metodzie całej strzały, natomiast wolniej zwiększa się liczba uszkodzeń głowicą i żurawiem (nie jest konieczne tak duże manewrowanie głowicą przed przystąpieniem do okrzęsowania i przerzynki na kłody i wałki, jak ma to miejsce w metodzie całej strzały, kiedy obalonemu drzewu trzeba nadać odpowiedni zwrot, aby skierować odziomek drzewa w kierunku szlaku).

Tabela 12
Table 12

Udział bezpośrednich czynników sprawczych ran drzew w operacjach technologicznych, w zależności od metody, procesu technologicznego, środka pracy i odstępów między szlakami

The share of direct causative agents of tree damages during technological operations according to methods, technological process, equipment and the distance between strip roads

| Wyszczególnienie czynników sprawczych Specification of causative agents | Metoda Method | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----|---|----|---|----|---|----|---|-----|----|----|----|----|----|----|
| | Całej strzały Whole-stem | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | | | | | | | |
| | Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C - PK i C - PW | | C - HW | | S - PF | | S - HF | | | | | | | | | |
| | Środek pracy Equipment | | | | | | | | | | | | | | | |
| |  | |  | |  | |  | | | | | | | | | |
| | Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 40 - 60 | | 20 | | 40 | | 60 | | | | | | | | | |
| | Udział ran drzew [%] Share of tree wounds [%] | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ścinane drzewo i obrabiane drewno Tree felling and wood processing | 100 | | 79 | | 78 | | 63 | | 100 | | 69 | | 69 | | 66 |
| Żuraw z głowicą obróbczą harwestera Crane and a head of a harvester |  | | 20 | | 20 | | 31 | |  | | 28 | | 25 | | 23 | |
| Koła harwestera Harvester wheels | | | 1 | | 2 | | 6 | | | | 3 | | 6 | | 10 | |
| Inne części harwestera Other parts of a harvester | | | 0 | | 0 | | 0 | | | | 0 | | 0 | | 1 | |

CZYNNIKI SPRAWCZE USZKODZEŃ DRZEW PRZY ZRYWCE

Bezpośrednie przyczyny sprawcze uszkodzeń drzew przy zrywce podano poniżej (tab. 13).

- W operacji zrywki konnej zdecydowanie dominują uszkodzenia drzew powodowane zrywaniem drewnem (całe strzały). W małym stopniu występują uszkodzenia orczykiem lub łańcuchem zaczepowym.

- Przeważającym czynnikiem sprawczym uszkodzeń drzew przy zrywce skiderem jest także zrywane drewno, jednak udział tego czynnika jest mniejszy niż podczas zrywki koniem. Dla zrywki skiderem po ścinie drzew pilarką charakterystyczny jest bardzo wyraźny wzrost udziału uszkodzeń powodowanych kołami i innymi częściami nadwozia ciągnika, wynikający z konieczności jego wjazdów na pasy drzewostanu z wyznaczonego szlaku wraz ze zwiększeniem odstępów między nimi. Udział uszkodzeń kołami i innymi częściami nadwozia skidera po ścinie drzew harvesterem jest również znaczący, jednak jego wzrost w miarę zwiększania odstępów między szlakami nie jest tak wyraźny, bowiem ciągnik porusza się w dużej części koleinami harwestera.

- W przypadku zrywki forwarderem typowy jest bardzo mały udział uszkodzeń powodowanych zrywaniem drewnem. Udział innych czynników sprawczych różni się w zależności od tego, czym zostały wykonane operacje technologiczne oraz od odstępów między szlakami.




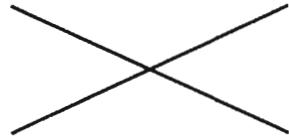




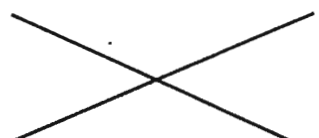


Po ścinie i wyróbce pilarką podobny jest udział uszkodzeń spowodowanych żurawiem z chwytakiem, kołami oraz innymi częściami nadwozia ciągnika. Duży udział obu ostatnich czynników sprawczych wynika z potrzeby zjazdów ciągnika z wyznaczonych szlaków na pasy drzewostanu do załadunku części drewna przy odstępach 40 m między szlakami.

Po ścinie i wyróbce drewna harvesterem największy jest udział uszkodzeń drzew spowodowanych żurawiem, a najmniejszy kołami i innymi częściami ciągnika, kiedy porusza się on wyłącznie po wyznaczonych szlakach (odstęp około 20 m). Należy podkreślić, że ogólny udział drzew uszkodzonych jest w tym przypadku minimalny (0,1%). W miarę zwiększania odstępów wyraźnie rośnie udział uszkodzeń kołami i innymi częściami nadwozia ciągnika, mimo że porusza się on głównie koleinami harwestera także poza wyznaczonymi szlakami.

Tabela 13
Table 13

Udział bezpośrednich czynników sprawczych ran drzew przy zrywce drewna, w zależności od metody, procesu technologicznego, środka pracy i odstępów między szlakami

The share of direct causative agents of tree damages during skidding according to methods, technological process, equipment and the distance between strip roads

| Wyszczególnienie czynników sprawczych Specification of causative agents | Metoda Method | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|--------|----|----------------------------|--|--|----|----|----|
| | Całej strzały Whole-stem | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | |
| | Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | |
| | C - PK | C - PW | | C - HW | | | S - PF | S - HF | | | |
| | Środek pracy Equipment | | | | | | | | | | |
| |  |  | | | | |  | | | | |
| | Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip road [m] | | | | | | | | | | |
| | 40 - 60 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | |
| | Udział ran drzew [%] Share of tree wounds [%] | | | | | | | | | | |
| | Zrywane drewno Skidding wood | 96 | 72 | 58 | 71 | 69 | 63 | 4 | 0 | 4 | 5 |
| Orczyk i łańcuch zaczepekowy przy zrywce konnej Equaliser and chain at horse skidding | 4 |  | | | | |  | | | | |
| Lina przy zrywce skiderem Line at skidder skidding |  | | 15 | 6 | 7 | 8 | 9 |  | | | |
| Żuraw z chwytakiem przy zrywce forwarderem Crane and a head of a harvester |  | |  | | | | | 33 | 79 | 46 | 38 |
| Koła ciągników Tractor wheels |  | | 10 | 26 | 17 | 18 | 19 | 38 | 14 | 32 | 34 |
| Inne części ciągników (myglarka, kabina, kłonicie) Other parts of tractors (driver's cage, stakes) |  | | 3 | 10 | 5 | 5 | 9 | 25 | 7 | 18 | 23 |

6.2. Uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby

6.2.1. Wskaźnik uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby

WSKAŹNIK USZKODZEŃ WIERZCHNIEJ WARSTWY GLEBY W CAŁYM PROCESIE TECHNOLOGICZNYM

- Procesy technologiczne pozyskiwania drewna w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych oraz odstępy między szlakami w przypadku zastosowania maszyn istotnie wpływają na wskaźnik uszkodzeń gleby (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0002).

- Ocena uszkodzeń gleby podczas pierwszego nawrotu cięć z użyciem nowych szlaków operacyjnych pozwala na poniższe stwierdzenia (ryc. 5):

- uszkodzenia gleby przy zastosowaniu metody całej strzały z użyciem pilarki i konia (C-PK; $U_G = 2,4\%$) oraz pilarki i skidera (C-PW₄₀₋₆₀; $U_G = 3,8$ i $4,5\%$), a także metody sortymentowej realizowanej pilarką i forwarderem (S-PF; $U_G = 3,2\%$) oraz harwesterem i forwarderem przy odstępach między szlakami 20 m (S-HF₂₀; $U_G = 3,8\%$) są mniejsze niż w pozostałych procesach (C-HW₂₀₋₆₀; $U_G = 4,9-6,7\%$ oraz S-HF₄₀₋₆₀; $U_G = 4,7-5,5\%$);

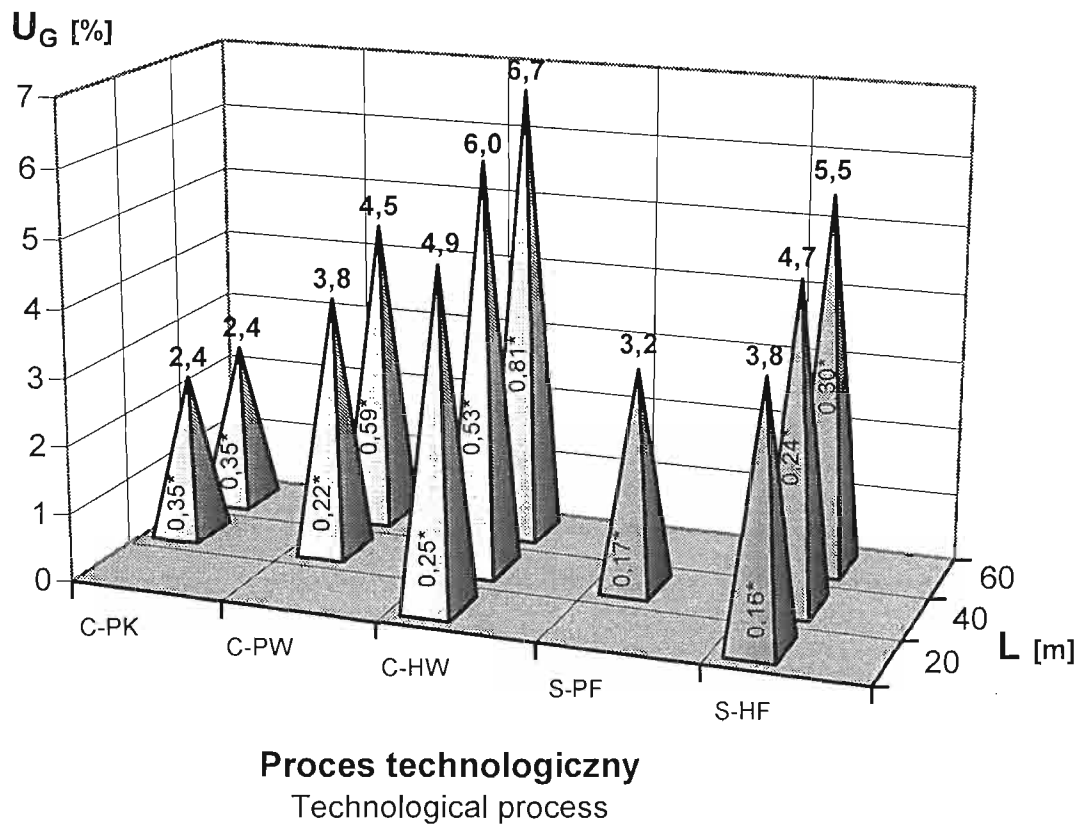
- trzeba zauważyć, że uszkodzenia gleby są najmniejsze przy ścinie i okrzesywaniu pilarką oraz zrywce konnej, choć różnica na korzyść tego procesu nie okazała się istotna;

- uszkodzenia gleby w metodzie sortymentowej przy użyciu harwestera i forwardera są mniejsze niż w metodzie całej strzały z użyciem tego samego harwestera oraz skidera; uszkodzenia gleby przy odstępach między szlakami 20 m są istotnie mniejsze niż w przypadku 40 i 60 m.

- Uszkodzenia gleby przy zastosowaniu procesów o wysokim poziomie technologicznym powstają w przeważającej części podczas ścinki i wyróbki harwesterem, natomiast przy zrywce skiderem i forwarderem są już bardzo małe.

- Największe możliwości dalszego zmniejszenia uszkodzeń gleby istnieją przy zastosowaniu procesu technologicznego z użyciem pilarki i forwardera (S-PF) przez zmniejszenie odstępów między szlakami z około 40 m do 30 m. Pozwoliłoby to na wyeliminowanie zjazdów ciągnika z wyznaczonego szlaku na przylegające do niego pasy drzewostanu celem załadunku drewna. Dzięki temu wskaźnik uszkodzeń gleby U_G zmniejszyłby się z $3,2\%$ do około $2,4\%$ (mimo zagęszczenia szlaków), tj. do poziomu minimalnego, uzyskanego przy zastosowaniu pilarki i konia.

