

DIETER F. GIEFING<sup>1</sup>, MARIUSZ BEMBENEK<sup>1</sup>, MAREK GACKOWSKI<sup>1</sup>,  
WITOLD GRZYWIŃSKI<sup>1</sup>, ZBIGNIEW KARASZEWSKI<sup>2</sup>, IZABELA KLENTAK<sup>1</sup>,  
JACEK KOSAK<sup>1</sup>, PIOTR S. MEDERSKI<sup>1</sup>, SYLWIA SIEWERT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Użytkowania Lasu  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

<sup>2</sup>Zakład Badania i Zastosowań Drewna  
Instytut Technologii Drewna w Poznaniu

## OCENA PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH POZYSKIWANIA DREWNA W TRZEBIEŻACH PÓŻNYCH DRZEWOSTANÓW SOSNOWYCH. METODOLOGIA BADAŃ\*

EVALUATION OF THINNING OPERATIONS IN OLDER PINE STANDS.  
RESEARCH METHODS

**Streszczenie.** Badania procesów technologicznych pozyskiwania drewna prowadzone w wielu ośrodkach naukowych umożliwiły opracowanie zróżnicowanych metod badań. Celem niniejszej publikacji jest sformułowanie koncepcji metod prowadzenia badań związanych z oceną procesów technologicznych pozyskiwania drewna uwzględniającą aspekty: ekologiczny, ergonomiczny oraz ekonomiczny (3E). Szczególnie wiele uwagi poświęcono aspektom ekologicznym, których metodyka badań dotychczas zastała opublikowana w ograniczonym zakresie. Zasady prowadzenia badań, zarówno ekologicznych, jak i ergonomicznych i ekonomicznych, omówiono z wykorzystaniem literatury przedmiotu. Przykładowe wyniki badań wskazują na celowość prowadzenia wieloaspektowych ocen procesów technologicznych i jednocześnie dokumentują korzyści wynikające ze stosowania zmechanizowanych procesów technologicznych pozyskiwania drewna.

**Słowa kluczowe:** pozyskiwanie drewna w trzebieżach, aspekty: ekologiczny, ergonomiczny i ekonomiczny pozyskiwania drewna w trzebieżach, ocena procesów technologicznych

---

\*W opracowaniu wykorzystano wyniki badań Projektu Badawczego Zamawianego Nr 24/98 pt.: „Badania zmierzające do opracowania optymalnych technologii pozyskiwania drewna w cięciach przedrębnych drzewostanów iglastych” zrealizowanego w latach 1998-2000 przez zespół badawczy w składzie: Dieter F. Gieffing (kierownik projektu), Mariusz Bembenek, Marek Gackowski, Ryszard Hołota, Zbigniew Karaszewski, Izabela Klentak, Jacek Kosak, Sylwia Siewert.

## Wstęp

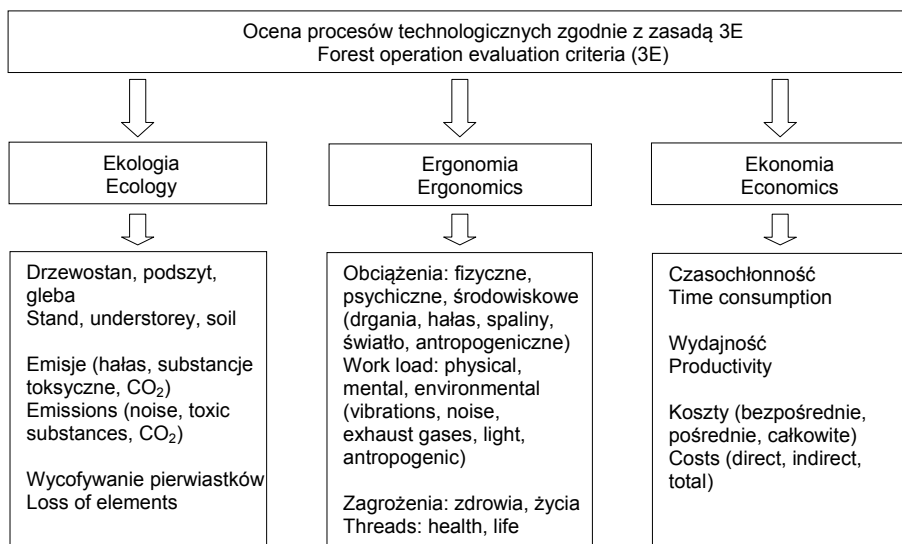
Zasady oceny procesów technologicznych nie są rozumiane w sposób jednoznaczny przez specjalistów zajmujących się tym zagadnieniem. Dla wykonawcy prac (przedsiębiorcy) podstawowym kryterium oceny jest ekonomiczna efektywność zastosowanego procesu oraz w mniejszym stopniu poziom humanizacji pracy. Dla osób zajmujących się oceną maszyn kryteriami są wybrane aspekty z zakresu ekologii (np. naciski jednostkowe kół), ergonomii (np. uwarunkowania antropometryczne, emisja drgań) i ekonomii (m.in. czasochłonność, wydajność, koszty amortyzacji i eksploatacji maszyn). Wobec poglądów o potrzebie opracowania i przyjęcia metod wieloaspektowych badań procesów technologicznych w leśnictwie specjaliści prezentują czasem pewnego rodzaju zaniepokojenie lub wręcz poczucie zagrożenia dla już opanowanych i praktycznie stosowanych metod oceny maszyn.

Dla leśnika maszyna jest jedynie jednym z ogniw w procesie technologicznym przyjętym dla realizacji określonych zadań. Wyniki oceny wybranych aspektów pracy maszyny zastosowanej w procesie technologicznym nie wykluczają potrzeby prowadzenia badań całych procesów technologicznych, w których oceniana maszyna służy do wykonania jednej lub kilku faz procesu. Wyniki tej oceny mogą stanowić materiał źródłowy w ocenie określonych operacji procesu technologicznego realizowanego z użyciem danej maszyny. Leśnika w mniejszym stopniu interesują pojedyncze wyniki pomiarów, np. wielkość nacisków jednostkowych kół na glebę. Znacznie bardziej interesujący jest stopień uszkodzenia gleb w następstwie pozyskiwania drewna z wykorzystaniem danej maszyny. Za niezbędne uznać należy więc prowadzenie kompleksowych badań uwzględniających wszystkie możliwe do pomiaru i oceny aspekty towarzyszące realizacji procesów technologicznych: ekologię, ergonomię oraz ekonomię (3E).

Przyjęcie w badaniach procesów technologicznych zasady 3E (rys. 1) miało charakter ewolucyjny. Pierwsze badania z tego zakresu, realizowane w latach 1985-1990 (KUBIAK i IN. 1990, GIEFING 1990) obejmowały wyłącznie i nie w pełnym zakresie, problematykę ekologiczną. Zasada 3E, sformułowana nieco później przez Giefinga, była prezentowana przez jej autora przede wszystkim w procesie dydaktycznym, a w praktyce badawczej zastosowano ją w rozprawach doktorskich (MANA 1995, HOŁOTA 1998). Potrzeba prowadzenia badań z wykorzystaniem tej zasady została przedstawiona przez Giefinga m.in. na konferencjach w Poznaniu (GIEFING 1999 a), Zwoleniu (GIEFING 1997), Monachium (GIEFING 1998) i Fryburgu (GIEFING i HOŁOTA 1999).

Aby ocena procesów technologicznych umożliwiała ich zweryfikowanie pod kątem określonych priorytetów, wymagane jest przebadanie szerokiego spektrum zagadnień (rys. 1), bardzo istotnych z punktu widzenia potrzeby ich porównywania. Należy zauważyć, że przedstawione zestawienie nadal wymaga rozszerzenia i uściślenia, przede wszystkim w zakresie metod badawczych. Bardzo często przy weryfikacji jednego kryterium posługujemy się kilkoma metodami, np. przy badaniu gleb ocenia się zakłócenie ich powierzchni oraz zmiany gęstości i podatności na penetrację. Jednoznaczne wyważenie uzyskiwanych wyników jest trudne, wymaga znacznego doświadczenia. Próby matematycznego ujęcia tego problemu w zakresie ocen ergonomicznych dokonali Zeyland (BIELSKI i IN. 1987), SOWA (1999), GRZYWIŃSKI (2003) i LESZCZYŃSKI (2010, 2011). Przykładami prób ujęcia wyników badań w formie odpowiednich (porównywal-

Giefing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.



