

BADANIA WYSOKOWYDAJNYCH MASZYN DO POZYSKIWANIA DREWNA PROWADZONE W ZAKŁADZIE MECHANIZACJI LEŚNICTWA SGGW

Jerzy Więsik

Zakład Mechanizacji Leśnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono niektóre wyniki badań realizowanych przez pracowników naukowych Zakładu Mechanizacji Leśnictwa, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Działalność badawcza Zakładu Mechanizacji Leśnictwa skupia się na problemach mechanizacji prac leśnych. Głównie rozważane są problemy związane z procesami technologicznymi w leśnictwie w aspekcie ekologicznego modelu gospodarki leśnej. Na tym polu szczegółowo realizowane są projekty dotyczące: badania możliwości zastosowania forworderów i harwesterów w polskich lasach; technologicznych modeli procesów pozyskiwania drewna; badania uszkodzenia drzewostanu i gleby na skutek poślizgu kół ciągników leśnych; badania skutków ugniatania gleby i jej wpływu na jakość drzewostanów podczas pracy różnych ciągników i maszyn leśnych; badania nad zapotrzebowaniem energetycznym procesu pozyskiwania drewna. W Zakładzie znajdują się specjalistyczne laboratoria: obróbki nasion drzew i krzewów leśnych oraz oceny maszyn leśnych, wyposażonych w stanowiska pomiarowe do badania: parametrów skrawania drewna, właściwości fizycznych drewna i nasion leśnych, hałasu i drgań maszyn oraz charakterystyk eksploatacyjnych silników małej mocy. Wyposażenie to wykorzystywane jest zarówno do działalności naukowej i dydaktycznej Zakładu Mechanizacji Leśnictwa.

Słowa kluczowe: ścinarki, harvestery, pozyskanie drewna, ochrona środowiska

Wprowadzenie

Zakład Mechanizacji Leśnictwa do nowo utworzonego przed 30-tu laty Wydziału Techniki Rolniczej i Leśnej wniósł problematykę leśną. Znalazła ona odpowiednie odzwierciedlenie zarówno w działalności dydaktycznej, jak i badawczej Wydziału, co stało się istotnym jego wyróżnikiem wśród krajowych jednostek dydaktycznych funkcjonujących na uczelniach rolniczych.

Zakład powstał w 1957 roku, a jego organizatorem i pierwszym wieloletnim kierownikiem był prof. dr hab. Mieczysław Botwin. Wraz z 30-leciem Wydziału obchodzimy więc 50-lecie działalności Zakładu. Jednym z głównych problemów badawczych Zakładu Mechanizacji Leśnictwa w ostatnich 30-tu latach było doskonalenie techniki i organizacji pozyskiwania i transportu drewna w lasach polskich. Były one tematem wielu rozpraw doktorskich i habilitacyjnych pracowników Zakładu. Ich oryginalny dorobek z tego zakresu chciałbym przedstawić w dzisiejszym okolicznościowym referacie.

Pierwsza polska ścinarka

Pierwszą wysokowydajną maszyną do pozyskiwania drewna w lasach polskich, wdrożoną na skalę gospodarczą, była ścinarka Ł-34/ND-600 (rys. 1). Jej koncepcja i szczególne założenia konstrukcyjne powstały w 1975 roku w Zakładzie Mechanizacji Leśnictwa. Zrealizowano je w 1976 roku we współpracy z Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Kombinatu Huta Stalowa Wola. Nośnikiem głowicy ścinkowej stała się ładowarka czołowa Ł-34, oryginalna konstrukcja pracowników Kombinatu, za którą wyróżnieni zostali Nagrodą Państwową. Głowica została wykonana na podstawie patentu pracowników Zakładu Mechanizacji Leśnictwa. Miała układ tnący nożowy, umożliwiający ścinę drzew iglastych o średnicy 52 cm. Umieszczenie jej na układzie nośnym ładowarki pozwalało maszynie na uniesienie ściętego drzewa i przemieszczanie go w pozycji pionowej do miejsca tworzenia paczki dla ciągnika zrywkowego lub zespołu dokonującego dalszej obróbki.