- Stosowanie metody całej strzały, szczególnie ze zrywką konną w następnych nawrotach cięć, nawet przy wykorzystaniu tych samych szlaków operacyjnych, będzie powodowało powtórne uszkodzenie gleby na podobnym poziomie. Uszkodzenia gleby w następnych nawrotach cięć w przypadku metody sortymentowej i wykorzystaniu założonych wcześniej szlaków będą mniejsze, po-



Ryc. 5. Wskaźnik uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby U_G przy pozyskiwaniu drewna w zależności od metody i procesu technologicznego oraz odstępów między nowo założonymi szlakami operacyjnymi (*odchylenie standardowe między powierzchniami doświadczalnymi)

Fig. 5. Index of soil damages (U_G) at timber harvesting according to method, technological process and the distance between new strip roads (*standard deviation between study areas)

nieważ prowadzają się tylko do pogłębienia kolein (maszyny mogą poruszać się starymi koleinami). Przykładowo, wskaźnik uszkodzeń gleby U_G przy zastosowaniu procesu technologicznego z użyciem pilarki i forwardera (S–PF) wyniesie około 1,8% przy odstępach między szlakami 40 m oraz tylko około 0,5% przy odstępach 30 m. Zastosowanie harwestera i forwardera (S–HF) przy odstępach 20 m, powodowałoby uszkodzenia gleby na poziomie około 0,8%.

WSKAŹNIK USZKODZEŃ WIERZCHNIEJ WARSTWY GLEBY HARWESTEREM

- Metody pozyskiwania drewna z użyciem harwestera istotnie wpływają na uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby ($p_\alpha = 0,0018$). Średnie wskaźniki uszkodzeń gleby harwestermem przy wykorzystaniu nowo założonych szlaków operacyjnych podano w tabeli 14.


- Uszkodzenia gleby podczas pierwszego nawrotu cięć z użyciem nowych szlaków operacyjnych przy zastosowaniu harwestera w metodzie sortymentowej

Tabela 14

Table 14

Wskaźnik uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby U_G harvesterem w zależności od metody i odstępów między nowo założonymi szlakami operacyjnymi

Index of damage of the soil surface U_G caused by a harvester according to method and the distance between new strip roads

| Metoda Method | | | | | |
|--|------|------|----------------------------|------|------|
| Całej strzały Whole-stem | | | Sortymentowa Short-wood | | |
| Proces technologiczny Technological process | | | | | |
| C-HW | | | S-HF | | |
| Środek pracy Equipment | | | | | |
|  | | | | | |
| Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | |
| 20 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 |
| Wskaźnik uszkodzeń [%] Index of damages [%] | | | | | |
| 4,6 | 5,5 | 6,1 | 3,6 | 4,1 | 4,3 |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | | | | | |
| 0,25 | 0,53 | 0,80 | 0,21 | 0,30 | 0,59 |

(S-HF₂₀₋₆₀; $U_G = 3,6-4,3\%$) są istotnie mniejsze niż w metodzie całej strzały (C-HW₂₀₋₆₀; $U_G = 4,6-6,1\%$).

- Najmniejszymi uszkodzeniami gleby charakteryzuje się ścinka i wyróbka drewna harvesterem w metodzie sortymentowej przy odstępach 20 m między szlakami operacyjnymi.

WSKAŹNIK USZKODZEŃ WIERZCHNIEJ WARSTWY GLEBY PRZY ZRYWCE

- Zastosowane środki zrywkowe oraz odstępów między szlakami wpływają istotnie na uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby ($p_\alpha =$ odpowiednio 0,0000 i 0,0073). Średnie wskaźniki uszkodzeń gleby podczas zrywki przy wykorzystaniu nowo założonych szlaków operacyjnych wyszczególniono w tabeli 15.




- Uszkodzenia gleby podczas pierwszego nawrotu cięć z użyciem nowych szlaków (kolein) przy zrywce forwarderem i skiderem po ścinie i wyróbce harvesterem (S-HF₂₀₋₆₀; $U_G = 0,2-1,2\%$ oraz C-HW₂₀₋₆₀; $U_G = 0,3-0,6\%$) są istot-

Tabela 15

Table 15

Wskaźnik uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby U_G przy zrywce w zależności od metody, procesu technologicznego i środka zrywkowego oraz odstępu między nowo założonymi szlakami operacyjnymi

Index of damage of the soil surface U_G during skidding according to method, technological process and the distance between new strip roads

| Metoda Method | | | | | | | | | | |
|---|--|---|------|------|----------------------------|---|------|------|------|------|
| Całej strzały Whole-stem | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | |
| Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | |
| C-PK | | C-PW | | C-HW | | S-PF | | S-HF | | |
| Środek zrywkowy Skidding equipment | | | | | | | | | | |
|  | |  | | | |  | | | | |
| Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | |
| 40 - 60 | | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 |
| Wskaźnik uszkodzeń [%] Index of damages [%] | | | | | | | | | | |
| 2,4 | | 3,8 | 4,5 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 3,2 | 0,2 | 0,6 | 1,2 |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | | | | | | | | | | |
| 0,35 | | 0,22 | 0,59 | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,17 | 0,03 | 0,19 | 0,32 |

nie mniejsze (w wyniku wykorzystania kolein harwestera na szlakach) niż przy zrywce wymienionymi ciągnikami (S-PF; $U_G = 3,2\%$ oraz C-PW₄₀₋₆₀; $U_G = 3,8$ i $4,5\%$) oraz koniem (C-PK; $U_G = 2,4\%$) po wykonaniu operacji technologicznych pilarką.

- Po wykonaniu operacji technologicznych pilarką uszkodzenia gleby przy zrywce konnej (C-PK) oraz forwarderem (S-PF) są istotnie mniejsze niż skidderem (C-PW).

- Jak wspomniano wcześniej, istnieje możliwość ograniczenia uszkodzeń gleby przy zrywce forwarderem po ścinie i wyróbce pilarką (S-PF) z $3,2\%$ do około $2,4\%$, w wyniku zmniejszenia odstępu między szlakami z około 40 do 30 m.

6.2.2. Charakterystyka uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby

CHARAKTERYSTYKA USZKODZEŃ GLEBY W CAŁYM PROCESIE TECHNOLOGICZNYM

Uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby po całym procesie technologicznym charakteryzują wyniki przedstawione w tabeli 16. Dokonując ich analizy można stwierdzić, że:

- We wszystkich procesach technologicznych długość i powierzchnia kolein przyrastają wyraźnie wraz ze zwiększeniem odstepu między szlakami operacyjnymi.
- Różnice w głębokości kolein są stosunkowo małe. Występuje niewielki wzrost głębokości kolein wraz ze zwiększeniem odstepu, związany najprawdopodobniej z przyrostem miąższości drewna, ciężącego do szlaku (zwiększenie liczby nawrotów).
- Małe jest zwiększenie głębokości starych kolein na szlakach założonych podczas poprzednich trzebieży.
- Powierzchnia uszkodzeń gleby obrabianym i przemieszczanym drewnem, występujących tylko przy zastosowaniu metody całej strzały, jest najmniejsza w procesie z użyciem pilarki i konia (C–PK), większa przy pozyskaniu drewna harwesterem i skiderem (C–HW), a największa w wyniku zrywki skiderem po ścinie drzew pilarką (C–PW).
- Największą głębokością charakteryzują się bruzdy wyłobione czołami całych strzał, okrzesywanych przez harwester. Głębokość uszkodzeń gleby przy zrywce jest mniejsza.
- Należy zwrócić uwagę na nieco większą głębokość koleiny po przejazdach harwestera (tab. 17) niż ciągnika (tab. 18), mimo mniejszego nacisku statycznego, wywieranego przez niego (max. 68 kPa) w porównaniu z ciągnikiem z ładunkiem (do około 100 kPa).

CHARAKTERYSTYKA USZKODZEŃ GLEBY PO ŚCINCE I WYRÓBCE DREWNA HARWESTEREM

Wyniki badań uszkodzeń wierzchniej warstwy gleby harwesterem zawiera tabela 17. Na ich podstawie można przedstawić poniższe wnioski.

- Długość, a więc i powierzchnia kolein harwestera, rośnie wraz ze zwiększeniem odstepu między szlakami operacyjnymi w wyniku zjazdów maszyny ze szlaku na przylegające do niego pasy drzewostanu. Przyrost ten jest większy w metodzie całej strzały (C–HW) niż sortymentowej (S–HF). Może to być spowodowane potrzebą odpowiedniego ustawienia maszyny do okrzesywania całych strzał.
- Głębokość kolein harwestera jest taka sama w obu metodach pozyskiwania drewna. Stwierdzono nieznaczny wzrost głębokości kolein wraz ze zwiększeniem odstepu między szlakami, który może być spowodowany obróbką większej ilości

drewna z jednego miejsca oraz przypadkami cofania maszyny do pominiętych drzew.

- W metodzie całej strzały (C–HW) występują głębokie uszkodzenia gleby czołami strzał okrzesywanych przez harwester. Tego rodzaju uszkodzenia gleby nie występują w metodzie sortymentowej (S–HF).

CHARAKTERYSTYKA USZKODZEŃ GLEBY PRZY ZRYWCE

Uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby podczas zrywki przedstawiono w tabeli 18. Analizując zawarte w niej wyniki można podać poniższe stwierdzenia:

- Długość i powierzchnia kolein skidera przy zrywce drewna (okrzese strzały) po ścinie drzew pilarką (C–PW) rośnie wraz ze zwiększeniem odstępów między szlakami, w wyniku dużego przyrostu zjazdów ciągnika z wyznaczonego szlaku na pasy drzewostanu, celem sformowania ładunku. Przyczynia się do tego trudne do uniknięcia zróżnicowanie indywidualnych kierunków obalania drzew przy ścinie pilarką.

- Głębokość kolein ustalana jest w 80-90% podczas pierwszego przejazdu maszyny. Przyrost głębokości kolein w wyniku zrywki po uprzednich przejazdach harwestera jest więc stosunkowo mały (C–HW i S–HF).

- W przypadku zrywki konnej (C–PK) zwraca uwagę duża długość jazd konia po całym drzewostanie i wynikająca z niej powierzchnia odcisków kopyt, porównywalna z powierzchnią kolein ciągników.

- W metodzie całej strzały (C–PK, C–PW, C–HW) znacząca jest powierzchnia i głębokość uszkodzeń gleby (bruzdy) przemieszczanym drewnem, szczególnie podczas zrywki skiderem po ścinie drzew pilarką. Uszkodzenia takie nie występują przy zastosowaniu środków nasiębiernych, typowych dla metody sortymentowej (S–PF, S–HF).

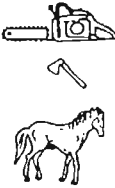
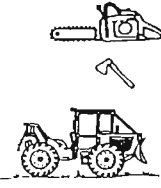
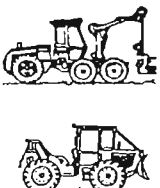
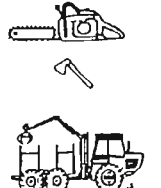

- Długość i powierzchnia kolein forwardera przy zrywce drewna po ścinie i wyróbce pilarką (S–PF) jest dużo większa niż wynikałoby to z odstępów między szlakami (40 m). Jest to spowodowane koniecznością wjazdów ciągnika na pasy drzewostanu celem załadunku drewna, leżącego poza zasięgiem żurawia ciągnika poruszającego się po szlaku.

- Ogólna długość i powierzchnia kolein ciągników (nakładających się na koleiny harwestera i nowych), zarówno skidera (C–HW) jak i forwardera (S–HF) przy zrywce drewna po ścinie i wyróbce harwesterem zmniejsza się wraz ze zwiększeniem odstępów między szlakami. Długość kolein ciągników (poza nakładającymi się na koleiny harwestera) na pasach drzewostanu (poza szlakiem) wprawdzie rośnie wraz z odstępem między szlakami, ale przyrost ten jest jednak przeciętnie mniejszy niż po ścinie pilarką. Przyczynia się do tego przemieszczenie przez harwester przeważającej części obrabianego drewna w pobliże szlaku operacyjnego oraz jego lepsze ułożenie do zrywki.