Rys. 1. Kryteria oceny procesów technologicznych w gospodarstwie leśnym  
Fig. 1. Forest operation evaluation criteria

nych) współczynników mogą być także publikacje GIEFINGA (1999 a) oraz GIEFINGA i HOŁOTY (1999). Mimo że w publikowanych badaniach obliczone współczynniki okazały się bardzo przydatne, wymagają one weryfikacji i ewentualnego rozwinięcia w kolejnych badaniach.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie metod badań z wykorzystaniem kompleksowej – zgodnej z 3E – oceny procesów technologicznych pozyskiwania drewna na przykładzie prac zrealizowanych w trzebieżach drzewostanów sosnowych IV klasy wieku.



## Material i metody

W prezentowanym opracowaniu ograniczono się do porównania zmechanizowanego procesu pozyskiwania drewna (z zastosowaniem harwestera i forwardera) z technologią ręczno-maszynową (z zastosowaniem pilarki do ścinki drzew, okrzesywania i przeryzynki oraz skidera LKT do zrywki drewna) (rys. 2).


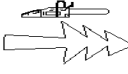
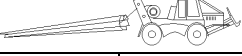

Zadania realizowano na terenie nadleśnictw Gidle (technologia zmechanizowana) i Zamrzenica (technologia ręczno-maszynowa). W trakcie pozyskiwania drewna prowadzono chronometraż pracy robotników zatrudnionych w procesie technologicznym. Zgromadzone w ten sposób wyniki umożliwiły sporządzenie fotografii dnia pracy. Czas trwania poszczególnych czynności zaszeregowano do określonych kategorii czasu pracy zgodnie z normą BN-76/9195-01. Schemat blokowy klasyfikacji czasu pracy (tab. 1).

a

Zasięg żurawia harwestera: 14 m, odstęp między szlakami operacyjnymi: 20 m  
Crane reach: 14 m, distance between strip roads: 20 m

Operacja Operation	Przy pniu Next to tree	Szlak Strip road	Droga Road
Faza 1. (operator harwestera): ścinka, okrzesywanie, przerzynka i układanie sortymentów Stage 1 (harvester operator): cutting, delimiting, cross-cutting and wood piling			
Faza 2. (operator forwardera): zrywka forwarderem Stage 2 (forwarder operator): forwarding			

b

Operacja Operation	Przy pniu Next to tree	Droga Road
Faza 1. (drwal z pomocnikiem): ścinka drzew pilarką Stage 1 (operator with assistant): felling with chainsaw		
Faza 1. (drwal z pomocnikiem): korowanie pniaków, okrzesywanie pilarką Stage 1 (operator with assistant): debarking of stumps, delimiting		
Faza 2. (operator skidera): zrywka całych dłużyc Stage 2 (skidder operator): long-wood skidding		
Faza 3. (drwal z pomocnikiem): przerzynka i układanie stosów na składnicy przyrębowej Stage 3 (chainsaw operator with assistant): cross-cutting and wood piling		

Rys. 2. Poddane ocenie procesy technologiczne pozyskiwania drewna: a – zmechanizowany, b – ręczno-maszynowy

Fig. 2. Evaluated forest operations: a – mechanised, b – with chainsaw

Wyniki fotografii dnia pracy stanowią podstawę wielu dalszych obliczeń umożliwiających określenie potrzebnych wartości, m.in.: czasu emisji hałasu, czasu emisji spalin, wydajności i czasochłonności prac, obciążeń energetycznych obliczanych metodą tabelaryczno-chronometryczną.

### Ekologiczne aspekty pozyskiwania drewna

Do badań wyznaczono powierzchnie próbne 0,25 ha o boku  $50 \times 50$  m. W technologii zmechanizowanej szlaki wyznaczono w odstępach co 20 m, natomiast w ręczno-maszynowej co 30-35 m.

### Drzewostan

Na powierzchniach próbnych określono liczbę uszkodzonych i zniszczonych drzew z uwzględnieniem miejsca uszkodzenia oraz głębokości rany (otarcia kory, uszkodzenia łyka, uszkodzenia drewna). Uszkodzenia zaszeregowano do odpowiednich klas (tab. 2), co umożliwiło wyliczenie procentowego udziału drzew uszkodzonych oraz ważonego współczynnika uszkodzenia drzewostanu ( $W$ ):

Giefling D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.

Tabela 1. Schemat blokowy klasyfikacji czasu pracy (BN-76/9195-01)  
Table 1. Work time classification diagram (BN-76/9195-01)

T <sub>08</sub>	T <sub>07</sub>	T <sub>04</sub>	T <sub>02</sub>	T <sub>1</sub>	Czas efektywny Effective time		
Czas zmiany kontrolnej – Time of controlled shift	Ogólny czas zmiany – General time of shift	Roboczy czas zmiany – Work shift time	Operacyjny czas pracy Operational time of work	T <sub>2</sub>	Czas pomocniczy Additional time	T <sub>21</sub>	Czas nawrotów Moving time
						T <sub>22</sub>	Czas przejazdów jałowych w miejscu pracy Time of neutral moving in working place
						T <sub>23</sub>	Czas przestojów technologicznych Time of operational breaks
			T <sub>3</sub>	Czas obsługi technicznej Time of technical service	T <sub>31</sub>	Czas codziennej obsługi technicznej Time of everyday technical service	
					T <sub>32</sub>	Czas przygotowania maszyny do pracy Time of preparing machine to work	
					T <sub>33</sub>	Czas przeprowadzania regulacji Adjusting time	
			T <sub>4</sub>	Czas usuwania usterek Time of malfunction repair	T <sub>41</sub>	Czas usuwania usterek technologicznych Time of operation malfunction repair	
					T <sub>42</sub>	Czas usuwania usterek technicznych Time of technical malfunction repair	
			T <sub>5</sub>	Czas odpoczynku Break time	Czas zużywany na odpoczynek i potrzeby fizjologiczne Time for rest and physiological needs		
			T <sub>6</sub>	Czas przejazdów transportowych Time of machine transportation	T <sub>61</sub>	Czas przejazdu z miejsca postoju na pole i z powrotem Time for moving from storage place to the working field and back	
		T <sub>62</sub>			Czas przejazdów z pola na pole Time of moving from field to field		
		T <sub>7</sub>	Czas codziennej obsługi technicznej maszyn towarzyszących Time of technical service of other machines				
		T <sub>8</sub>	Straty czasu z przyczyn niezależnych od badanej maszyny Wasted time with no connection to the machine	T <sub>81</sub>	Straty czasu z przyczyn organizacyjnych Wasted time due to bad work organisation		
T <sub>82</sub>	Straty czasu z przyczyn meteorologicznych Wasted time due to meteorological reasons						
T <sub>83</sub>	Straty czasu z innych przyczyn Wasted time due to other reasons						

Tabela 2. Klasy uszkodzeń drzew  
Table 2. Tree damage classes

Klasa uszkodzenia Damage class	Miejsce uszkodzenia Place of damage		Rodzaj uszkodzenia Damage type
1	Kora Bark	Pień lub szyja korzeniowa Bole (trunk) or root neck	Otarcia kory Bark scratch
2	Kora Bark	Korzenie Roots	Otarcia kory Bark scratch
3	Łyko Cambium	Pień lub szyja korzeniowa Bole (trunk) or root neck	Zdarta kora, odsłonięte lub uszkodzone łyko Scatched bark, opened or damaged cambium
4	Łyko Cambium	Korzenie Roots	Zdarta kora, odsłonięte lub uszkodzone łyko Scatched bark, opened or damaged cambium
5	Drewno Wood	Pień lub szyja korzeniowa Bole (trunk) or root neck	Uszkodzenia włókien drewna Wood fibres wounded
6	Drewno Wood	Korzenie Roots	Uszkodzenia włókien drewna Wood fibres wounded
7	Drzewo Tree	Przygięte Bent	Widoczne przygięcie drzewa z dużą szansą dalszego rozwoju Slightly tree bent with opportunity for further development
8	Drzewo Tree	Silnie przygięte Bent significantly	Znaczne przygięcie drzewa z niewielką szansą dalszego rozwoju Significantly tree bent with small chance for further development
9	Drzewo Tree	Zniszczone Damaged	Złamane lub wyrwane drzewo Broken or pulled-off tree

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

gdzie:

$I$  – liczba drzew uszkodzonych na powierzchni próbnej,

$R$  – klasa uszkodzenia drzew (od 1 do 9),

$N$  – całkowita liczba drzew na powierzchni próbnej po przeprowadzonym zabiegu.