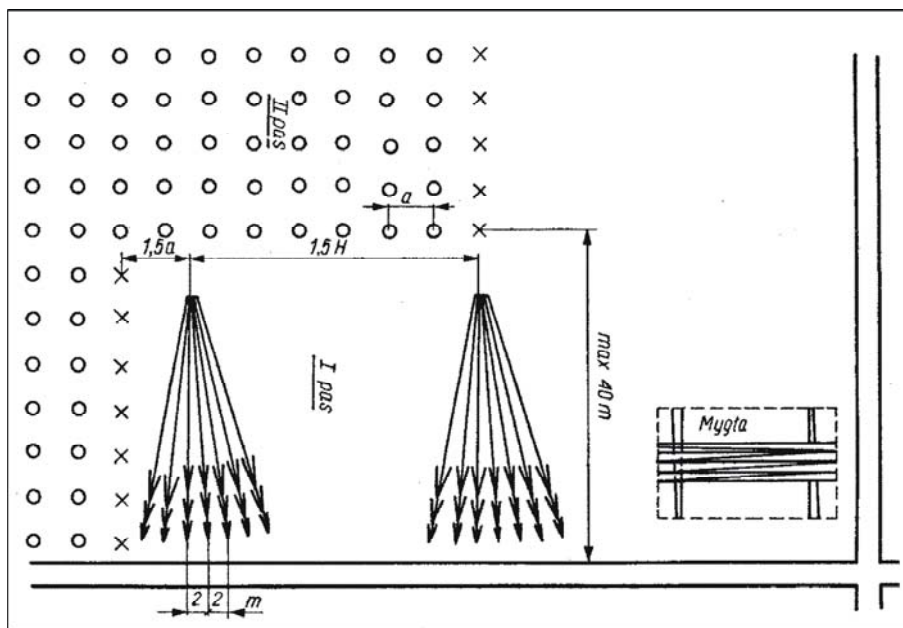
foto. J. Więsik

Rys. 1. Pierwsza polska ścinarka Ł-34/ND-600

Fig. 1. The first Polish Ł-34/ND-600 tree cutter (photo by J. Więsik)

Maszyna charakteryzowała się bardzo dużą wydajnością – czas cyklu ścięcia, przemieszczenia i ułożenia drzewa wynosił przeciętnie 41 s, co dla stworzenia warunków wydajnej i bezpiecznej pracy pozostałych wykonawców wymagało odpowiedniej organizacji pracy. Weryfikowano różne warianty, ich szczegółowe opisy przedstawiono w kilku publikacjach [Więsik 1977a, b, c]. Pierwszym był wariant równoczesnej pracy na zrębie wszystkich zespołów wykonawczych (rys. 2): ścinarki, pilarzy okrzesujących drzewa i wyrabiających sortymenty oraz ciągnika zrywkowego typu skider z wciągarką. Stanowił on podstawę do opracowania teoretycznych podstaw funkcjonowania dynamicznych modeli procesu pozyskiwania drewna [Więsik 1980]. Efekty pracy zespołów w tym wariantcie okazały się wysoce niezadowolające – poszczególni wykonawcy nie mogli wykorzystać

efektywnie nawet 50% dziennego czasu pracy. Przyczyną niepowodzenia okazała się bardzo duża zmienność czasów cykli kolejnych operacji. Wystąpiły długie przestoje spowodowane albo brakiem frontu pracy, albo warunków do bezpiecznego jej wykonywania. W takim przypadku wprowadzenie wysokowydajnej ścinarki nie dawało pożądanych rezultatów.



Rys. 2. Schemat pozyskiwania drewna ścinarką Ł-34/ND-600 z układaniem drzew paczkami [Więsik 1977b]

Fig. 2. Diagram showing timber acquisition with the Ł-34/ND-600 tree cutter, including laying cut trees in bundles [Więsik 1977b]

Wariant wdrożony do praktyki leśnej przewidywał układanie ściętych drzew pasami (rys. 3). Ścinarka, dzięki odpowiedniemu opóźnieniu wejścia następnych wykonawców, uzyskała na zrębie dużą swobodę działania, możliwości wykorzystania w pełni swych walorów wydajnościowych, a następnymi wykonawcami możliwość pracy bez zakłóceń międzyoperacyjnych. W ten sposób osiągnięto zwiększenie wydajności pracy w stosunku do technologii tradycyjnych o ok. 37%, ale koszty pozyskania z udziałem ścinarki, ze względu na jej wysoką cenę i niskie płace, były jeszcze o ok. 5% większe [Więsik 1977b, c].