Tabela 16
Table 16

Uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby przy pozyskiwaniu drewna w zależności od metody i procesu technologicznego oraz odstęp między szlakami operacyjnymi

Damage of the soil surface U_G during timber harvesting according to method, technological process and the distance between new strip roads

| Wyszczególnienie Specification | J.m. Unit | Metoda Method | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|----------------------------|---|-----|---|-----|----|
| | | Całej strzały Whole-stem | | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | |
| | | Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | | |
| | | C - PK | | C - PW | | C - HW | | | S - PF | | S - HF | | |
| | |  | |  | |  | | |  | |  | | |
| | | Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | |
| | | 40 - 60 | | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | | 20 | 40 | 60 |
| Długość jazd konia lub par kolein, Length of horse drives or rut pairs, w tym: in which: - na pasach drzewostanu poza szlakiem - in stand belts outside the strip road | m/ha | 10860 | 501 | 682 | 500 | 655 | 765 | 464 | | 500 | 633 | 748 | |
| | | 8810 | 251 | 515 | 0 | 405 | 598 | 214 | | 0 | 383 | 581 | |
| Powierzchnia śladów kopyt lub kolein Area of hoof tracks or ruts | m ² /ha | 420 | 401 | 546 | 600 | 770 | 884 | 557 | | 600 | 760 | 897 | |


| | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| w tym: in which: - na pasach drzewostanu poza szlakiem - in stand belts outside the strip road | m ² /ha | 340 | 201 | 412 | 0 | 470 | 684 | 257 | 0 | 460 | 697 |
| Głębokość odcisków kopyt lub kolein na nowo założonych szlakach po całym procesie Depth of hoof tracks or ruts on new strip roads after the whole process | cm | 5,0 | 5,6 | 5,8 | 6,3 | 6,5 | 6,6 | 6,0 | 6,4 | 6,6 | 6,7 |
| Zwiększenie głębokości starych kolein na szlakach po całym procesie Increase in depth of old ruts on strip roads after the whole process | cm | X | - | | | 1,3 | | 1,2 | | 1,3 | |
| Ogólna powierzchnia gleby uszkodzonej obrabianym i przemieszczanym drewnem Total area of damaged soil by processed and dragged wood | m ² /ha | 62 | 167 | 93 | 106 | 114 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 17

Table 17

Uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby harvesterem w zależności od metody pozyskiwania drewna oraz odstępu między szlakami operacyjnymi

Damages of the soil surface caused by harvester according to method of timber harvesting and the distance between new strip roads

| Wyszczególnienie Specification | J.m. Unit | Metoda Method | | | | | |
|---|--------------------|---|-----|-----|----------------------------|-----|-----|
| | | Calej strzały Whole-stem | | | Sortymentowa Short-wood | | |
| | | Proces technologiczny Technological process | | | | | |
| | | C - HW | | | S - HF | | |
| | |  | | | | | |
| | | Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | |
| | | 20 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 |
| Długość par kolein, Length of rut pairs, w tym: in which: - na szlakach - on trails, - na pasach drzewostanu poza szlakami - on stand belts outside trails | m/ha | 500 | 615 | 682 | 500 | 564 | 571 |
| | | 500 | 250 | 167 | 500 | 250 | 167 |
| | | 0 | 365 | 515 | 0 | 314 | 404 |
| Powierzchnia kolein Area of ruts, w tym: in which: - na pasach drzewostanu poza szlakiem - on stand belts outside trails | m ² /ha | 600 | 738 | 818 | 600 | 677 | 685 |
| | | 0 | 438 | 618 | 0 | 377 | 485 |
| Głębokość kolein na nowo założonych szlakach Damaged soil by dragged wood | cm | 6,0 | 6,1 | 6,2 | 6,0 | 6,1 | 6,2 |
| Powierzchnia gleby uszkodzona przemieszczanym drewnem (bruzdy) Area of soil damaged by dragged timber | m ² /ha | 59 | 60 | 68 | 0 | 0 | 0 |
| Głębokość Depth | cm | 8,0 | 7,9 | 7,6 | 0 | 0 | 0 |

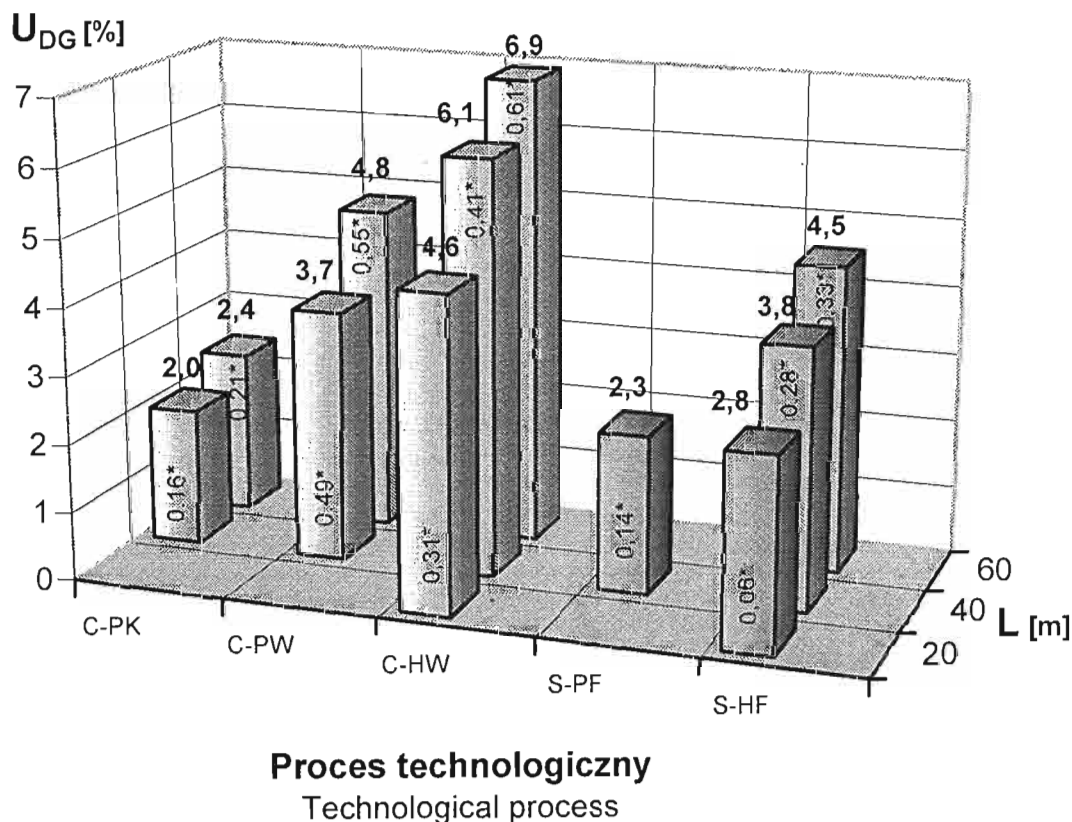
- Głębokość kolein po zrywce forwarderem (przeciętnie 4 nawroty na szlaku) jest nieco większa niż po zrywce skiderem (przeciętnie 10 nawrotów), mimo podobnych nacisków statycznych ciągników (przy zrywce w trzebieżach).

6.3. Uszkodzenia drzew i gleby — próba syntezy

6.3.1. Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby w całym procesie technologicznym

- Procesy technologiczne pozyskiwania drewna w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych oraz odstępy między szlakami operacyjnymi istotnie wpływają na wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0000).

- Uszkodzenia drzew i gleby podczas pierwszego nawrotu cięć z użyciem nowych szlaków operacyjnych (ryc. 6) przy zastosowaniu metody całej strzały ze ścinką i okrzesywaniem pilarką oraz zrywką konną (C-PK₄₀₋₆₀; $U_{DG} = 2,0$ i $2,4\%$), a także przy metodzie sortymentowej z użyciem pilarki i forwardera (S-PF₄₀; U_{DG}






Ryc. 6. Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} przy pozyskaniu drewna w zależności od metody i procesu technologicznego oraz odstępu między nowo założonymi szlakami operacyjnymi (*odchylenie standardowe między powierzchniami doświadczalnymi)

Fig. 6. Index of tree and soil damages at timber harvesting according to method, technological process and the distance between new strip roads (*standard deviation between study areas)

Tabela 18
Table 18

Uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby przy zrywce w zależności od metody, procesu technologicznego pozyskiwania drewna i środka zrywkowego oraz odstępu między szlakami operacyjnymi

Damage of the soil surface caused by skidding according to method, technological processes of timber harvesting, equipment and the distance between new strip roads

| Wyszczególnienie Specification | J.m. Unit | Metoda Method | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|---|-----|---|-------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|--|--|
| | | Całej strzały Whole-stem | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | | |
| | | Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | | |
| | | C - PK | | C - PW | | C - HW | | | S - PF | | S - HF | | |
| | | Środek zrywkowy Skidding equipment | | | | | | | | | | | |
| | |  | |  | | | | |  | | | | |
| | | Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | |
| | | 40-60 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | | |
| Długość jazd konia lub par kolein, Length of horse drives or rut pairs, w tym: in which: | m/ha | 10860 | 501 | 682 | 500 | 290 | 250 | 464 | 500 | 319 | 344 | | |
| - na szlakach - on trails | m/ha | 2050 | 250 | 167 | 500 ¹⁾ | 250 ¹⁾ | 167 ¹⁾ | 250 | 500 ¹⁾ | 250 ¹⁾ | 167 ¹⁾ | | |
| - na pasach drzewostanu poza szlakiem - in stand belts outside trails | m/ha | 8810 | 251 | 515 | 0 | 40 ²⁾ | 83 ²⁾ | 214 ²⁾ | 0 | 69 ²⁾ | 177 ²⁾ | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Powierzchnia śladów kopyt lub kolein, Area of hoof tracks or ruts, w tym: in which: - na pasach drzewostanu poza szlakiem - in stand belts outside trails | m ² /ha | 920 | 401 | 546 | 600 | 332 | 266 | 557 | 600 | 383 | 412 |
| | m ² /ha | 340 | 201 | 412 | 0 | 32 | 66 | 257 | 0 | 83 | 212 |
| Głębokość odcisków kopyt lub kolein po jednym nawrocie zrywki (np. zjazd ze szlaku na przylegające pasy drzewostanu) Depth of hoof tracks or ruts after one drive | cm | 5,0 | 4,6 | | | | | 5,5 | | | |
| Głębokość kolein lub ich zwiększenie na szlaku Depth of ruts or their increase on the trail | cm | X | 5,6 | 5,8 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 6,0 | 0,4 | 0,5 | 0,5 |
| Powierzchnia gleby uszkodzona przemieszczanym drewnem (bruzdy) Area of soil damaged by dragged timber | m ² /ha | 62 | 167 | 34 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Głębokość Depth | cm | 4,9 | 5,1 | 4,5 | 5,0 | 5,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

1) koleiny harwestera (szer. 600 mm), którymi poruszał się także skider lub forwarder po szlaku

1) harvester ruts (width of 600 mm), where the skidder and forwarder also driven in the strip road

2) koleiny skidera (szer. 400 mm) lub forwardera (600 mm) na pasach drzewostanu

2) skidder ruts (width of 600 mm) in the stand belts

= 2,3%) oraz harwestera i forwardera (S–HF₂₀; $U_{DG} = 2,8\%$) są istotnie mniejsze niż w pozostałych procesach (C–PW₄₀₋₆₀; $U_{DG} = 3,7$ i $4,8\%$ oraz C–HW₂₀₋₆₀; $U_{DG} = 4,6$ – $6,9\%$, a także S–HF₄₀₋₆₀; $U_{DG} = 3,8$ i $4,5\%$).

- W przypadku pracy na niższym poziomie technicznym, z użyciem pilarki do wykonania ścinki i wyróbki drewna, uszkodzenia drzew i gleby przy zastosowaniu metody sortymentowej ze zrywką forwarderem (S–PF) i metody całej strzały ze zrywką konną (C–PK) są istotnie mniejsze niż w tej ostatniej metodzie ze zrywką skiderem (C–PW).

- W przypadku pracy na wyższym poziomie technicznym uszkodzenia drzew i gleby przy zastosowaniu metody sortymentowej z użyciem harwestera i forwardera (S–HF) są istotnie mniejsze niż w metodzie całej strzały ze ścinką i okrzesywaniem tym samym harvesterem i zrywką drewna skiderem (C–HW).

- Uszkodzenia drzew i gleby przy odstępach między szlakami operacyjnymi 20, 40 i 60 m istotnie się różnią.

- Procesy technologiczne najmniej szkodliwe dla drzew i gleby przy użyciu nowych szlaków operacyjnych będą w odmienny sposób oddziaływały w następnych nawrotach cięć. W tym zakresie można przedstawić poniższe uwagi i wyniki:

- z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że uszkodzenia drzew i gleby przy zastosowaniu metody całej strzały ze ścinką i okrzesywaniem pilarką oraz zrywką konną (C–PK) w następnych nawrotach cięć z użyciem starych szlaków będą podobne jak podczas pierwszego wykorzystania szlaków;

- w przypadku procesów technologicznych reprezentujących metodę sortymentową uszkodzenia drzew i gleby w kolejnych nawrotach cięć będą mniejsze. Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} przy zastosowaniu pilarki i forwardera (S–PF) wyniesie około 1,6% (przy odstępach między szlakami 40 m), natomiast harwestera i forwardera (S–HF) około 1,3% (przy odstępach ok. 20 m). W obliczeniach przyjęto takie same uszkodzenia drzew (rozdział 6.1.1.) oraz odpowiednio zmniejszone uszkodzenia gleby, z powodu wykorzystania starych kolein (rozdział 6.2.1). Oznacza to, że uszkodzenia drzew i gleby przy zastosowaniu metody sortymentowej z użyciem pilarki i forwardera oraz harwestera i forwardera przy wykorzystaniu starych szlaków (kolein) byłyby najmniejsze.