#### *Podszyt, podrost, nalot<sup>1</sup>*

Na powierzchniach próbnych (50 × 50 m) należy wyznaczyć 36 punktów węzłowych, będących wynikiem nałożenia na powierzchnię teoretycznej siatki o bokach 10 × 10 m. Rozmiar szkód w nalocie, podroście lub podszycie należy ustalić, inwentaryzując uszkodzenia drzewek w punktach węzłowych na powierzchniach kołowych o średnicy 2 m. Inwentaryzacji szkód należy dokonać na podstawie pięciopunktowej skali:

<sup>1</sup>Przedstawione w publikacji przykładowe wyniki nie obejmują podszytu, podrostu i nalotu – metody opisano jako możliwe do zastosowania.

Giefling D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.

- 1 – brak widocznego uszkodzenia,
- 2 – otarcie kory bez naruszenia miazgi albo częściowe uszkodzenie igliwia lub liści,
- 3 – zderzenie kory do drewna,
- 4 – nadłamanie strzałki lub częściowe naderwanie systemu korzeniowego albo całkowita utrata igieł lub liści,
- 5 – zniszczenie drzewka przez złamanie strzałki lub wyrwanie z gleby.

#### *Runo leśne<sup>2</sup>*

Rozmiar szkód powstałych w runie leśnym należy ustalić, inwentaryzując procentowy udział uszkodzonego runa w punktach węzłowych na powierzchniach kołowych o średnicy 2 m.

#### Gleba

##### *Uszkodzenia*

Oceny stanu gleby dokonano w 36 punktach węzłowych, według siedmiopunktowej skali (tab. 3).

Tabela 3. Klasyfikacja uszkodzeń gleb

Table 3. Soil damage classification

Rodzaj uszkodzenia Damage type	Stan gleby Soil condition	Klasa uszkodzenia Damage class
Gleba niezakłócona No soil disturbances	Ściółka zachowana, brak śladów ubicia Soil litter without disturbances, no traces of compaction	0
	Ściółka naruszona, brak śladów ubicia Soil litter with disturbances, no traces of compaction	1
Gleba lekko zniszczona Small soil disturbances	Ściółka usunięta, gleba mineralna odsłonięta, niezakłócona Litter removed, mineral soil opened but not disturbed	2
	Gleba mineralna wymieszana ze ściółką Mineral soil mixed with deeper layers	3
	Gleba mineralna przykrywa ściółką i odpady zrębowe warstwą do około 5 cm Mineral soil is on litter and on harvesting residues up to 5 cm	4
Gleba głęboko zniszczona Significant soil disturbances	Gleba powierzchniowo usunięta, głębsze warstwy odsłonięte, powierzchnia gleby bardzo rzadko pokryta ściółką lub odpadami zrębowymi Soil surface removed, deeper layers opened, soil surface rarely covered with litters or with harvesting residues	5
Gleba ubita Soil compacted	Wyraźne ślady ubicia przez pojazdy zrywkowe lub ładunek Clear traces of compaction by extracting machines or extracted timber	6

<sup>2</sup>Przedstawione w publikacji przykładowe wyniki nie obejmują runa – metody opisano jako możliwe do zastosowania.

W celu porównania powierzchni badawczych, na których prowadzono pozyskiwanie drewna z zastosowaniem odmiennych technologii, opracowano wzór na ważony współczynnik zakłócenia powierzchni gleby ( $Wpg$ ) (GIEFING 1998):

$$Wpg = \frac{\sum_{S=1}^6 S \cdot n}{2,16}$$

gdzie:

- $S$  – klasa uszkodzenia gleby (od 1 do 6),
- $n$  – liczba punktów węzłowych w danej klasie uszkodzenia gleby,
- 2,16 – współczynnik umożliwiający określenie stanu gleby w stustopniowej skali przy 36 punktach węzłowych.

### Gęstość

W celu oceny zmian gęstości gleby dwukrotnie określano jej ciężar właściwy – przed przystąpieniem do prac i po ich zakończeniu. Pobrano za pomocą cylinderków o pojemności 100 cm<sup>3</sup> po dziewięć próbek gleby na każdej powierzchni próbnej. Glebę pobierano z warstwy mineralnej, po usunięciu próchnicy z jej powierzchni. Próbkę wysuszono w suszarce i po ich wystudzeniu ważono z dokładnością do 0,01 g. Do oceny zwięzłości gleby wykorzystano ponadto penetrometr Eijkelkamp (Agrisearch Equipment, Holandia) ze stożkiem o powierzchni 1 cm<sup>2</sup>, którym przed wykonaniem prac i po ich zakończeniu mierzono zwięzłość gleby na głębokości 10, 20, 30 i 40 cm.

Dokonano także wyliczenia ważonego współczynnika uszkodzenia gleby ( $Wug$ ) za pomocą wyników oceny przyrostu gęstości gleby (GIEFING 1999 b):

$$Wug = \frac{Wpg \cdot Npg + 300G \cdot Ng}{Npg + Ng}$$

gdzie:

- $Wpg$  – ważony współczynnik zakłócenia gleby,
- $Npg$  – całkowita liczba punktów węzłowych,
- 300 – współczynnik umożliwiający uzyskanie porównywalnych wartości współczynnika zakłócenia powierzchni gleby i przyrostu gęstości gleby,
- $G$  – średni przyrost gęstości gleby (g/cm<sup>3</sup>),
- $Ng$  – liczba pomiarów przyrostu gęstości gleby.

Obliczone współczynniki umożliwiają liczbową ocenę poszczególnych technologii prac pod względem ich uciążliwości dla gleb. Jednocześnie umożliwiają ich uszeregowanie według uciążliwości.

### Hałas

Badanie zakłócenia środowiska hałasem w trakcie pozyskiwania drewna polegało na ocenie:

1) widma i ciśnienia akustycznego; dokonywano pomiaru ciśnienia Lin i widma akustycznego wywołanego pracą poszczególnych urządzeń w zakresie od 31,5 do 16 000 Hz, pomiary przeprowadzono za pomocą sonometru z filtrem oktawowym w odległości 1 m od źródła emisji,



2) zasięgu oddziaływania hałasu poprzez pomiar natężenia dźwięku w podwajanych odległościach od źródła emisji (1, 2, 4, 8 m itd. aż do punktu, w którym poziom fali akustycznej wywołany badanym urządzeniem był wyższy od ciśnienia akustycznego tła); określono jednocześnie średni spadek natężenia hałasu w lesie,

3) czasu zakłócania środowiska hałasem z uwzględnieniem miąższości pozyskanego drewna i wielkości powierzchni manipulacyjnej; w tym celu na podstawie chronometrażu ciągłego sporządzono fotografię dnia roboczego, pomierzono miąższość pozyskanego drewna i powierzchnię drzewostanu, na której wykonano prace.

Aby umożliwić porównywanie stresującego oddziaływania pozyskiwania drewna na środowisko, obliczono dla poszczególnych faz procesu technologicznego współczynnik hałaśliwości ( $W_{dB}$ ):

$$W_{dB} = 0,01dB_1 \cdot P_A \cdot T$$

gdzie:

$dB_1$  – ciśnienie fali akustycznej w odległości 1 m od źródła hałasu (dB),

$P_A$  – wielkość pola akustycznego (ha),

$T$  – czas emisji przy pielęgnacji 1 ha drzewostanu ( $W_{dB}$  na 1 ha) lub przy pozyskiwaniu 1 m<sup>3</sup> drewna ( $W_{dB}$  na 1 m<sup>3</sup>).

Sumę współczynników obliczonych dla wszystkich faz procesu technologicznego uznano za miarę hałaśliwości realizowanych cięć pielęgnacyjnych (GIEFING i HOŁOTA 1999, GIEFING 2001). Uzyskane wyniki umożliwiają weryfikację technologii z punktu widzenia ich hałaśliwości.

#### Paliwa, spaliny i oleje

Określono ilość paliw i olejów zużytych w trakcie wykonywania poszczególnych operacji technologicznych. Ilość wyemitowanych w postaci spalin i olejów substancji toksycznych określono na podstawie zużytych paliw i olejów oraz czasu pracy poszczególnych urządzeń.