W owym czasie barierą wykonawczą prac leśnych był brak siły roboczej, dlatego mimo nieco wyższych kosztów administracja leśna zabiegała o pozyskanie ścinarek, co w gospodarce planowej i nakazowo – rozdzielczej, a innych priorytetach, nie było zadaniem łatwym. W połowie lat 80-tych ub. wieku pracowało ich w lasach polskich ok. 30 sztuk.



fol. J. Więsik

Rys. 3. Zrąb wykonany ścinarką Ł-34/ND-600 z drzewami ułożonymi pasami
Fig. 3. Felling carried out using the Ł-34/ND-600 tree cutter, with cut trees laid in bundles

Harwestery

Na początku lat 90-tych ubiegłego wieku do lasów polskich trafiły pierwsze maszyny wielooperacyjne dokonujące: ścinki, okrzesywania i wyrzynki sortymentów, nazywane powszechnie harwesterami. Współczesną wersję takiej maszyny przedstawiono na rysunku 4. Głowica obróbcza umieszczona jest z reguły na żurawiu hydraulicznym najczęściej o wysięgu 8-10 m.

Maszyny te za granicą pozyskują rocznie 18-24 tys. m³ drewna [Moskalik 2004]. Przy tej ilości i występujących tam uwarunkowaniach koszty jednostkowe są mniejsze niż przy pozyskiwaniu drewna za pomocą pilarek przenośnych. Jednak w Polsce koszty pracy ręcznej są znacznie mniejsze niż za granicą, co sprawia, że i granica opłacalności stosowania tak drogich maszyn (aktualna cena ok. 2 mln zł) będzie inna. Ustalenie warunków uzasadniających ich wdrażanie jest więc zadaniem ważnym, zważywszy że w niektórych regionach kraju jest już odczuwalny niedobór siły roboczej do prac leśnych.

Zakres badań prowadzonych w Zakładzie Mechanizacji Leśnictwa obejmował poznanie czynników mających wpływ na czas trwania czynności operacyjnych maszyny oraz rodzaju i czasu trwania czynności pomocniczych niezbędnych do wykonania zadań w warunkach lasów polskich. Wielkości te mają zasadniczy wpływ na wydajność i koszty jednostkowe pracy harwesterów.



Rys. 4. Współczesny harwester Timberjack 1270 D

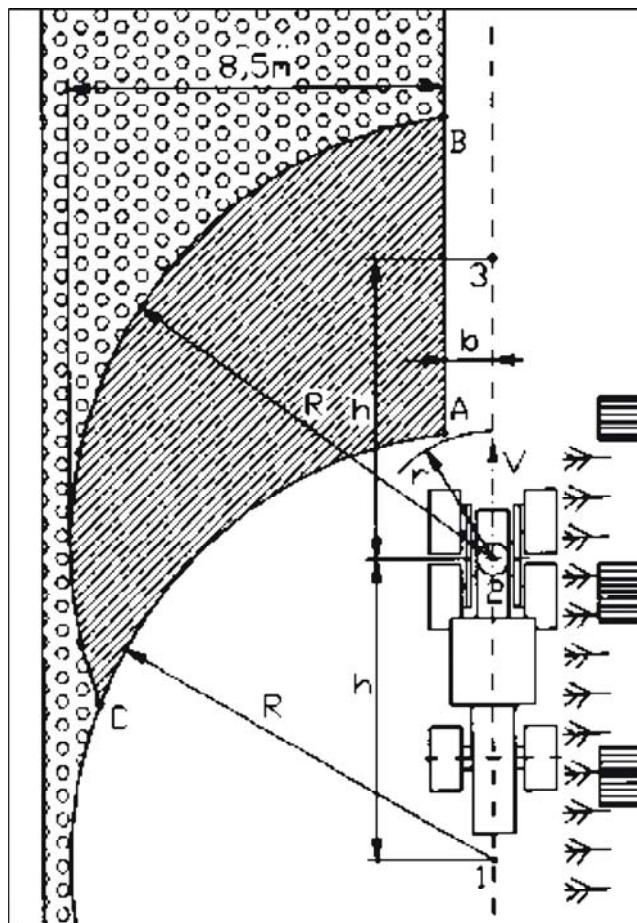
Fig. 4. Modern Timberjack 1270 D harvester