6.3.2. Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby w operacjach technologicznych

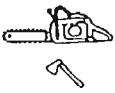



- Zastosowane środki i odstępki między szlakami wpływają istotnie na uszkodzenia drzew i gleby (p_α wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0023). Średnie wskaźniki uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} w operacjach technologicznych przy użyciu nowo założonych szlaków operacyjnych podano w tabeli 19.

Uszkodzenia drzew i gleby w operacjach technologicznych wykonywanych pilarką (C–PK i C–PW; $U_{DG} = 0,5\%$ oraz S–PF; $U_{DG} = 0,3\%$) są istotnie mniejsze

Tabela 19
Table 19

Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} w operacjach technologicznych w zależności od metody i środka pracy oraz odstęp między nowo założonymi szlakami operacyjnymi

Index of tree and soil damages U_{DG} during technological operations according to method, equipment and the distance between new strip roads

| Metoda Method | | | | | | | | | |
|---|------|---|------|------|---|------|---|------|--|
| Całej strzały Whole-stem | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | |
| Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | |
| C-PK i C-PW | | C-HW | | | S-PF | | S-HF | | |
| Środek pracy Equipment | | | | | | | | | |
|  | |  | | |  | |  | | |
| Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | |
| 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | |
| Wskaźnik uszkodzeń [%] Index of damages [%] | | | | | | | | | |
| 0,5 | 0,5 | 4,0 | 5,0 | 5,6 | 0,3 | 2,6 | 3,3 | 3,5 | |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | | | | | | | | | |
| 0,07 | 0,04 | 0,31 | 0,38 | 0,64 | 0,09 | 0,07 | 0,25 | 0,49 | |

niż przy zastosowaniu harwestera (C-HW₂₀₋₆₀; U_{DG} = 4,0–5,6% oraz S-HF₂₀₋₆₀; U_{DG} = 2,6–3,5%).

- Uszkodzenia drzew i gleby przy ścinie, okrzesywaniu i wyróbce drewna harvesterem w metodzie sortymentowej (S-HF) są istotnie mniejsze niż przy zastosowaniu tego harwestera tylko do ścinki i okrzesywania drzew w metodzie całej strzały (C-HW). Uszkodzenia drzew i gleby przy zastosowaniu pilarki w metodzie sortymentowej (S-PF) są mniejsze niż w metodzie całej strzały (C-PK i C-PW), choć różnica ta okazała się statystycznie nieistotna.

6.3.3. Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby przy zrywce




- Środki zrywkowe i odstęp między szlakami istotnie wpływają na wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby (p_{α} wynosi odpowiednio 0,0000 i 0,0000). Średnie wskaźniki uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} podczas zrywki przy użyciu nowo założonych szlaków operacyjnych przedstawiono w tabeli 20.

Tabela 20

Table 20

Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} przy zrywce w zależności od metody, procesu technologicznego i środka zrywkowego oraz odstępu między nowo założonymi szlakami operacyjnymi

Index of tree and soil damages U_{DG} by skidding according to method, technological process, equipment and the distance between new strip roads

| Metoda Method | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|--|------|------|----------------------------|------|------|--|------|--|
| Całej strzały Whole-stem | | | | | | Sortymentowa Short-wood | | | | | |
| Proces technologiczny Technological process | | | | | | | | | | | |
| C-PK | | C-PW | | C-HW | | | S-PF | | S-HF | | |
| Środek zrywkowy Skidding equipment | | | | | | | | | | | |
|  | | |  | | | | | |  | | |
| Odstęp między szlakami operacyjnymi [m] Distance between strip roads [m] | | | | | | | | | | | |
| 40 | 60 | 40 | 60 | 20 | 40 | 60 | 40 | 20 | 40 | 60 | |
| Wskaźnik uszkodzeń [%] Index of damages [%] | | | | | | | | | | | |
| 1,5 | 1,9 | 3,2 | 4,3 | 0,6 | 1,1 | 1,3 | 2,0 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | | | | | | | | | | | |
| 0,17 | 0,24 | 0,49 | 0,55 | 0,02 | 0,19 | 0,12 | 0,15 | 0,02 | 0,12 | 0,22 | |

• Uszkodzenia drzew i gleby przy zrywce forwarderem po ścinie i wyróbce drewna harwesterem (S–HF) są istotnie najmniejsze. Należy podkreślić, że jest to możliwe tylko wtedy, jeżeli ciągnik porusza się koleinami harwestera.

• Po wykonaniu operacji technologicznych pilarką uszkodzenia drzew i gleby przy zrywce koniem (C–PK₄₀₋₆₀; U_{DG} = 1,5 i 1,9%) oraz forwarderem (S–PF₄₀; U_{DG} = 2,0%) są istotnie mniejsze niż przy zastosowaniu skidera (C–PW₄₀₋₆₀; U_{DG} = 3,2 i 4,3%).

• Po wykonaniu operacji technologicznych harwesterem uszkodzenia drzew i gleby przy zrywce forwarderem (S–HF₂₀₋₆₀; U_{DG} = 0,2–1,0%) są mniejsze niż skiderem (C–HW₂₀₋₆₀; U_{DG} = 0,6–1,3%).

Uszkodzenia drzew i gleby przy odstępach między szlakami 20, 40 i 60 m różnią się istotnie.

7. ANALIZA I Dyskusja Wyników

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że przy zastosowaniu metody sortymentowej z użyciem pilarki i forwardera (S-PF) istnieje możliwość ograniczenia uszkodzeń drzew i gleby poprzez zmniejszenie odstępów między szlakami operacyjnymi z 40 do 30 m, gdy ciągnik będzie się poruszał wyłącznie po wyznaczonych szlakach. Wskaźnik uszkodzeń U_{DG} może się dzięki temu zmniejszyć z 2,3 do około 1,8% przy pierwszym wykorzystaniu szlaków operacyjnych. Podstawą do jego oszacowania są wyniki niniejszej pracy. Wynika z nich, że udział drzew uszkodzonych ciągnikiem w odległości powyżej 10 m od szlaku (poza zasięgiem żurawia) wyniósł 40% (tab. 11). Udział uszkodzeń kołami i innymi częściami ciągnika (nie uwzględniając uszkodzeń żurawiem z chwytkiem) osiągnął 63% (tab. 13). Powyższe uszkodzenia powstały głównie podczas zjazdów ciągnika ze szlaków poprowadzonych w odstępach 40 m, na przylegające do nich pasy drzewostanu. Można więc przypuszczać, że wskaźnik uszkodzeń drzew U_D w wyniku zmniejszenia odstępów z 40 do 30 m obniży się co najmniej o 40%, a więc przy zrywce z 0,8 do około 0,5%, a w całym procesie z 1,4 do około 1,1% (w operacjach technologicznych przyjęto bez zmian). Wskaźnik U_G przy zastosowaniu analizowanego procesu oraz zmniejszeniu odstępów między nowo założonymi szlakami z 40 do 30 m zmaleje z 3,2 do 2,4%, w wyniku wyeliminowania zjazdów ze szlaku na przylegające pasy drzewostanu. Tłumaczy to przedstawioną wyżej możliwość zmniejszenia uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} przy zastosowaniu metody sortymentowej z użyciem pilarki i forwardera, w wyniku przyjęcia odstępów 30 m. W przypadku innych procesów możliwości ograniczenia uszkodzeń są mniejsze.

Szlaki operacyjne założone podczas danego zabiegu będą służyły w kolejnych nawrotach cięć. Zastosowanie metody całej strzały ze ścinką i okrzesywaniem pilarką oraz zrywką konną będzie prawdopodobnie powodowało powtórne uszkodzenia drzew i gleby na podobnym poziomie ($U_{DG} = 2,0$ i 2,4%), nawet przy wykorzystaniu wcześniej założonych szlaków. Natomiast w przypadku procesów technologicznych reprezentujących metodę sortymentową, uszkodzenia będą mniejsze. Wynika to z ograniczenia uszkodzeń gleby, kiedy maszyny poruszają się po starych koleinach. Zwiększenie ich głębokości jest bardzo małe. Zmiany własności fizycznych gleby nawet po kilku przejazdach maszyny starymi koleinami są nieistotne (SUWAŁA i in. 1996). Wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} przy zastosowaniu pilarki i forwardera oraz wykorzystaniu starych szlaków wynosi około 1,6% przy odstępach między szlakami 40 m, natomiast harwestera i forwardera około 1,3% przy odstępach około 20 m (rozdz. 6.3.1). W przypadku zastosowania procesu z użyciem pilarki i forwardera oraz zmniejszenia odstępów między szlakami do 30 m, można określić, że wskaźnik uszkodzeń drzew i gleby wyniesie około 0,8% w wyniku ograniczenia uszkodzeń gleby do około 0,5 %

oraz uszkodzeń drzew do około 1,1%, jak podano wyżej. W przypadku zastosowania metody całej strzały z użyciem maszyn, zmniejszenie uszkodzeń drzew i gleby przy wykorzystaniu starych szlaków będzie mniejsze, ponieważ oprócz stosunkowo małego pogłębienia kolein, powtórnie wystąpią bruzdy, powodowane czołami przemieszczanego drewna.

Mniejsze uszkodzenia drzew i gleby U_{DG} przy zastosowaniu metody sortymentowej niż całej strzały występują na niższym i wyższym poziomie technicznym pracy — tak w operacjach technologicznych, jak i przy zrywce drewna. W operacjach technologicznych wykonywanych pilarką następują jedynie uszkodzenia drzew U_D . Są one mniejsze w metodzie sortymentowej najprawdopodobniej dlatego, że przy jej zastosowaniu część drzew (w pobliżu szlaku) obalana jest na wolną przestrzeń wyciętego wcześniej odcinka szlaku operacyjnego. Drzewa stojące dalej od szlaku obalane są w jego kierunku, jednak z dużą tolerancją w wyborze indywidualnego kierunku obalania poszczególnych drzew, co pozwala wykorzystać luki w drzewostanie. W metodzie całej strzały prawie wszystkie drzewa, nawet stojące w pobliżu szlaku, obalane są w drzewostan, w kierunku przeciwnym do szlaku. Przyczynia się to do częstego zawieszania obalanych drzew oraz uderzania nimi o drzewa pozostające. Dzięki dużej tolerancji w wyborze indywidualnego kierunku obalania drzew w metodzie sortymentowej, mniejsze są także uszkodzenia drzew U_D przy zastosowaniu harwestera w tej metodzie niż całej strzały. Ponadto mniejsze są uszkodzenia drzew harvesterem przy okrzyszowaniu oraz wyróbce kłód i wałków niż przy okrzyszowaniu całych strzał. Wskazuje na to m.in. większy udział uszkodzeń niskich, powodowanych czołami okrzyszowanych strzał (rozdz. 6.1.3). Do większych uszkodzeń drzew i gleby U_{DG} harvesterem w metodzie całej strzały przyczyniają się także uszkodzenia gleby, które powstają podczas okrzyszowania całych strzał. Uszkodzenia takie nie występują w metodzie sortymentowej.

W nawiązaniu do wyników pracy można stwierdzić, że przy pozyskiwaniu drewna na wysokim poziomie technicznym nie zawsze można stosować nowe maszyny w tradycyjnych technologiach bez negatywnych skutków. Dowodzi tego próba zastosowania harwestera w metodzie całej strzały, która dała wynik zdecydowanie negatywny.

Uszkodzenia drzew i gleby U_{DG} podczas zrywki są większe przy zastosowaniu skidera (metoda całej strzały) niż forwardera (metoda sortymentowa), tak po wykonaniu operacji technologicznych pilarką jak i harvesterem. Po ścinie i wyróbce drewna pilarką składają się na nie większe uszkodzenia drzew U_D i gleby U_G . O większych uszkodzeniach drzew skiderem decyduje duży udział zranień spowodowanych drewnem dociąganym do szlaku. W świetle uzyskanych wyników (rozmięszczenie drzew uszkodzonych, bezpośrednie czynniki sprawcze), możliwości ich ograniczenia wydają się małe. Pewne ich zmniejszenie może być osiągnięte w wyniku sterowania radiowego wciągarką ciągnika (PORTER 1997, RZADKOWSKI 1996). Do większych uszkodzeń gleby U_G skiderem przyczyniają

się bruzdy powodowane zrywaniem drewnem, które nie występują przy zrywce forwarderem.