Masę substancji toksycznych wyemitowanych przez urządzenia napędzane silnikami wysokoprężnymi określono z wykorzystaniem danych literaturowych (BERNHARDT i IN. 1971). Na ich podstawie sporządzono tabelę przedstawiającą ilość toksycznych składników wyemitowanych przez silniki w wyniku spalania 1 l oleju napędowego (tab. 4). Do oceny masy substancji toksycznych wyemitowanych przez silniki pilarek spalinowych wykorzystano wyniki badań STRUMA (1988), w których określił on poziom emisji różnego rodzaju substancji w gazach spalinowych podczas pozorowanego procesu pracy siedmiu typów pilarek (tab. 5).

Z wykorzystaniem zgromadzonych w ten sposób materiałów źródłowych obliczono zużycie paliw oraz wielkość emisji substancji toksycznych. Określane wielkości przedstawiono w przeliczeniu na jednostkę powierzchni oraz na 100 m<sup>3</sup> pozyskanego drewna. Obliczono także zużycie paliw podczas wykonywania poszczególnych operacji technologicznych w czasie operacyjnym i w czasie zmiany kontrolnej.

Giefing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.

Tabela 4. Ilość toksycznych składników gazów spalinowych emitowanych podczas spalania 1 l paliwa (BERNHARDT i IN. 1971)

Table 4. Quantity of toxic ingredients in exhaust gases emitted after combustion of 1 l of fuel (BERNHARDT et AL. 1971)

Składnik Ingredient	Benzyna Petrol (g)	Olej napędowy Diesel oil (g)	Zagrożenie Threat	
			flora	fauna
Tlenek węgla Carbon monoxide	350,00	20,00	-	+
Węglowodory Hydrocarbons	50,00	39,00	+	+
Tlenki azotu Nitrogen oxides	17,00	23,00	+	+
Dwutlenki siarki Sulphur dioxides	0,60	8,00	+	+
Cząstki stałe Solid particulates	1,50	8,00	+	+

Tabela 5. Emisja spalin w pozorowanym procesie pracy (przeciętnie dla siedmiu pilarek) (STRUM 1988)

Table 5. Exhaust gas emission in mock working process (average for seven models of chainsaws) (STRUM 1988)

Skład spalin Exhaust gas composition	Ilość – Quantity (mg/min)
Węglowodory – Hydrocarbons	33 000,00
Benzol – BTEX	1 400,00
Formaldehyd – Formaldehyde	330,00
Acetaldehyd – Acetaldehyde	120,00
Czterometyl ołowiu – Tetramethyl lead	1,30
1,2-dwubromoetan – 1,2-dibromoethan	2,50
Ołów – Lead	7,90
Naftalen – Naphthalene	14,00
Benzopiren – Benzopyrene	< 0,005
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne Polycyclic aromatic hydrocarbons	75,00
CO	66 000,00
NO	45,00
NO <sub>x</sub>	50,00

### *Zużycie paliw i olejów*

Zużycie paliw i olejów pilarki określono na podstawie bezpośrednich pomiarów. Odnotowano liczbę pełnych zbiorników paliwa zużytych na powierzchni próbnej. Za pomocą kolby miarowej zmierzono objętość paliwa, które pozostało w zbiorniku po zakończeniu prac. W analogiczny sposób zmierzono zużycie oleju do smarowania prowadnicy.

W trakcie realizacji prac na powierzchniach badawczych w pilarkach stosowano mieszankę paliwową w proporcji: 1 część oleju na 50 części benzyny. Korzystając z tej informacji, obliczono zużycie oleju do smarowania silnika pilarki.

Zużycie paliwa przez ciągniki określono na podstawie godzinowych norm zużycia paliw. Za badany okres przyjęto czas pracy maszyn na powierzchni próbnej.

Zużycie paliwa przez harwester i forwader określono na podstawie odczytu z licznika zużycia paliwa.

Na podstawie tak zebranych materiałów źródłowych określono zużycie paliw i olejów:

- w litrach na 1 h efektywnego czasu pracy maszyny,
- w litrach na 1 ha powierzchni cięć pielęgnacyjnych,
- w litrach na 100 m<sup>3</sup> pozyskanego surowca.

### *Poziom emisji spalin i olejów*

Poziom emisji spalin i olejów obliczono, posługując się wynikami z pomiarów zużycia paliw i olejów. Dla maszyn posiadających silnik wysokoprężny całkowitą ilość wyemitowanych spalin obliczono na podstawie danych zestawiających udział związków toksycznych w 1 l spalonego oleju napędowego (BERNHARDT i IN. 1971) (tab. 4).

Wielkość substancji toksycznych wyemitowanych przez pilarkę (silnik z zapłonem iskrowym) określono na podstawie wyników badań STRUMA (1988) (tab. 5), w których podano wielkość emisji substancji toksycznych podczas spalania mieszanki paliwowej pilarki (benzyna i olej łącznie). Z tego względu w obliczeniach nie wyszczególniono ilości spalin emitowanych podczas spalania oleju do smarowania silnika. Przyjęto, że wielkość emisji olejów używanych do smarowania urządzenia tnącego pilarki spaliny jest równa ilości zużytego oleju, ponieważ w całości przedostaje się on do środowiska. W opracowaniu uwzględniono również stopień toksyczności związków chemicznych emitowanych w trakcie spalania paliw i olejów (tab. 6). Ilość poszczególnych składników spalin pomnożono przez odpowiadające im stopnie toksyczności (największe dopuszczalne stężenia).

Ilość substancji toksycznych oraz olejów wyemitowanych w czasie pozyskiwania drewna, w zależności od zastosowanego procesu technologicznego, przedstawiono:

- w kilogramach na 1 ha powierzchni cięć pielęgnacyjnych,
- w kilogramach na 100 m<sup>3</sup> pozyskanego surowca drzewnego,
- w kilogramach przeliczeniowego CO na 1 ha powierzchni cięć,
- w kilogramach przeliczeniowego CO na 100 m<sup>3</sup> pozyskanego surowca.

### *Ilość węgla wyemitowanego w postaci związków chemicznych podczas spalania paliw*

Ilość węgla wyemitowanego w związkach chemicznych podczas przeprowadzonych cięć pielęgnacyjnych obliczono, posługując się pomiarami zużycia paliw i olejów oraz

Tabela 6. Toksyczność względna głównych zanieczyszczeń powietrza spowodowana spalaniem paliw napędowych

Table 6. Relative toxicity of main air pollutants caused by fuel combustion

Zanieczyszczenie Pollution	Toksyczność względem CO Toxicity in relation to CO
Tlenek węgla CO – Carbon monoxide CO	1
Węglowodory C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> – Hydrocarbons C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	2
Dwutlenek siarki SO <sub>2</sub> – Sulphur dioxide SO <sub>2</sub>	28
Tlenek azotu NO <sub>x</sub> – Nitrogen oxide NO <sub>x</sub>	78
Cząstki stałe (pyły) – Solid particulates (dusts)	107

Tabela 7. Skład elementarny paliw i oleju smarowego (%)

Table 7. Elementary composition of fuels and gear oil (%)

Skład elementarny Elementary composition	Benzyna bezołowiowa Unleaded petrol	Olej napędowy Diesel oil	Olej smarowy Gear oil
C	86,10	86,80	87,00
H	13,30	13,00	12,00
N	0,005	0,07	0,20
O	0,50	0,04	0,20
S	0,02	0,05	0,50

danymi przedstawiającymi zawartość poszczególnych pierwiastków w paliwach i olejach<sup>3</sup> (tab. 7).

Znając zużycie poszczególnych paliw, ich gęstość (benzyna: 0,75 g/cm<sup>3</sup>, olej napędowy: 0,839 g/cm<sup>3</sup>) oraz wynikającą z ich składu elementarnego zawartość węgla, obliczono ilość węgla wyemitowanego w postaci związków chemicznych podczas spalania materiałów pędnych.

Ilość czystego węgla wyemitowanego do środowiska w czasie prac pozyskiwanych, w zależności od zastosowanego procesu technologicznego, przedstawiono:

- w kilogramach na 1 ha powierzchni cięć pielęgnacyjnych,
- w kilogramach na 100 m<sup>3</sup> pozyskanego surowca drzewnego.