Z obserwacji procesu wynika, że na czas cyklu pracy harwestera składają się czynności obróbcze: ścinka i okrzesywanie drzewa oraz przerzynka strzały, ale też przejazdy niezbędne do zmiany miejsca ustawienia maszyny. Jeśli przemieszczanie maszyny odbywa się według schematu przedstawionego na rysunku 5, to cykl pracy można opisać następującą formułą:

$$t_c = a_1 \left(\frac{1}{v_{11}} + \frac{1}{v_{13}} \right) + \frac{L}{v_2} + \varphi(1 + n_r) \left(\frac{1}{\omega_o} + \frac{1}{\omega} \right) + \frac{10^4}{N(R - b)} \left(\frac{1}{v_{41}} + \frac{1}{v_{42}} \right)$$

gdzie:

- t_c – czas cyklu [s],
- a_1 – średnia odległość przemieszczania głowicy (samej i z drzewem) [m],
- b – odległość ściany lasu od podłużnej osi symetrii maszyny [m],
- L – długość strzały drzewa (grubizny) [m],
- n_r – liczba rzazów (wyrzynków),
- N – przeciętna gęstość ścinanych drzew na zrębie [szt·ha⁻¹],
- R – wysięg żurawia [m],
- φ – kąt obrotu prowadnicy podczas ścinki i przerzynki [rad],
- v_{11} i v_{13} – prędkość przemieszczania głowicy odpowiednio samej i z drzewem [m·s⁻¹],
- v_2 – prędkość posuwu strzały podczas okrzesywania [m·s⁻¹],
- v_{41} i v_{42} – prędkość jazdy maszyny odpowiednio podczas zmiany stanowiska i podczas zmiany szlaku [m·s⁻¹],
- ω_o i ω – prędkość kątowna obrotu prowadnicy odpowiednio podczas ruchu powrotnego i podczas cięcia [rad·s⁻¹].



Rys. 5. Schemat pozyskiwania drewna harvesterem na zrębie zupełnym [Więsik i in. 2005b]
 Fig. 5. Diagram showing timber acquisition using a harvester on clear-cut [Więsik et al. 2005b]

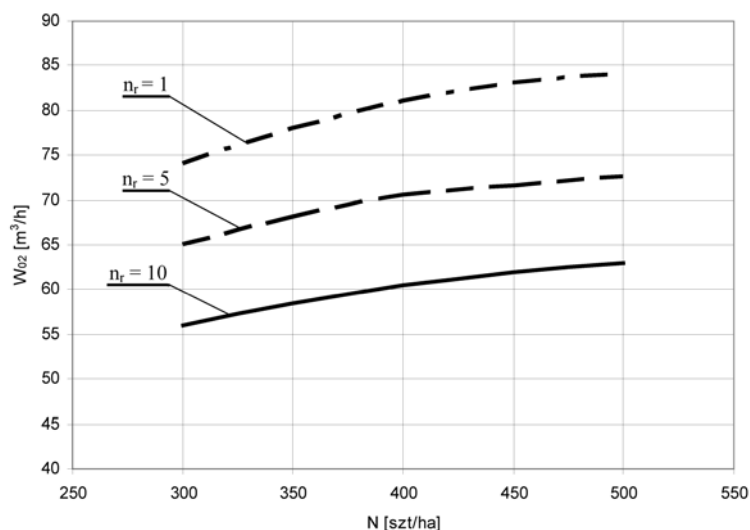
Znając charakterystyczne parametry głowicy i maszyny oraz warunki jej pracy użytkownik może dokonać analizy czasu cyklu i wydajności operacyjnej, obliczonej ze wzoru:

$$W_{02} = \frac{3600 \cdot q}{t_c} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$$

gdzie q jest średnią miąższością grubizny drzewa w m^3 .

W przypadku harwestera Timberjack 1270 D przy wykonywaniu zrębu zupełnego, gdy na powierzchni znajdowało się 434 drzew na 1 ha, o przeciętnej miąższości $q = 0,74 \text{ m}^3$,

z których wyrabiano 5–6 kłód, czas cyklu wyniósł 37,64 s, w tym 40,4% zajmowała ścinka i przemieszczanie drzewa, 23,5% okrzesywanie, 17,7% przerzynka oraz 18,4% zmiana miejsca ustawienia maszyny (przejazdy). Wydajność operacyjna w tych warunkach wyniosła $70,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ [Więsik i in., 2005a i b].