Uszkodzenia drzew i gleby U_{DG} przy zrywce drewna zarówno forwarderem w metodzie sortymentowej jak i skiderem w metodzie całej strzały są zdecydowanie mniejsze po wykonaniu operacji technologicznych harwesterem niż pilarką (rozdz. 6.3.3). Tak więc, uszkodzenia harwesterem są wprawdzie większe niż pilarką, ale jego zastosowanie zapewnia mniejsze uszkodzenia drzew U_D oraz gleby U_G przy zrywce. Wynika to głównie stąd, że harwester w trakcie wyróbki przemieszcza całość lub znaczną część drewna do szlaku.

Uznano za celowe odniesienie się do niektórych wskaźników i mierników cząstkowych, w nawiązaniu do wyników innych badań w tym zakresie.

Autorzy zagraniczni podają udział uszkodzonych drzew prawie wyłącznie przy pozyskiwaniu metodą sortymentową w całym procesie technologicznym, a więc w przypadku pracy na niższym poziomie technicznym, łącznie po operacjach technologicznych przy użyciu pilarki oraz zrywce forwarderem. Wyniki uzyskane w tym procesie technologicznym przy odstępach między szlakami 40 m (ryc. 4) są podobne do podanych przez FRÖDINGA (1992). Przedstawione w pracy wyniki są natomiast większe niż podają np. HAKKILA (1995) i HARSTELA (1982). Można to wytłumaczyć m.in. mniejszymi odstępami między szlakami.

Procentowy udział drzew uszkodzonych w procesach technologicznych o wysokim poziomie technicznym różni się od podanych przez autorów z Finlandii (SIREN 1991), Łotwy (EPALTS 1089), Niemiec (BORT, MAHLER, PFEIL 1993) czy Szwecji (FRÖDING 1992), gdyż uzyskano go w innych warunkach. W przypadku metody sortymentowej oraz podobnych odstępów między szlakami operacyjnymi różnice są jednak stosunkowo małe.

W kraju nie prowadzono dotąd badań uszkodzeń drzew przy pozyskiwaniu drewna w porównywalnych warunkach drzewostanowych. Prezentowane wyniki dotyczą niemal wyłącznie zrywki drewna w młodszych drzewostanach sosnowych. Można przykładowo przytoczyć udział procentowy drzew uszkodzonych, uzyskany przez PORTERA (1997) przy zrywce drewna w drzewostanach sosnowych w wieku 35–45 lat, przy odstępach między szlakami 60 m. Udział ten, w porównaniu z wynikami tej pracy, jest znacznie większy w przypadku zrywki konnej (4,8%) oraz podobny przy zastosowaniu skidera (8,9%). Większy jest udział drzew uszkodzonych podczas dwuetapowej zrywki (wyciąganie drewna do szlaku koniem, następnie zrywka różnymi ciągnikami, m.in. forwarderem) niż w przypadku jednoetapowej zrywki forwarderem, uzyskany w tej pracy. O różnicach decydują odmienne warunki drzewostanowe i odstępów między szlakami. Można jednak stwierdzić, że najkorzystniejsze wyniki uzyskał PORTER (1997) przy zastosowaniu forwardera, typowego dla metody sortymentowej, podobnie jak w niniejszej pracy.

Trzeba odnotować również krytyczne opinie o metodzie sortymentowej. Dotyczą one głównie konieczności zakładania szlaków w małych odstępach (WIĘSIK

1995a). Na podstawie badań w tej pracy stwierdzono, że zagęszczenie szlaków wpływa na ograniczenie uszkodzeń drzew i gleby także przy zastosowaniu metody całej strzały. W metodzie sortymentowej jest to konieczne, ale zapewnia duże zmniejszenie uszkodzeń. W uzupełnieniu można dodać, że na szlakach operacyjnych wycinano średnio 3 drzewa dorodne na 1 hektarze drzewostanu, przy odstępach między szlakami około 20 m, oraz 2 takie drzewa w przypadku odstępów około 40 i 60 m. Straty pod tym względem z tytułu zagęszczenia szlaków są więc stosunkowo niewielkie, natomiast uszkodzenia drzew i gleby istotnie maleją.

Należy również podkreślić, że w przypadku odpowiednich metod i maszyn na wysokim poziomie technicznym, udział drzew uszkodzonych jest nawet mniejszy niż w niektórych procesach technologicznych na niższym poziomie technicznym. Na podstawie uzyskanych wyników można więc potwierdzić opinię, że wybrane maszyny mogą spełnić wymagania ochrony środowiska (STAJNIAK 1994, 1995, WIĘSIK 1995). Konieczne jest jednak przestrzeganie warunków określonych w tej pracy (m.in. odpowiednia technologia i odstęp między szlakami operacyjnymi).

Długość kolein powodowanych przez użyte maszyny na jednostce powierzchni drzewostanu rośnie wraz z odstępem między szlakami. Wynika to stąd, że harwester i ciągniki zjeżdżające z wyznaczonego szlaku na pasy drzewostanu pokonują dłuższą drogę, omijając drzewa, niż ma to miejsce, kiedy poruszają się wyłącznie po szlakach położonych w mniejszych odstępach. Wjazdy harwestera na pasy drzewostanu ze szlaków położonych w odstępach 40 i 60 m wynikały z przyjętego założenia. Były one również konieczne przy użyciu środków zrywkowych. Próba ich ograniczenia w przypadku skidera wiązałaby się ze zwiększeniem uszkodzeń przy wyciąganiu całych strzał. Załadunek forwardera byłby niemożliwy bez dociągania drewna do szlaku, które pociąga za sobą zwiększenie uszkodzeń drzew i gleby. W tej sytuacji rozwiązaniem przyjaznym dla lasu, jak wskazują wyniki pracy, jest stosowanie odpowiednich odstępów między szlakami.

Różnice w głębokości kolein powstających po przejazdach maszyn są stosunkowo małe. Zastanawiająca jest jednak mniejsza głębokość kolein po przejazdach ciągnika skider niż pozostałych maszyn o podobnych naciskach na grunt. Można to wytłumaczyć tym, że całe strzały zrywane skiderem obniżają pierwotne położenie gruntu w sąsiedztwie koleiny. Stąd wynik pomiaru ich głębokości może być zaniżony.

Głębokości kolein skidera i forwardera uzyskane podczas badań w tej pracy (tab. 18) są nieco mniejsze niż podaje PORTER (1997) dla młodszych drzewostanów sosnowych. Relacje głębokości są natomiast niemal takie same. Wskazywałoby to na ograniczanie głębokości kolein przez grubsze korzenie w starszych drzewostanach. Przedstawione w pracy głębokości kolein, powstających przy pozyskiwaniu drewna z użyciem harwestera i ciągników (tab. 16), są większe niż podają autorzy ze Skandynawii (FRÖDING 1992; SIREN 1991; WÄSTERLUND 1990) dla drzewostanów świerkowych. Wynika to prawdopodobnie z różnic glebowych.

Można też przypuszczać, że koleiny mogą być płytsze dzięki systemom korzeniowym świerka. Nie jest to zjawisko korzystne, bo korzenie w drzewostanach świerkowych mogą być mocniej uszkodzane niż w sosnowych (PUTKISTO 1986).

Na uwagę zasługuje też brak wyraźnego związku między głębokością kolein i naciskiem statycznym maszyn. Okazało się, że głębokości kolein po przejazdach harwestera oraz po zrywce forwarderem są prawie takie same, mimo dużych różnic w naciskach statycznych tych maszyn. Nacisk harwestera wynosi 68 kPa, a forwardera z ładunkiem sięga około 100 kPa. Wydaje się, że większe znaczenie mogą mieć naciski dynamiczne podczas ścinki i wyróbki harwesterem. Stawia to pod znakiem zapytania znaczenie nacisków statycznych maszyn, bez uwzględnienia innych parametrów i uwarunkowań.

Podkreślić należy, że głębokość koleiny ustalana jest w 80–90% podczas pierwszego przejazdu maszyn. Następne przejazdy maszyn tymi samymi koleinami mają już mniejsze znaczenie, także dla uszkodzeń korzeni (SUWAŁA i in. 1996). Należałoby więc ograniczać powstawanie nowych kolein i wykorzystywać istniejące do powtórnych przejazdów. Z tego punktu widzenia celowa byłaby unifikacja rozstawów kół maszyn lub odpowiedni ich dobór.

Szczególnym przypadkiem są uszkodzenia gleby (naruszenie pierwotnej struktury) powodowane kopytami (ok. 400 m²/ha). Nie można ich pominąć, zważywszy, że nawet przy stosunkowo małej intensywności trzebieży ich powierzchnia jest porównywalna z koleinami.

Wyniki podawane przez innych autorów odnośnie do powierzchni uszkodzonej gleby są bardzo rozbieżne. Nawet w kraju, w warunkach trzebieży wczesnej tej samej kategorii wiekowej drzewostanu, prezentowane udziały procentowe powierzchni uszkodzonej gleby różnią się krańcowo, mianowicie od 3,1% (PORTER 1997) do 45% (KUBIAK i in. 1990). Wyniki uzyskane przy zastosowaniu badanych procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych bliższe są danym przedstawionym przez Portera.

Praca potwierdziła celowość prowadzenia badań i analiz całych procesów technologicznych pozyskiwania drewna, biorąc pod uwagę, jak różne są uszkodzenia drzew i gleby przy zrywce w zależności od metod i środków użytych do ścinki oraz wyróbki drewna. Nakazuje to ostrożność w symulacyjnym zestawianiu wyników badań.

Podsumowując należy podkreślić, że na podstawie dużej liczby różnych wskaźników i mierników cząstkowych, wnoszących wiele do wiedzy o uszkodzeniach drzew i gleby, byłoby trudno dokonać oceny oraz wskazać najmniej uciążliwe pod tym względem metody i procesy technologiczne pozyskiwania drewna. Podjęcie próby oceny syntetycznej uszkodzeń było więc konieczne. Syntetyczna ocena uszkodzeń przy pozyskiwaniu drewna była już wcześniej podejmowana. Można tu wymienić pracę GIEFINGA (1995) w zakresie uszkodzeń drzew w czyszczeniach późnych oraz PORTERA (1997) i SOSNOWSKIEGO (1997), w odniesieniu do zrywki drewna. Próby w tym zakresie były czynione także przez

autora (SUWAŁA 1995a, 1997d). Wydaje się jednak, że syntetyczne wskaźniki opracowane i zastosowane w niniejszej pracy są łatwe w odbiorze, zawierają się bowiem w teoretycznie określonych granicach oraz charakteryzują się znacznym obiektywizmem, dzięki nawiązaniu do wyników badań z różnych dyscyplin leśnych w zakresie skutków uszkodzeń drzew i gleby. Można się więc spodziewać korelacji między wskaźnikiem uszkodzeń drzew a skutkami, m.in. w produktywności (np. przyrost miąższości). Powiązanie wskaźnika uszkodzeń gleby z ich skutkami może obecnie budzić wątpliwości, choć przesłanki przemawiają za tym, że zależność między nimi wystąpi, biorąc pod uwagę uwzględnione pośrednio uszkodzenia korzeni drzew. Konieczne jest jednak prowadzenie badań obejmujących ocenę skutków uszkodzeń. Badania takie mogłyby być rozpoczęte za kilka lat na tych samych powierzchniach doświadczalnych, na których zostały określone uszkodzenia drzew i gleby. Pełniejsze poznanie tych zagadnień wymaga jeszcze czasu — obecnie musimy się kierować doświadczeniami porównawczymi uszkodzeń (FURUBERG GJEDTJERNET 1995). Temu celowi, mając na uwadze dążenie do ograniczenia uszkodzeń drzew i gleby, mogą służyć wskaźniki syntetyczne zaproponowane w niniejszej pracy. Wyniki uzyskane przy ich użyciu wskazują nie tylko, że uszkodzenia następują, ale nakazują ostrożność w doborze nowych procesów technologicznych oraz ułatwiają wybór rozwiązań przyjaznych dla lasu. Zaletą zastosowanych wskaźników oceny jest też możliwość ich sumowania z poszczególnych części procesu technologicznego. Obecnie uszkodzenia drzew i gleby, będące w całym procesie technologicznym na poziomie do 2–3%, można określić jako stosunkowo małe. Należy jednak dążyć do dalszego ich ograniczenia.