<sup>3</sup>Analiza składu elementarnego paliw została opracowana na podstawie badań Zakładu Analitycznego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Rafineryjnego w Płocku (1998), natomiast analiza składu oleju smarowego – na podstawie danych Instytutu Technologii Nafty w Krakowie (1998).

## Węgiel wycofany wraz z pozyskaniem surowcem z obiegu w środowisku

Ilość węgla wycofanego ze środowiska obliczono na podstawie ilości surowca drzewnego pozyskanego w trakcie cięć. Znając wielkość pozyskania surowca na badanej powierzchni próbnej, obliczono miąższość pozyskanych sortymentów w przeliczeniu na 1 ha powierzchni cięć.

Przyjęto, że gęstość drewna sosnowego w stanie świeżym wynosi 0,70 g/cm<sup>3</sup> (KRZYSIK 1974). Na podstawie miąższości pozyskanego surowca i gęstości drewna sosnowego w stanie świeżym obliczono dla pozyskanego surowca masę suchą ( $M_s$ ):

$$M_s = \frac{M_{sw}}{Wb + 1}$$

gdzie:

- $M_{sw}$  – masa świeża (kg),
- $Wb$  – wilgotność bezwzględna (%).

Do wykonania obliczeń przyjęto, że wilgotność bezwzględna drewna sosny wynosi 83% (KRZYSIK 1974). Znając masę suchą surowca oraz procentową zawartość węgla w drewnie sosny w stanie absolutnie suchym: 49,6% (PROSIŃSKI 1984), obliczono ilość węgla wycofanego ze środowiska leśnego w trakcie realizacji poszczególnych procesów technologicznych. Na podstawie otrzymanych wyników obliczono ilość dwutlenku węgla wycofanego ze środowiska, przyjmując, że 1 kg węgla zawartego w drewnie odpowiada 3,6 kg dwutlenku węgla.

Uzyskane wyniki przedstawiono:

- w kilogramach na 1 ha powierzchni cięć pielęgnacyjnych,
- w kilogramach na 100 m<sup>3</sup> pozyskanego surowca.

## Ergonomiczne aspekty pozyskiwania drewna

Na podstawie fotografii dnia pracy określono czas ekspozycji robotników na hałas. Czerwonym kolorem oznaczono czas ekspozycji na hałas o ciśnieniu fali akustycznej większym od 85 dB(A). Ponadto:

- poziom wydatku energetycznego określono metodą tabelaryczno-chronometryczową,
- poziom obciążeń psychicznych określono w skali Zeylanda: od 1 do 5,
- dokonano oceny czasu ekspozycji na drgania z wykorzystaniem fotografii dnia pracy.

## Ekonomiczne aspekty pozyskiwania drewna

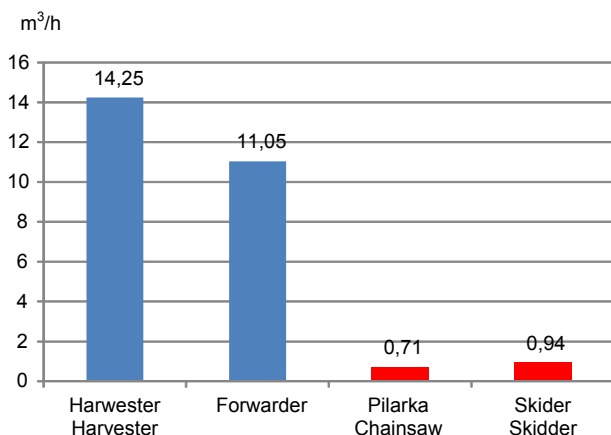
Koszty pozyskiwania i zrywki drewna wyliczono z wykorzystaniem wydajności obu etapów:

- określono wydajność pracy (tzn. miąższość pozyskanego i zerwanego drewna w przeliczeniu na jednostkę czasu pracy),
- określono koszty procesu technologicznego pozyskiwania drewna z uwzględnieniem kosztów i zysków nadleśnictwa oraz zakładu usług leśnych z podziałem na pozyskiwanie i zrywkę drewna.

## Wyniki

Zastosowane metody badawcze umożliwiły wieloaspektową analizę procesów technologicznych pozyskiwania drewna. Porównanie zmechanizowanej i ręczno-maszynowej technologii prac z zastosowaniem 3E wskazuje na celowość propagowania zmechanizowanych technologii prac.

Technologie zmechanizowane charakteryzowały się istotnie lepszymi wynikami wydajności (rys. 3) i kosztów (rys. 4) wykonanych prac. Szczególnie korzystne wyniki uzyskano w przypadku zrywki drewna forwarderem w porównaniu ze zrywką skiderem.



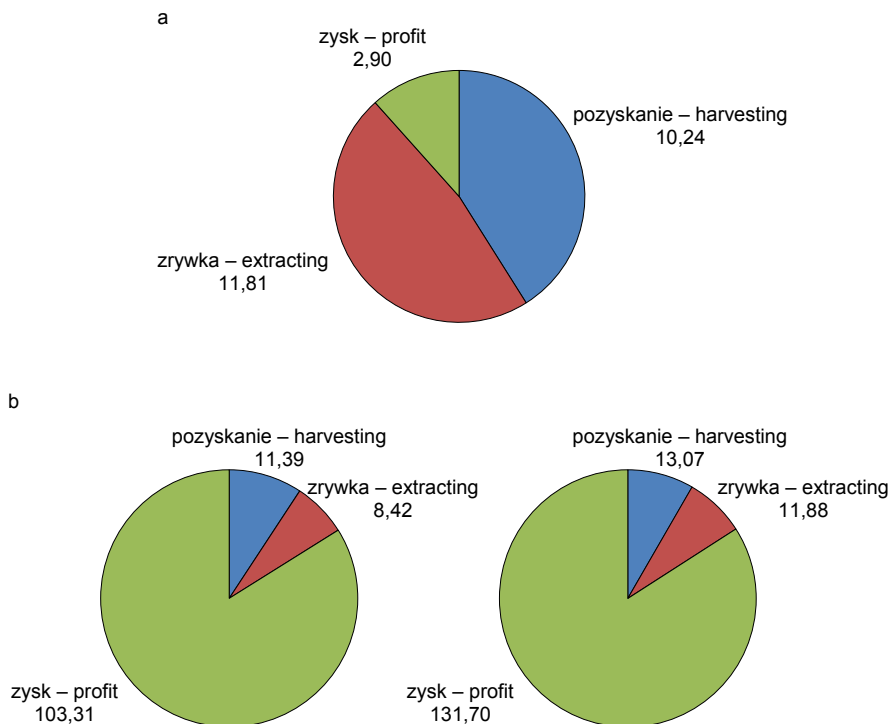
Rys. 3. Wydajność pozyskiwania drewna z zastosowaniem technologii zmechanizowanej i ręczno-maszynowej

Fig. 3. Timber harvesting productivity in mechanised and chainsaw operations

Na uwagę zasługują wyniki ergonomicznej oceny procesów technologicznych. Praca operatorów obsługujących maszyny w technologiach zmechanizowanych charakteryzowała się znacznie mniejszymi wydatkami energetycznymi (rys. 5). W technologiach zmechanizowanych zostało ponadto istotnie zminimalizowane ryzyko wypadku, co ma szczególnie duże znaczenie wobec wskazywanych w literaturze przedmiotu dużych zagrożeń wypadkiem przy pozyskiwaniu drewna w leśnictwie (MUSZYŃSKI 1996, JABŁOŃSKI 1998, KUSIAK i ROMANKOW 2002, GRZYWIŃSKI i IN. 2011). Warto także podkreślić znaczny komfort pracy w klimatyzowanej kabinie oraz nieprzekraczające obowiązujących norm drgania (rys. 5) i hałas (rys. 6). Do niekorzystnych zjawisk należy natomiast zaliczyć wyższy niż w technologiach ręczno-maszynowych poziom obciążeń psychicznych (rys. 6). Decyduje o tym wymagająca nieustannej koncentracji, a przy tym stosunkowo monotonna praca operatorów harwesterów i forwarderów.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono szeroką analizę ekologicznych aspektów pozyskiwania drewna z zastosowaniem ręczno-maszynowych i zmechanizowanych procesów technologicznych. Uzyskane wyniki weryfikują wiele wcześniej zrealizowanych

Giefing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.