8. PODSUMOWANIE ORAZ WNIOSKI I PROPOZYCJE

8.1. Podsumowanie

1. Metody i procesy technologiczne pozyskiwania drewna oraz odstępy między szlakami operacyjnymi istotnie wpływają na uszkodzenia drzew i gleby w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych.

2. Uszkodzenia drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna (w całym procesie technologicznym) w pierwszym nawrocie cięć z użyciem nowych szlaków operacyjnych są istotnie najmniejsze przy zastosowaniu:

— metody sortymentowej z użyciem pilarki i forwardera (U_{DG} wynosi 2,3% przy odstępach między szlakami około 40 m, natomiast przy odstępach 30 m wskaźnik U_{DG} wyniesie około 1,8%) oraz harwestera i forwardera (U_{DG} wynosi 2,8% przy odstępach około 20 m);

— metody całej strzały ze ścinką pilarką i zrywką konną (U_{DG} wynosi 2,0 i 2,4% przy odstępach około 40 i 60 m).

3. Uszkodzenia drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna będą mniejsze w następnych nawrotach cięć, jeżeli zostaną wykorzystane stare szlaki operacyjne (koleiny), szczególnie przy zastosowaniu metody sortymentowej, w której uszkodzenia gleby ograniczają się do nieznacznego zwiększenia głębokości kolein. Dotyczy to procesów technologicznych z użyciem pilarki i forwardera (U_{DG} przy odstępach szlaków około 40 m wynosi 1,6%, a przy odstępach 30 m — około 0,8%) oraz harwestera i forwardera (przy odstępach około 20 m U_{DG} wynosi 1,3%).

4. Uszkodzenia drzew przy pozyskiwaniu drewna (w całym procesie technologicznym) są istotnie najmniejsze przy zastosowaniu:

— metody sortymentowej realizowanej pilarką i forwarderem (U_D przy odstępach między szlakami około 40 m wynosi 1,4%, natomiast przy odstępach 30 m wskaźnik ten określony szacunkowo wyniesie około 1,1%) oraz harvesterem i forwarderem (U_D wynosi 1,7% przy odstępach około 20 m);

— metody całej strzały z użyciem pilarki i konia (U_D wynosi 1,6 i 2,3% odpowiednio przy odstępach około 40 i 60 m).

5. Cechy ran drzew różnią się w zależności od metod, procesów technologicznych pozyskiwania drewna oraz odstępów między szlakami. Średnie wielkości przedstawiają się następująco:

— liczba ran jednego drzewa wynosi od 1,4 do 1,8;

— wysokość ran waha się od 2,9 do 4,6 m;

— powierzchnia ran kształtuje się od 61 do 92 cm²;

— zraniona część obwodu strzały zawiera się w przedziale 0,066–0,087;

— dominują rany płytkie, bez uszkodzeń tkanki drzewnej.

Wyraźna jest tendencja do wzrostu powierzchni ran, zranionych części obwodu strzały oraz udziału ran tkanki drzewnej wraz ze zwiększeniem odstępów między szlakami.

6. Średnia odległość uszkodzonego drzewa od środka szlaku operacyjnego rośnie proporcjonalnie do zwiększenia odstępów między szlakami (o około 5 m wraz ze zwiększeniem odstępów o około 20 m, a więc o połowę przyrostu szerokości pasów drzewostanu przylegających do szlaku).

Przeważający udział drzew uszkodzonych przy szlakach poprowadzonych w odstępach około 20 m zmienia się na zbliżony do równomiernego na przylegających pasach drzewostanu wraz ze zwiększeniem odstępów do około 60 m.

7. Uszkodzenia drzew podczas operacji technologicznych, zarówno przy użyciu pilarki jak i harwestera, powodowane są głównie obalaniem drzewem i obrabianym drewnem w obu uwzględnionych metodach pozyskiwania drewna. W przypadku harwestera znaczący jest także udział uszkodzeń głowicą obróbczą i żurawiem oraz kołami.

W operacji zrywki koniem i skiderem w metodzie całej strzały uszkodzenia powodowane są głównie przemieszczanym drewnem. Przy zrywce skiderem wy-

rażny jest wzrost udziału ran powodowanych kołami i innymi częściami nadwozia wraz ze zwiększeniem odstepu między szlakami.

W przypadku zrywki forwarderem w metodzie sortymentowej typowy jest bardzo mały udział uszkodzeń przemieszczanym drewnem. Zranienia powodowane są żurawiem z chwytakiem, kołami i innymi częściami ciągnika. Udział dwóch ostatnich czynników sprawczych rośnie wraz ze zwiększeniem odstepu między szlakami, kiedy ciągnik musi wjeżdżać na przylegające pasy drzewostanu.

8. Uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby przy pozyskiwaniu drewna (w całym procesie technologicznym) w pierwszym nawrocie cięć z wykorzystaniem nowo założonych szlaków operacyjnych są najmniejsze w metodzie całej strzały z użyciem pilarki i konia (U_G wynosi 2,4% przy odstepie 40–60 m) oraz przy zastosowaniu metody sortymentowej, realizowanej za pomocą pilarki i forwardera (U_G wynosi 2,4 i 3,2%, odpowiednio do odstępów między szlakami około 30 i 40 m).

9. Uszkodzenia wierzchniej warstwy gleby przy pozyskiwaniu drewna będą mniejsze w następnych nawrotach cięć, jeżeli zostaną wykorzystane stare szlaki (koleiny), szczególnie w przypadku metody sortymentowej. Najmniejszymi uszkodzeniami gleby w tym przypadku będzie się charakteryzował proces z użyciem pilarki i forwardera (U_G wynosi 0,5 i 1,8% odpowiednio do odstępów około 30 i 40 m) oraz harwestera i forwardera (U_G wynosi 0,8% przy odstepie około 20 m).

8.2. Wnioski i propozycje

1. Rozwiązania metodyczne pracy, w szczególności opracowane i zastosowane nowe wskaźniki, umożliwiają dokonanie syntetycznej oceny uszkodzeń drzew i gleby przy pozyskiwaniu drewna.

2. Wybór rozwiązań technologicznych i technicznych do pozyskiwania drewna pod względem uszkodzeń drzew i gleby powinien uwzględniać metodę i proces technologiczny oraz odstęp między szlakami operacyjnymi.

3. Do pozyskiwania drewna w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych należałoby stosować metodę sortymentową, charakteryzującą się mniejszymi uszkodzeniami drzew i gleby niż metoda całej strzały, przy porównywalnych poziomach technicznych, zarówno w pierwszym nawrocie cięć z użyciem nowo założonych szlaków operacyjnych, jak i w następnych nawrotach, wykorzystując stare szlaki (koleiny).

4. W ramach sortymentowej metody pozyskiwania drewna proponuje się upowszechniać proces technologiczny obejmujący:

- ścinę, okrzesywanie oraz wyróbkę drewna w kłodach i wałkach lub wyrzynkach za pomocą pilarki,
- zrywkę drewna forwarderem.

W powyższym procesie konieczne jest udostępnienie drzewostanu systemem szlaków operacyjnych szerokości około 4 m, z odstępem stanowiącym podwójną sumę wysięgu żurawia ciągnika i długości kłody, a więc obecnie około 30 m. W przyszłości szlaki poprowadzone w takim odstępie mogą służyć także do pozyskiwania drewna na wysokim poziomie technicznym, po zwiększeniu wysięgu żurawi.

5. Harwester jednochwytakowy powinien być stosowany do pozyskiwania drewna w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych wyłącznie w metodzie sortymentowej z użyciem forwordera do zrywki, obecnie przy odstępach między szlakami około 20 m, stanowiącym podwójny wysięg żurawia harwestera. Należy przy tym ograniczać powstawanie nowych kolein i wykorzystywać już istniejące do następnych przejazdów maszyn.

6. W tradycyjnej metodzie całej strzały do pozyskiwania drewna w późnych trzebieżach wskazane jest stosowanie w dalszym ciągu pilarki i zrywki konnej. Należy natomiast stopniowo eliminować zrywkę wleczoną i półpodwieszoną za pomocą ciągników. W przypadku prowadzenia takiej zrywki proponuje się stosować odstęp między szlakami około 30 m, ponieważ oprócz bieżącego ograniczenia uszkodzeń drzew i gleby stwarza to możliwość racjonalnego zastosowania metody sortymentowej w następnych nawrotach cięć. W tej metodzie nie powinno się stosować harwestera do ścinki i okrzesywania całych strzał.

7. Wydaje się konieczne kontynuowanie badań nad wpływem technologii i techniki pozyskiwania drewna na wybrane składowe lasu. Byłoby szczególnie uzasadnione prowadzenie badań skutków uszkodzeń lasu na założonych dotychczas powierzchniach doświadczalnych, na których zostały ocenione uszkodzenia.

Serdeczne podziękowania i wyrazy wdzięczności składam Paniom i Panom z Instytutu Badawczego Leśnictwa i innych Instytucji, którzy przyczynili się do powstania tej pracy, zwłaszcza Kolegom z Zakładu Użytkowania Lasu. Słowa podziękowania za życzliwą pomoc kieruję oddzielnie do Panów Nadleśniczych i Pracowników Nadleśnictw, w których prowadzono badania. O przyjęcie podziękowań proszę w szczególności Pana mgra inż. Włodzimierza Roberta, Nadleśniczego Nadleśnictwa Dąbrowa i wszystkich Jego Współpracowników.

DAMAGES OF TREES AND SOIL CAUSED AT TIMBER HARVESTING IN LATE THINNINGS OF PINE STANDS

Summary

Methods

The objective of the study is to describe the influence of method and technological processes, taking into consideration different technical levels and the distance between strip roads, on the damages of trees and soil caused at wood harvesting in the late thinning of pine stands. The results of the investigation will be used to show the least harmful — forest-friendly — methods.

Two methods were used in the investigation: the traditional method of the whole-stem and short-wood method; both have not had any economic consequences yet. The whole-stem method depended on skidding of limbed stems. In this method the following three technological processes were taken into consideration: chain saw and horse, chain saw and skidder or one-grip harvester and skidder. The short-wood method consisted of felling, limbing and cutting the butt part into the assortments of following lengths: 3.1, 4.1 and 5.1 m (divided into 2.4 m long round timber) and wood storage and skidding. Two technological processes were applied in the investigation: 1 — chain saw and forwarder, 2 — one-grip harvester and forwarder.

In both methods, which a harvester was used the following distances between strip roads: 20, 40 and 60 m were investigated in technological processes. It was assumed, that for the distances of 40 and 60 m harvester would drive into stand gaps from the strip road and fell, sort and transport the timber to the nearest strip road. In the processes, in which a chain saw, horse and skidder distances of 40 and 60 m between strip roads were applied. When a chain saw and harvester were used for timber harvesting the distances were about 40 m.

Some indexes of damages were prepared and applied for the assessment of processes.

Index of tree damages U_D :

$$U_D = \frac{D_o + D_{0.1} + D_{100} + D_{0.125} + D_d}{5} \quad [\%] \quad (1)$$

where:

D_o — total share of damaged trees;

$D_{0.1}$ — share of trees with at least one low wound, below 0,1 m

D_{100} — share of trees with a wound of total area over 100 cm²;

$D_{0.125}$ — share of trees with at least one wound covering over 0.125 of the circumference (in the place of injury);

D_d — share of trees with xylem injury.

All partial indexes (D_o ; $D_{0.1}$; D_{100} ; $D_{0.125}$; D_d) in the formula (1) make the share of damaged tree number, related separately to all trees remaining in the stand after the thinning.

Index of soil surface damage U_G :

$$U_G = G_{ko} + G_{kp} + G_{bp} + 2G_{bg} \quad [\%] \quad (2)$$

where:

G_{ko} — share of rut volume at 10 cm depth of soil layer,

G_{kp} — share of hoof track volume at 10 cm depth of soil layer,

G_{bp} — share of shallow rut volume (mainly soil compaction) of the average depth below 5 cm, at 10 cm depth of soil layer,

G_{bg} — share of deep rut volume (grooved especially by dragged wood) of the average depth above 5 cm, and soil layer depth of 10 cm.

Index of tree and soil damage U_G :

$$U_{DG} = \frac{U_D + U_G}{2} \quad [\%] \quad (3)$$

The share of damaged trees, features of tree injuries, distribution of damaged trees in a stand and direct causing agents of tree wounds (tree felling and wood processing, proper parts of machines) were included in the estimation and analysis of tree damages.

The assessment of soil surface damages also includes their characteristic, among other things, area and depth.

ANOVA (Fischer test) was used to determine the influence of technological processes and the distances between strip roads on the indexes of damages. The significance of differences between average damage indexes was compared by Scheffe test (at the significance level $p=0.05$).

Investigations were carried out in pine stands growing on the fresh coniferous site. Investigated stands were 59-92 years old, on average 69 years. The average diameter of breast height before thinning was 20.3 cm, and after thinning 21.5 cm. The average amount of harvested timber was 0.15 m³. Soils of investigated areas belonged to podzolic soils.

Each stand was randomly divided into plots for different technological processes. Strip roads were established in the centre of plots or existing (the old) ones were used.

Results

1. Methods and technological processes of wood harvesting and the distance between strip roads influenced significantly the tree and soil damage at thinning in pine stands.

2. The damages of trees and soils during wood harvesting (in the entire technological process) are the lowest in the first cutting rotation, where following methods were applied:

— short-wood method in which a chain saw and forwarder were used ($U_{DG} = 2.3\%$ and 1.8% for the distances between strip roads of 40 and 30 m, respectively) and a harvester and forwarder ($U_{DG} = 2.8\%$ for the distance about of 20 m).

— whole-stem method: tree felling with chain saw and horse skidding ($U_{DG} = 2.0\%$ and 2.4% for the distances between strip roads of 40 and 60 m, respectively).

3. The damages of trees and soil at timber harvesting will be lower in the next cutting rotation, if the old strip roads (ruts) are used, especially for the short-wood method, where soil damage denotes small increase of rut depth. The damages of trees and soil at timber harvesting were lower, when a chain saw and forwarder ($U_{DG} = 1.6$ and 0.8% for the distances between strip roads of 40 and 30 m, respectively) or a harvester and forwarder were used ($U_{DG} = 1.3\%$ for the distance of about 20 m).

4. Tree damages at timber harvesting (in the entire technological process) are the least, when:

— short-wood method with a chain saw and forwarder ($U_D = 1.4$ and 1.1% for the distances between strip roads of 40 and 30 m, respectively) or a harvester and forwarder was applied ($U_D = 1.7\%$ for the distance about 20 m).

— whole-stem method with a chain saw and horse skidding was used ($U_D = 1.6$ and 2.3% for the distances between strip roads of 40 and 60 m, respectively).

5. The differences between tree wounds depend on methods, technological processes of timber harvesting and the distances between strip roads. The average values are given as follows:

— the number of wounds per tree was from 1.4 to 1.8;

— the height of wounds was from 2.9 to 4.6 m;

— the wound area was from 61 to 92 cm²;

— the circumference of the injury area of a stem was from 0.066 to 0.087;

— prevailing shallow wounds, without xylem damages.

During the investigation the tendency for wound area, the circumference of the injury area of stems and the share of xylem damage to increase was discovered as well as the increase in the distance between strip roads.

6. The average distance of damaged trees from the centre of the roads increases proportionally with the increase in the distance between strip roads (about 5 m with increase in the distance of about 20 m, i.e. about half of the increment of the stand strip width adjoining to the strip road).

Prevailing share of damaged trees near strip roads with the distances of 20 m becomes uniform when the distance increases to 60 m.

7. Tree damages during technological operations are caused by tree felling and wood processing. The same results were obtained for both methods of timber harvesting, when a chain saw and harvester were used.

When a harvester is used the share of damages caused by head, jib crane and wheels are significant.

The damage is mainly caused by dragged wood during horse and skidder skidding in whole-wood method. The increase in damages caused by wheels and other parts of skidder as well as the increase in the distance of strip roads were found.

The damages caused by dragged wood is very small and typical of skidding by a forwarder in short-wood method. These injuries are caused by crane grapples, wheels and other parts of a forwarder. When tractor has to drive into the adjoining stand the share of the last two causative agents increases with the increase in the distances between strip roads.

8. The least damage of soil surface during the first cutting rotation was found in whole-stem method which uses a chain saw and horse skidding ($U_G = 2.4\%$, the distance 40-60 m) and in short-wood method which uses a chain saw and forwarder ($U_G = 2.4$ and 3.2% , the distance between strip roads of about 30 and 40 m, respectively). New strip roads were applied in both cases.

9. The damage of soil surface during timber harvesting will be less extensive, if the old trails (ruts) are used, especially in short-wood method. The least soil damage will be found, when a chain saw and forwarder ($U_G = 0.5$ and 1.8% for the distances of about 30 and 40 m, respectively) or harvester and forwarder are used ($U_G = 0.8\%$ for the distance of about 20 m).

Conclusions

1. Results of the investigation, especially described and applied new indexes, allowed to evaluate tree and soil damages at wood harvesting.

2. Methods, technological processes and the distance between strip roads should be taken into account in order to reduce tree and soil damages, while the technological and technique operations are chosen.

3. Short-wood method should be applied at timber harvesting in the late thinning of pine stands. Fewer tree and soil injuries with comparable technical levels both for the first rotation on new strip roads and the next rotation on old strip roads (ruts) were obtained for this method than for whole-stem method.

4. Following technological processes should be applied in short-wood method:

- tree felling, limbing and cross-cutting with a chain saw;
- wood extraction by forwarder.

It is necessary to establish a strip road system about 4 m wide and the distances between strip roads of about 30 m (it denotes double sum of jib's range and the stem length). In the future that distance between strip roads could be used for timber harvesting, when the jib's range is increased.

5. One-grip harvester should be applied for timber harvesting in the late thinning of pine stands in short-wood method only, when the forwarder is used for extraction and the distances between strip roads are of about 20 m (it denotes double jib's range of a harvester). The establishment of new ruts should be limited and the old ones ought to be used for the next machine trips.

6. It is still preferable to apply a chain saw and horse skidding at traditional whole-stem method of timber harvesting in the late thinning. However, the dragging and half-hung skidding should be gradually eliminated. When such skidding is applied the distance between strip roads of about 30 m is recommended. In that case, the tree and soil damages can be reduced. Rational use of short-wood method in the next cutting rotation is also possible. In this method harvester should not be used for the felling and limbing of whole stems.

7. It seems to be necessary to continue the investigation of the effect of technology and techniques of timber harvesting on forest. The investigation of consequences of forest damages in the established study plots may be very promising.

(transl. by D. D.)

PIŚMIENNICTWO

- BEISEL G. 1994: Lesermeinungen zu "Rückegassenabstände – ein heißes Eisen". Forsttechn. Inf., 12: 148-149.
- BJÖRHEDEN R., FRÖDING A. 1986: A new routine for checking the biological quality of thinning in practice. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsatser och Resultat, 48: I-VII i 1-14.
- BORT U. 1994: Lesermeinungen zu "Rückegassenabstände – ein heißes Eisen". Forsttechn. Inf., 12: 147-148
- BORT U., MAHLER G., PFEIL C. 1993: Mechanisierte Holzernte. Wechselwirkungen von Erschließungsdichte, Pflegelichkeit und Betriebserfolg. Forsttechn. Inf., 11: 121-124.
- CZEREYSKI K. 1953: Motoryzacja zrywki a odnowienie lasu. Sylwan, 3: 194-199.
- DEMKO J. 1990: Compaction of forest soil by skidding devices (The special forest wheel traktor LKT-81). Lesnictvi, 11: 921-930.
- DOBROWOLSKA D., FARFAŁ D., JÓZEFACIUKOWA W. 1996: Wpływ wybranych metod i środków pozyskiwania drewna na uszkodzenia korzeni sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych. Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A, 820: 36-44.
- EPALTS A. 1989: The impact of mechanized thinnig on the remaining stand. IUFRO Conference "Machine design and working methods in thinnings". Hyytiälä, Finlandia: 11-21.
- FORBRIG A. 1994: Rückegassenabstände ein heißes Eisen. Forsttechn. Inf., 6: 57-59.
- FRIDERICHS R. 1994: Lesermeinungen zu "Rückegassenabstände – ein heißes Eisen". Forsttechn. Inf., 12: 149-151.
- FRÖDING A. 1992: Beståndsskador vid gallring. Sveriges Lantbruksuniversitet. Garpenberg.
- FURUBERG GJEDTJERNET A. M. 1995: Forest operations and environmental protection. Water, Air, Soil Poll., 82: 35-41.
- GIEFING D. F. 1992: Pozyskiwanie drewna a ochrona środowiska. Mat. konf. "Stan i perspektywy trwałego użytkowania lasu w Polsce". Warszawa: 84-91.
- GIEFING D. F. 1995a: Badania nad opracowaniem proekologicznych procesów pozyskiwania drewna. Mat. konf. "Model optymalnych dla środowiska procesów pozyskiwania drewna". Warszawa: 52-60.
- GIEFING D. F. 1995b: Wpływ pozyskiwania drewna w czyszczeniach późnych drzewostanów sosnowych na środowisko. Sylwan, 6: 55-62.
- GUGLHÖR W. 1993: Akzeptanzprobleme beim Einsatz von Kranvollerntern in der Durchforstung. Allg. Forst Zeitschr., 17: 892-895.
- HAKKILA P. 1995: Pozyskiwanie drewna w Finlandii. Mat. semin. "Technika w proekologicznej gospodarce leśnej". Warszawa: 1-14.
- HAKKILA P., WÓJCIK T. 1980: Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland. Fol. For., 433: 1-29.

- HARSTELA P. 1982: Zur Entwicklung von Durchforstungsverfahren. [W:] Forschungs – Ergebnisse der Finischen Forstlichen Forschungsanstalt. Sonderdruck aus Allg. Forst Zeitschr., 46-48.
- HARSTELA P., SAVIELEV A., SAJRANEN P., SIREN M., EPALTS A. 1984: Proreživane sosnaka valočno-paketurujuščeje mašinoj Makeri. Fol. For., 600: 1-35.
- HEIL K., ATTULA R. 1996: Kompromisse für Ökologie, Ergonomie und Ökonomie. BDF Aktuell, 10: 4-6.
- HILDEBRAND E. E., SCHACK-KIRCHNER H., WILPERT K. 1994: Lesermeinungen zu "Rückegasse-nabstände – ein heißes Eisen". Forsttechn. Inf., 12: 146-147.
- KAMIŃSKI E. 1988: Użytkowanie lasu a ochrona środowiska. Sylwan, 10: 1-8.
- KUBIAK M., GIEFING D., GORNOWICZ R., GRODECKI J., WOJTKOWIAK R., JABŁOŃSKI K., KUSIAK W., TABAKA P. 1990: Optymalne metody prowadzenia czyszczeń późnych i trzebieży wczesnych. W: Podstawy leśnej inżynierii ekologicznej – bezpieczne technologie leśne. SGGW-AR. Warszawa: 144-155.
- KUBIAK M., GRODECKI J. 1995: Szlaki zrywkowe – ich znaczenie i zasady zakładania. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 22-25.
- LASÁK O. 1990: Assessment of the Lokomo Makeri 34T Harvester as to Damage Caused to the Forest Environment. Lesnictvi, 11: 911-920.
- LAUROW Z. 1992: Użytkowanie lasu a ekologizacja leśnictwa. Mat. konf. "Stan i perspektywy trwałego użytkowania lasu w Polsce". Warszawa: 40-47.
- LAUROW Z. 1995 a: Rola szlaków zrywkowych w warunkach górskich. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 26-30.
- LAUROW Z. 1995 b: Proekologiczne technologie pozyskania drewna w drzewostanach młodszych klas wieku. Mat. konf. "Model optymalnych dla środowiska procesów pozyskiwania drewna". Warszawa: 22-30.
- LAUROW Z. 1996 a: Szlaki zrywkowe w procesie pozyskiwania drewna – cz. I. Definicje i znaczenie. Prz. Tech. Rol. Leś., 5: 17-18.
- LAUROW Z. 1996 b: Szlaki zrywkowe w procesie pozyskiwania drewna – cz. II. Szlak a środowisko. Prz. Tech. Roln. Leś., 6: 23-25.
- MATTHIS D. 1994: Erfassung von Bodenschäden. Allg. Forst Zeitschr., 13: 723.
- MOSKALIK T., SADOWSKI J. 1995: Rola szlaków zrywkowych w tradycyjnych i zmodernizowanych technologiach pozyskiwania drewna w trzebieżach wczesnych w warunkach nizinnych. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 31-35.
- MUSZYŃSKI Z. 1995a: Wyniki badań technologii, środków i warunków pozyskania drewna najmniej szkodliwych dla drzewostanu i gleby w warunkach górskich. Wyd. Leśny AR w Krakowie: 1-24.
- MUSZYŃSKI Z. 1995b: Wybrane zagadnienia proekologicznego użytkowania lasów górskich. Mat. konf. "Model optymalnych dla środowiska procesów pozyskiwania drewna". Warszawa: 61-69.
- MUSZYŃSKI Z. 1997: Prośrodowiskowe pozyskanie drewna w warunkach górskich. Post. Tech. Leś., 62: 54-59.
- OLEJARSKI I., WALENDZIK R. 1996: Wpływ maszyn do pozyskania drewna i zrywki na właściwości fizyczne gleb leśnych na siedlisku boru świeżego. Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A, 827: 48-61.
- PASCHALIS P. 1992: Użytkowanie lasu szansą ekorozwoju. Mat. konf. "Stan i perspektywy trwałego użytkowania lasu w Polsce". Warszawa: 77-83.
- PASCHALIS P. 1996: Użytkowanie lasu wielofunkcyjnego. Sylwan, 1: 5-11.
- PASCHALIS P. 1997a: Założenia do zasad użytkowania lasu w koncepcji trwałego i zrównoważonego gospodarowania lasami. Sylwan, 1: 49-56.