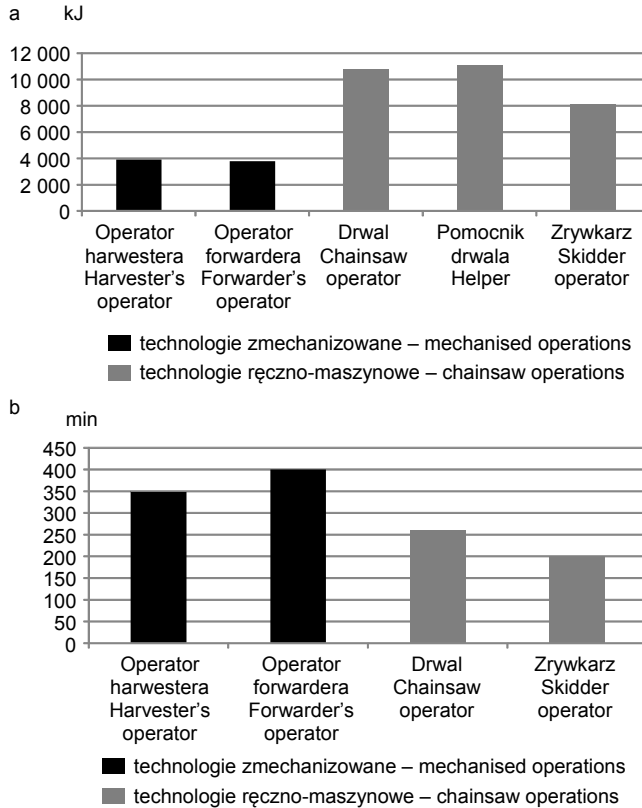


Rys. 4. Koszty i zyski pozyskiwania drewna: a – wykonanego przez zakład usług leśnych, b – wykonanego przez dwa wybrane nadleśnictwa (zł/m<sup>3</sup> drewna)

Fig. 4. Costs and profits of forest operations: a – made by forest enterprise, b – made by two selected forest districts (PLN/m<sup>3</sup> of timber)

cząstkowych badań z tego zakresu. Uszkodzenia drzew w pozostającym po trzebieży drzewostanie (rys. 7) wyrażone współczynnikiem  $W$  były mniejsze przy zastosowaniu technologii zmechanizowanej. Również współczynnik uszkodzenia gleby (rys. 8), dla którego materiałem źródłowym są oceny powierzchniowych uszkodzeń i wzrostu zagęszczenia gleby, charakteryzował się mniejszymi wartościami w drzewostanie, w którym zastosowano zmechanizowane technologie pozyskiwania drewna.

Podobne zróżnicowanie obserwowano w grupie badanych emisji. Emisja hałasu (rys. 8), wyrażona współczynnikiem hałaśliwości, do którego obliczenia wzięto pod uwagę czas i zasięg emisji, była w technologii ręczno-maszynowej kilkakrotnie większa niż w technologii zmechanizowanej. Badana technologia ręczno-maszynowa charakteryzowała się także wysokim poziomem emisji substancji toksycznych w spalinach (rys. 9). W tej części procesu technologicznego poziom emisji substancji toksycznych



Rys. 5. Wydatki energetyczne robotników (a) i czas ekspozycji na drgania (b) w trzebieżach drzewostanów sosnowych IV klasy wieku w technologii zmechanizowanej i ręczno-maszynowej

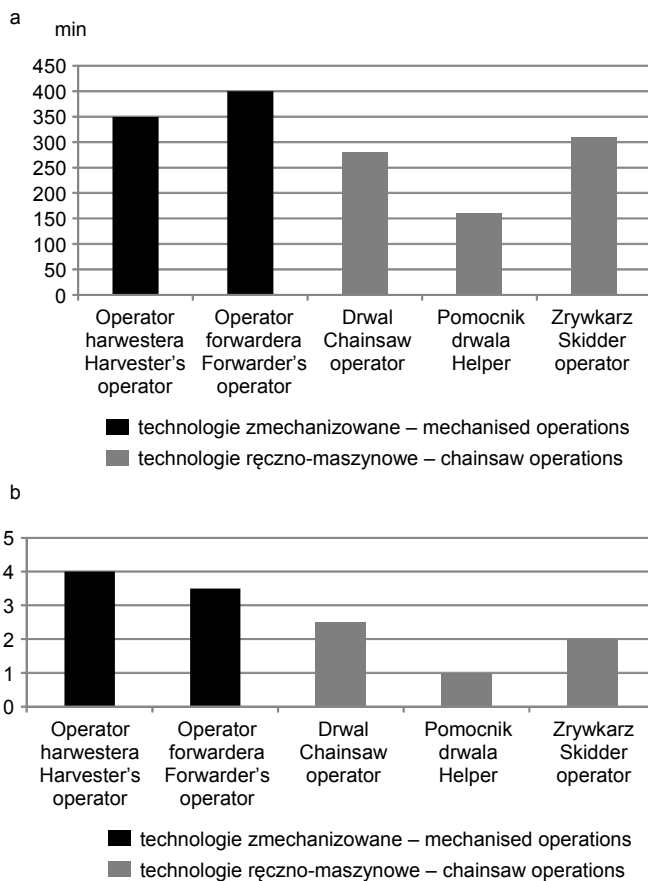
Fig. 5. Forest workers' energetic workload (a) and exposition time to vibration (b) in mechanised and chainsaw thinning operations in 4th age class pine stands

w spalinach w przeliczeniu na 100 m<sup>3</sup> pozyskanego drewna był jednak korzystniejszy w technologii ręczno-maszynowej, natomiast wysoka wydajność zrywki drewna forwarderem zdecydowała o wyniku zbliżonym w porównywanych procesach technologicznych.

Przy szczegółowej analizie toksyczności spalin przeliczonej na tlenek węgla (rys. 9) warto zwrócić uwagę na toksyczność cząstek stałych i tlenków azotu. Udział tych związków jest stosunkowo duży w spalinach pojazdów napędzanych silnikami wysokoprężnymi (harvester, forwarder i skider).



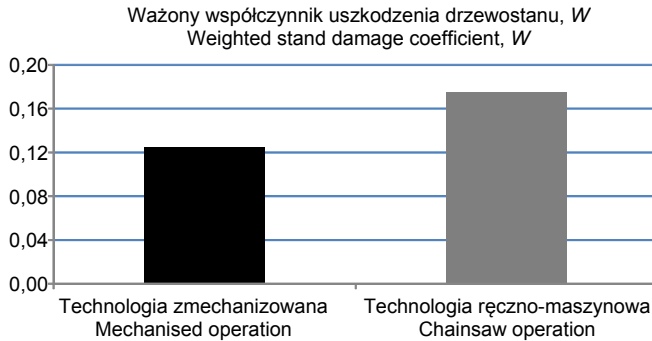
Giefing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.



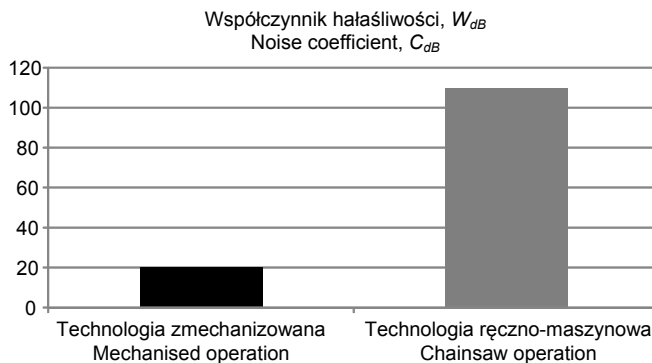
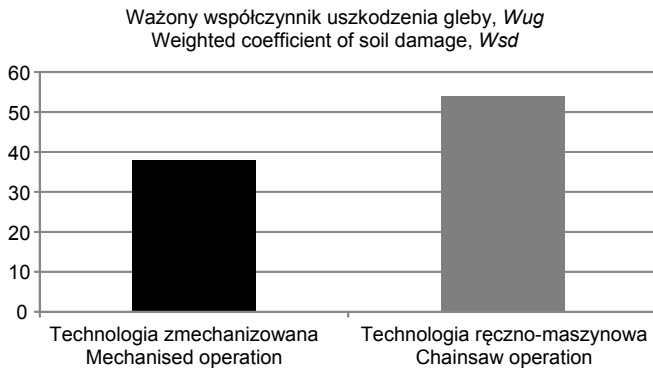
Rys. 6. Czas ekspozycji na hałas (a) i poziom obciążeń psychicznych (b) robotników zatrudnionych w trzebieżach drzewostanów sosnowych IV klasy wieku w technologii zmechanizowanej i ręczno-maszynowej

Fig. 6. Exposition time to noise (a) and mental work load (b) of workers in mechanised and chainsaw thinning operations in 4th age class pine stands

Emisję dwutlenku węgla przedstawiono w rozbięciu na pozyskiwanie i zrywkę drewna. Emisja CO<sub>2</sub> jest szczególnie mała w pracach z zastosowaniem pilarki (rys. 10). Znaczna energochłonność skidera w połączeniu z niewielką wydajnością pracy zadecydowała jednak, że i w tym zakresie badań korzystniejsze wyniki uzyskano z zastosowaniem technologii zmechanizowanej.