- PASCHALIS P. 1997b: Kryteria zrównoważonej gospodarki leśnej w użytkowaniu lasu. Post. Tech. Leś., 62: 7-12.
- PASCHALIS P., PORTER B. 1994: Próba oceny uszkodzeń drzew w wyniku prac zrywkowych w sosnowych drzewostanach przedrębnych. Sylwan, 9: 17-21.
- PIEŃKOS K.: 1995: Problemy komunikacyjnego udostępnienia lasów do celów produkcyjnych. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 44-56.
- PORTER B. 1992: Proekologiczne problemy użytkowania lasu. Mat. konf. "Stan i perspektywy trwałego użytkowania lasu w Polsce". Warszawa: 33-39.
- PORTER B. 1994: Wpływ sposobów zrywki na uszkodzenia gleby i drzew pozostających. Prz. Tech. Roln. Leś., 11: 20-21.
- PORTER B. 1995: Udostępnienie drzewostanów szlakami zrywkowymi. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 57-63.
- PORTER B. 1997: Techniczne, ekonomiczne i przyrodnicze aspekty zrywki drewna w sosnowych drzewostanach przedrębnych. Fundacja "Rozwój SGGW". Warszawa.
- PTL 1995: Wnioski z sympozjum "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 102-104.
- PUTKISTO K. 1986: Biological consequences of mechanized timber harvesting. Helsinki. Masz. dla FAO: 1-13.
- RADZIMIŃSKI S. 1963: Zależność rozmiaru szkód w odnowieniach podokapowych od sposobu ścin-ki, zrywki oraz rozmieszczenia drzew i podrostu. Dział Wydawnictw SGGW. Warszawa. strony 1-81.
- RYKOWSKI K. 1974: Występowanie sinizny w miejscach zawieszania zbiorników żywiczarskich. Pr. Inst. Bad. Leś., 458: 13-42.
- RZADKOWSKI S. 1996: Wpływ operacji technologicznych na wydajność pracy i koszty pozyskiwania drewna małowymiarowego w cięciach pielęgnacyjnych w drzewostanach sosnowych. Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A, 815: 38-79.
- RZADKOWSKI S. 1997: Projektowanie i znaczenie szlaków operacyjnych w pozyskiwaniu drewna. Post. Tech. Leśn., 62: 23-29.
- RZADKOWSKI S., JODŁOWSKI K. 1997: Procesy technologiczne pozyskiwania drewna w trzebieżach wczesnych drzewostanów sosnowych. Materiały i dokumenty Kongresu Leśników Polskich, tom II, cz. 2. Warszawa: 118-121.
- SAUTER U. H., BUSMANN C. 1994: Bestandesschäden bei der Durchforstung von Fichtenbeständen mit Kranvollerntern unter Berücksichtigung unterschiedlicher Rückegassenabstände. Forsttechn. Inf., 12: 137-141.
- SCHACK-KIRCHNER H., HILDEBRAND E. E. 1994: Wie läßt sich das Vorsorgeprinzip bei Holzernte-konzepten berücksichtigen? Allg. Forst Zeitschr., 13: 720-722.
- SCHÖTTLE R., PFEIL C., SAUTER F. 1977: Leistung und Einsatzmöglichkeiten der Raupenharvesters in der Durchforstung. AFZ Der Wald, 22: 1179-1181.
- SCHWIETERT 1994: Lesermeinungen zu "Rückegassenabstände – ein heißes Eisen". Forsttechn. Inf., 12: 145-146.
- SIEROTA Z. 1995: Rola grzyba *Phlebiopsis gigantea* (FR.: FR.) Jülich w ograniczaniu huby korzeni w drzewostanach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) na gruntach porolnych. Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A, 810: 1-188.
- SIREN M. 1991: An example of calculation the cost of harwesting damage to the stand. The Finnish Forest Research Institute. Helsinki. 919: 1-15).
- SOSNOWSKI J. 1997: Model wyboru optymalnego środka do zrywki drewna. Roczn. Ak. Roln. w Poznaniu. Rozprawy Naukowe, 276: 1-117.
- STAJNIAK J. 1992: Aktualne problemy pozyskiwania drewna w Polsce. Mat. konf. "Stan i perspektywy trwałego użytkowania lasu w Polsce". Warszawa: 29-32.

- STAJNIAK J. 1994: Tendencje pozyskiwania drewna w technice i technologii. Post. Tech. Leś., zeszyt specjalny: 45-52.
- STAJNIAK J. 1995: Nowe trendy w pozyskiwaniu drewna. Mat. konf. "Model optymalnych dla środowiska procesów technologicznych pozyskiwania drewna". Warszawa: 12-15.
- STAJNIAK J., SUWAŁA M. 1997a: Metody i procesy technologiczne pozyskiwania drewna. Materiały Rady Leśnictwa przy Ministrze Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa "Produkcja drewna w lasach oraz jego znaczenie w gospodarce narodowej". Sękocin: 1-17.
- STAJNIAK J., SUWAŁA M. 1997b: Problemy i kierunki rozwoju pozyskiwania drewna. Materiały i dokumenty Kongresu Leśników Polskich, t. II, cz. 2. Warszawa: 76-79.
- SUWAŁA M. 1992: Uszkodzenia nadziemnych części drzew w późnych trzebieżach drzewostanów iglastych. Mat. konf. "Stan i perspektywy trwałego użytkowania lasu w Polsce". Warszawa: 59-64.
- SUWAŁA M. 1994: Damages to overground portions of trees and soil surface changes in late thinnings of a pine stand. Sympozjum IUFRO, FAO/ECE/ILO, EU "Soil, tree, machine interactions". Feldafing, 1-9.
- SUWAŁA M. 1995a: Wpływ zrywki na uszkodzenia drzew w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych. Mat. semin. "Technika w proekologicznej gospodarce leśnej". Warszawa: 1-10.
- SUWAŁA M. 1995b: Wpływ metod pozyskania i gęstości szlaków zrywkowych na uszkodzenia drzew w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 67-73.
- SUWAŁA M. 1995c: Wpływ wybranych metod i środków pozyskiwania drewna na uszkodzenia nadziemnych części drzew oraz powierzchniowych warstw gleby w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych. Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A, 786: 59-71.
- SUWAŁA M. 1996: Pozyskiwanie drewna metodą sortymentową. Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. B, 30: 63-76.
- SUWAŁA M. 1997a: Prośrodowiskowe procesy technologiczne pozyskiwania drewna w późnych trzebieżach drzewostanów sosnowych. Materiały i dokumenty Kongresu Leśników Polskich, t. II, cz. 2. Warszawa: 122-125.
- SUWAŁA M. 1997b: Einfluß verschiedener Erntevarianten auf Baum- und Bodenschäden bei der Durchforstung in Kiefernbeständen. Forsttechn. Inf., 9: 114-117.
- SUWAŁA M. 1997c: Proces technologiczny pozyskania drewna w późnych trzebieżach. Post. Tech. Leś., 62: 37-45.
- SUWAŁA M. 1997d: Off-road transportation means impact on tree damages in late thinnings of pine stands. [W]: Forest Operations and Environmental Protection. Proceedings of Symposium organized by IUFRO Projekt Group P3.11.00 at the XX IUFRO World Congress, 6-12 August 1995, Tampere, Finland. IUFRO, Forest Service, Southern Research Station, Auburn (USA): 217-226.
- SUWAŁA M. 1998: Kryteria oceny procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trwałej i zrównoważonej gospodarce leśnej. Materiały sympozjum "Użytkowanie lasu i problemy regulacji użytkowania lasu w Polsce". Warszawa: 101-106.
- SUWAŁA M., DOBROWOLSKA D., FARFAŁ D., OLEJARSKI I. 1995: Przyjazny dla drzewostanu proces technologiczny pozyskiwania drewna w późnych trzebieżach. Materiały konferencji "Model optymalnych dla środowiska procesów pozyskiwania drewna". Warszawa: 40-51.
- SUWAŁA M., FARFAŁ D., DOBROWOLSKA D., JÓZEFACIUK W., ŻÓLCIAK A., OSZAKO T., SIEROTA Z., OLEJARSKI I., WALENDZIK R. J., ZACHARA T., JODŁOWSKI K., SZUBA T., GNIADY R. 1996: Wpływ techniki i technologii pozyskiwania drewna na wybrane elementy środowiska leśnego. Dok. Inst. Bad. Leśn. Warszawa, 1-57.
- SUWAŁA M., JODŁOWSKI K., RZADKOWSKI S. 1997: Thinning in pine stands – mechanical damages and harvesting costs. Workshop proceedings "New trend in thinnings". Forest Research Insti-

- tute Slovakia and Joint FAO/ECE/ILO Committee on Forest Technology, Management and Training. Zvolen: 45-53.
- WÄSTERLUND I. 1989: Effect of damage on the newly thinned stand due to mechanized forest operations. Proceedings of the Seminar on the Impact of mechanization of forest operations to the soil. Louvain-la-Neuve (Belgium): 164-175.
- WÄSTERLUND I. 1990: Damage to the ground and the stand after mechanized cleaning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsatser och Resultat, 193: 1-46.
- WÄSTERLUND I. 1991: Demonstration and discussion on how to measure soil disturbance and soil compaction in forestry. IUFRO Project group P3.08.00. Organizational meeting in Norway: 1-5.
- WÄSTERLUND I. 1992: Extent and Causes of Site. Damage due to Forestry Traffic. Scand. J. For. Res., 7: 135-142.
- WEBER E. 1994: Lesermeinungen zu "Rückegassenabstände – ein heißes Eisen". Forsttechn. Inf., 12: 144-145.
- WEIXLER H. 1994: Bodenschäden durch Befahren von Waldböden? Allg. Forst Zeitschr., 13: 725-726.
- WEIXLER H., FELER S., SCHAUER H. 1997: Der Raupen-Harvester IMPEX 1650 T "Königster" im Einsatz. AFZ Der Wald, 22: 1182-1184.
- WIĘSIK J. 1995a: Maszyny w środowisku leśnym – zagrożenie czy zwiększenie produktywności lasu. Mat. semin. "Technika w proekologicznej gospodarce leśnej". Warszawa: 1-20.
- WIĘSIK J. 1995b: Maszyny i urządzenia w proekologicznych technologiach pozyskiwania drewna. Mat. konf. "Model optymalnych dla środowiska procesów pozyskiwania drewna". Warszawa: 16-21.
- WIĘSIK J. 1995c: Szlaki technologiczne w świetle stosowanych środków technicznych i systemów pozyskiwania drewna. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 78-95.
- WIĘSIK J. 1996: Możliwości doboru maszyn przyjaznych dla środowiska leśnego. Prz. Tech. Rol. Leś., 1: 13-15.
- WIĘSIK J. 1997: Technologiczne i ekonomiczne problemy wyboru wykonawcy prac leśnych. Prz. Tech. Rol. Leś., 1: 20-21.
- ZARZYCKI S. 1995: Zasady projektowania sieci szlaków zrywkowych i składnic przyrębowych. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 86-97.
- ZIMMERMANN M. H., BROWN C. L. 1981: Drzewa, struktura i funkcje. PWN, Warszawa.
- ŻÓŁCIAK A. 1997: Występowanie grzybów na strzałach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) w obrębie ran powstałych przy wykonywaniu prac trzebieżowych. Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A, 833: 85-102.
- ŻYBURA H. 1995: Rola szlaków zrywkowych przy różnych rodzajach rębni. Mat. symp. "Proekologiczne i produkcyjne funkcje szlaków operacyjnych we współczesnej gospodarce leśnej". Warszawa: 98-101.