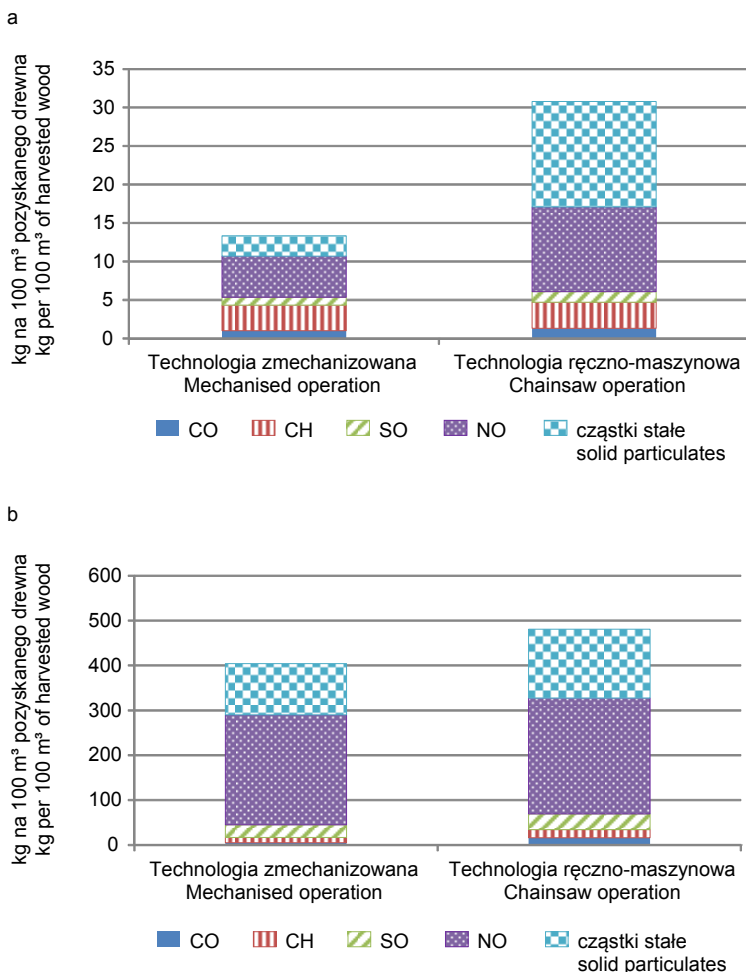


Rys. 7. Uszkodzenia drzewostanów w następstwie trzebieży prowadzonej technologią zmechanizowaną i ręczno-maszynową  
Fig. 7. Stand damages due to mechanised and chainsaw thinning operations



Rys. 8. Poziom uszkodzeń gleby i współczynnik hałaśliwości technologii prac w trzebieży drzewostanów sosnowych IV klasy wieku  
Fig. 8. Soil damage level and noise index of thinning operations in 4th age class pine stands

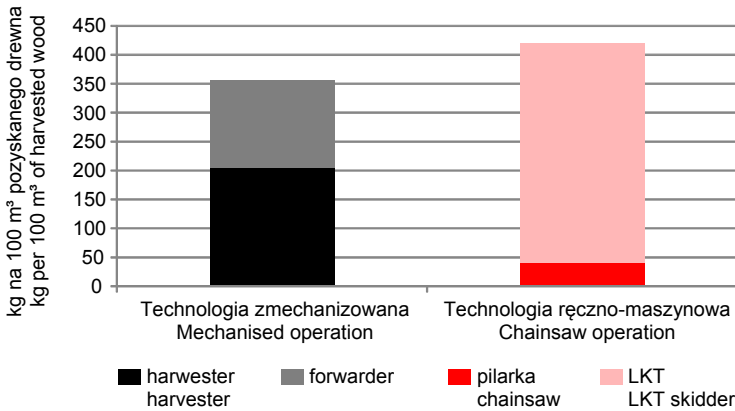
Giefing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.



Rys. 9. a. Emisja substancji toksycznych w spalinach maszyn. b. Emisja substancji toksycznych w spalinach maszyn w przeliczeniu na toksyczność CO  
 Fig. 9. a. Toxic substances emission in exhaust gases of machines. b. Toxic substances emission in exhaust gases of machines converted to CO toxicity

## Dyskusja i wnioski

Kompleksowe badania procesów technologicznych są bardzo czasochłonne, pozwalają jednak na ich wszechstronną analizę i ocenę (BIELSKI i IN. 1987, GIEFING 1988, 1997, 1999 a, 1999 b, 2001, SOWA 1999, GIEFING i IN. 2000, GRZYWIŃSKI 2003, LESZCZYŃSKI 2011). Zastosowanie w badaniach współczynników syntetyzujących poszczególne wyniki oraz przeliczenie toksyczności poszczególnych składników spalin do



Rys. 10. Poziom emisji dwutlenku węgla maszyn pracujących w trzebieżach z zastosowaniem technologii zmechanizowanej i ręczno-maszynowej; wyemitowany w spalinach harwestera i forwardera dwutlenek węgla stanowi 0,52% CO<sub>2</sub> wycofanego z obiegu w środowisku wraz z pozyskanym drewnem, wyemitowany w spalinach pilarki i skidera LKT dwutlenek węgla stanowi 0,61% CO<sub>2</sub> wycofanego z obiegu w środowisku wraz z pozyskanym drewnem

Fig. 10. Carbon dioxide emission level by machines used in mechanised and chainsaw thinning operations; emission of carbon dioxide in harvester's and forwarder's exhaust gases amounts to 0.52% of carbon dioxide exported from the forest environment with extracted timber, emission of carbon dioxide in chainsaw's and LKT skidder's exhaust gases amounts to 0.61% of carbon dioxide exported from the forest environment with extracted timber

toksyczności tlenku węgla umożliwia porównywanie procesów technologicznych i ich uszeregowanie pod kątem uciążliwości ekologicznej i ergonomicznej oraz ekonomicznej efektywności zastosowania danego procesu technologicznego.

Przedstawione przykładowe wyniki badań dowiodły, że w trzebieżach drzewostanów IV klasy wieku zastosowanie technologii zmechanizowanych jest w pełni uzasadnione zarówno ze względu na wysoką wydajność, ekonomiczną efektywność, stosunkowo małą uciążliwość dla środowiska, jak i poziom humanizacji pracy. Zwiększenie się obciążeń psychicznych jest, niestety, typowym zjawiskiem we współczesnych kierunkach technologicznego rozwoju produkcji.

Porównanie kilku technologii daje doskonałą możliwość oceny ich przydatności do realizacji zadań w drzewostanach wymagających zastosowania określonych priorytetów, co może mieć duże znaczenie w drzewostanach pokłeskowych pełniących funkcje ochronne.

Przedstawiona metoda oceny procesów technologicznych może być modyfikowana w zależności od potrzeb i zainteresowań naukowych badacza. Prowadzenie badań ograniczonych jedynie do wycinka wskazanej problematyki badawczej daje niepełną ocenę technologii. Może to jednak stanowić materiał źródłowy w kompleksowych ocenach procesów pozyskiwania drewna.

Giefing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.

---

Wieloaspektowe badania procesów technologicznych pozyskiwania drewna powinny być realizowane przez zespoły badawcze z udziałem specjalistów w zakresie użytkowania lasu, ergonomii i ekonomii (GIEFING 1999 a, SOWA 1999, GRZYWIŃSKI 2003, HOFFMAN i IN. 2005, MEDERSKI i IN. 2005, MEDERSKI 2006, BEMBENEK i IN. 2008, LESZCZYŃSKI 2010, 2011).

## Literatura

- BEMBENEK M., MEDERSKI P.S., STUHLMANN C., GIEFING D.F., 2008. Wpływ zrywki drewna skiderem chwytakowym na glebę w rębnych drzewostanach bukowych. W: Tendencje i problemy techniki leśnej w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego. Red. H. Różański, K. Jabłoński. Katedra Techniki Leśnej UP, Poznań: 135-142.
- BERNHARDT M., MICHAŁOWSKA J., RADZIMIRSKI S., 1971. Motoryzacyjne skażenia powietrza. WKiŁ, Warszawa.
- BIELSKI J., ZEYLAND A., SPRINGER J., 1987. Metoda oceny ergonomicznej stanowisk pracy. Bezp. Pr. [Warszawa] 5: 5-8.
- BN-76/9195-01. Schemat blokowy klasyfikacji czasu pracy. 1976. Dz. Norm Miar 11, poz. 39.
- GIEFING D.F., 1988. Die Methodologie der Untersuchungen über den Einfluss von Pflegehieben auf den Wald. W: Mechanisierung in der Waldarbeit. Red. Z. Laurów. Wyd. SGGW-AR, Warszawa: 49-52.
- GIEFING D.F., 1990. Wpływ technologii pozyskiwania i transportu drewna w cięciach przedrębnych na szkody i jakość techniczną pozostających drzewostanów sosnowych. W: Reakcja ekosystemów leśnych i ich elementów składowych na antropopresję. Centralny Program Badań Podstawowych 04.10 Podprogram CPBP 04.10.07. Synteza II, 24: 77-85.
- GIEFING D.F., 1997. Untersuchungen von technologischen Prozessen der Holzgewinnung im Pflegehieben (Die methodologischen Fragen der Untersuchungen). W: Technologia spracovania dreva a využitie dreva v komplexnom interieri. Red. D. Horský. Technická Univerzita vo Zvolene, Zvolen: 213-218.
- GIEFING D.F., 1998. Einfluß des Holzeinschlages auf die Umwelt. Der Boden. Forstl. Forschungsber. München 174: 8-14.
- GIEFING D.F., 1999 a. Kryteria oceny i doboru procesów technologicznych w leśnictwie. W: Tendencje i problemy mechanizacji prac leśnych w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego. Red. H. Różański. Prodruc, Poznań: 17-24.
- GIEFING D.F., 1999 b. Wpływ pozyskiwania drewna w czyszczeniach późnych drzewostanów sosnowych na środowisko. Część 2. Gleby. Sylwan 6: 91-100.
- GIEFING D.F., 2001. Wpływ pozyskiwania drewna w czyszczeniach późnych drzewostanów sosnowych na środowisko. Część 3. Hałas. Sylwan 1: 63-70.
- GIEFING D.F., HOŁOTA R., 1999. Einfluß des Holzeinschlages auf die Umwelt – Lärmemission. W: Zusammenkunft der Sektion „Forsttechnik“ des Verbandes Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten, Freiburg. Red. G. Mahler. Maszynopis. Freiburg: 94-98.
- GIEFING D.F., KOSAK J., KLENTAK I., GACKOWSKI M., KARASZEWSKI Z., HOŁOTA R., BEMBENEK M., SIEWERT S., 2000. Badania zmierzające do opracowania optymalnych technologii pozyskiwania drewna w cięciach przedrębnych drzewostanów iglastych. Projekt Badawczy Zamawiany Nr 24/98. Maszynopis. Katedra Użytkowania Lasu AR, Poznań.
- GRZYWIŃSKI W., 2003. Wpływ zastosowanej techniki i technologii na poziom humanizacji pracy w leśnictwie. Maszynopis. Katedra Użytkowania Lasu AR, Poznań.
- GRZYWIŃSKI W., KAPELAN A., WIEKIERA J., 2011. Analysis of accident rate in the Regional Directorate of the State Forests in Poznań in the years 1995-2007. W: Technology and ergonomics

- in the service of modern forestry. Red. J.M. Sowa, A. Barszcz, G. Szewczyk. Wyd. UR, Kraków: 55-71.
- HOFFMAN L., MEDERSKI P.S., BEMBENEK M., JAKUBOWSKI M., 2005. Analysis of soil surface damage due to mechanised thinning operations in pine stands. Zesz. Nauk. AR Krak. 419, Ses. Nauk. 91: 161-166.
- HOŁOTA R., 1998. Ekologiczne aspekty pozyskiwania buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w cięciach rębnych. Maszynopis. Katedra Użytkowania Lasu AR, Poznań.
- JABŁOŃSKI K., 1998. Analiza wypadkowości na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu w latach 1995-1996. Zast. Ergon. 1-3: 221-229.
- KRZYSIK F., 1974. Nauka o surowcu drzewnym. PWN, Warszawa.
- KUBIAK M., GIEFING D.F., 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. Centralny Program Badań Podstawowych 04.10 Podprogram CPBP 04.10.07. Synteza III 19: 91-96.
- KUSIAK W., ROMANKOW J., 2002. Ocena wypadkowości przy pracy na tle zmian strukturalnych zatrudnienia. Zast. Ergon. 1-4: 91-96.
- LESZCZYŃSKI K., 2010. Different evaluation of motor-manual wood harvesting processes on the basis of conjoint analysis. Croat. J. For. Eng. 31: 165-172.
- LESZCZYŃSKI K., 2011. Factor analysis in ergonomic profiling of workplaces in forestry. W: Technology and ergonomics in the service of modern forestry. Red. J.M. Sowa, A. Barszcz, G. Szewczyk. Wyd. UR, Kraków: 113-129.
- MANA M., 1995. Proekologiczna i ergonomiczna analiza wybranych procesów technologicznych pozyskiwania buka w cięciach przedrębnych. Maszynopis. Katedra Użytkowania Lasu AR, Poznań.
- MEDERSKI P.S., 2006. A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. For. Ecol. Manage. 224: 286-296.
- MEDERSKI P.S., BEMBENEK M., HOFFMAN L., 2005. Analysis of the time of exposure to noise of the Vimek 606 6WD forwarder operator in selected conditions of piled timber forwarding. Electr. J. Pol. Agric. Univ. For. 8, 3, #17.
- MUSZYŃSKI Z., 1996. Ergonomia a wypadkowość w leśnictwie. Zast. Ergon. 2-3: 125-129.
- PROSIŃSKI S., 1984. Chemia drewna. PWRiL, Warszawa.
- SOWA J., 1999. Method of estimation of forest operators occupational risk. W: Pracovné úrazy a choroby z povolania v lesnom hospodárstve. Technická Univerzita vo Zvolene, Zvolen: 30-38.
- STRUM R., 1988. Schadstoffe durch die Motorsäge mit besonderer Berücksichtigung der Ölproblematik (2-Takt-Öle, Ketenöle, Ölnebel und Abgasmessung bei der Motorsägearbeit). Gefahrstoffe beim Einsatz der Motorsäge. KWF Bericht 5: 167-174.

## EVALUATION OF THINNING OPERATIONS IN OLDER PINE STANDS. RESEARCH METHODS

**Summary.** Evaluation of forest operations in different scientific institutions resulted in inventing of various methods. The objective of this paper is to present a universal concept of a research method for the evaluation of forest operations (including thinning operations) with a multicriteria analysis of ecological, ergonomic and economic aspects (3E). Special attention was paid to the ecological evaluation, which has not been widely researched. Analysis of all three aspects of the 3E evaluation was based on a literature study. The results showed that it is essential to consider

Gieřing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.

---

all three aspects in the evaluation of timber harvesting and that mechanised thinning operations (harvester – forwarder) are preferable, considering all three aspects, compared to those carried out by chainsaw and skidder.

**Key words:** thinning operations, ecological, ergonomic and economic aspects of thinning operations, evaluation of forest operations

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Dieter F. Gieřing, Katedra Użytkowania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71 A, 60-625 Poznań, Poland, e-mail: dieter.gieřing@up.poznan.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*22.05.2012*

*Do cytowania – For citation:*

*Gieřing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S., 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia badań. Nauka Przyr. Technol. 6, 3, #59.*