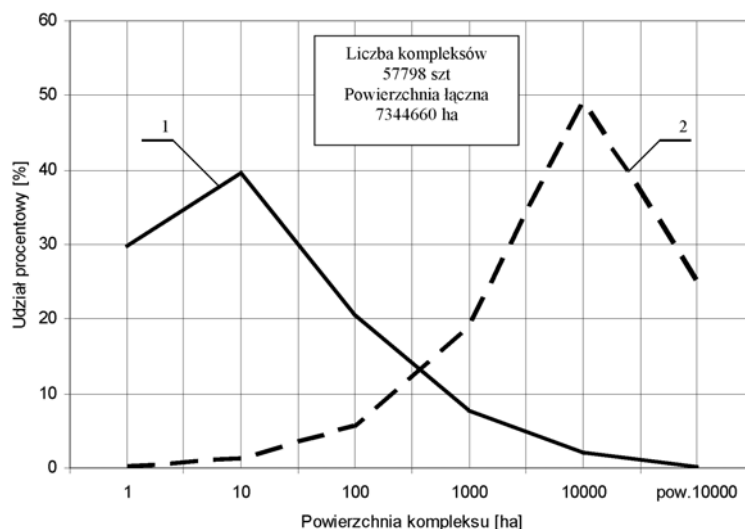


Rys. 6. Wpływ gęstości drzew (N) i liczby rzazów (n_r) na wydajność operacyjną harwestera (W_{02}) [Więsik i in. 2005b]

Fig. 6. The impact of tree density (N) and number of saw cuts (n_r) on harvester operating efficiency (W_{02}) [Więsik et al. 2005b]

Wpływ gęstości drzew N i liczby rzazów n_r przedstawiono na rysunku 6 [Więsik i inni, 2005b]. Wyrabianie ze strzały drzewa wyrzynków o długości 2,4 m w porównaniu z wyrabianiem jednej dłużycy zmniejsza wydajność operacyjną o ok. 25%. Natomiast pozyskiwanie drewna na powierzchniach o gęstości drzew 500 i 300 $\text{szt} \cdot \text{ha}^{-1}$ pozwala w pierwszym przypadku uzyskać wydajność operacyjną maszyny większą o ok. 11%.

Na wydajność operacyjną harwestera duży wpływ ma przeciętna miąższość pozyskiwanych drzew. W lasach polskich drzewostany dojrzałe charakteryzują się na ogół dużą miąższością, a to sprzyja uzyskiwaniu dużej wydajności. Jednak o zasadności ich stosowania decyduje wydajność eksploatacyjna, a warunki do uzyskania dobrych efektów są w Polsce mniej korzystne. Do czynników niesprzyjających efektywnej pracy wysokowydajnych maszyn należy zaliczyć przede wszystkim znaczne rozdrobnienie kompleksów leśnych oraz charakterystyczne dla gospodarki leśnej w Polsce niewielkie powierzchnie zrębów, zarówno zupełnych, jak i trzebieżowych. Z analiz wykonanych przez Dybcio [2007] wynika, że w Lasach Państwowych jest ok. 58 000 kompleksów leśnych. Do 1000 ha jest ich ok. 98%, zajmują one ok. 26% powierzchni drzewostanów (rys. 7). Wykonywanie w rozproszonych drzewostanach niewielkich zadań maszynami o dużej wydajności operacyjnej budzi poważne wątpliwości, co do możliwości uzyskania przez nie korzystnych efektów ekonomicznych.



Rys. 7. Struktura kompleksów leśnych Lasów Państwowych: 1 - licznosc, 2 - zajmowana powierzchnia [Dybcio 2007]

Fig. 7. The structure of State Forests forest complexes: 1 - size, 2 - occupied area [Dybcio 2007]

Do wyjaśnienia tego problemu stało się konieczne zdefiniowanie czynności pomocniczych wykonywanych maszyną i samodzielnie przez operatora umożliwiających realizację zadań na powierzchniach leśnych oraz powiązanie ich z warunkami pracy. Szczegółowe rozważania tego problemu są zawarte w opracowaniach Nurka [2005, 2007]. Wyróżnił on jako istotne następujące czynności pomocnicze:

- przejazdy maszyny z bazy do zadania i z powrotem,
- przejazdy maszyny między zadaniami,
- rozpoznanie zadania i przygotowanie maszyny do jego realizacji (dokonanie nastawień głowicy harvesterowej i ich weryfikacja),
- przygotowanie bazy do postoju maszyny (prace porządkowe i zabezpieczające maszynę),
- straty czasu powodowane niemożliwością wykonania kolejnej czynności w przyjętym limicie czasowym dnia pracy.

Uwzględniając powyższe założenia autor przedstawił następującą formułę określającą czas realizacji zadań na obejmującym je obszarze leśnym:

$$T_c = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{Q_i}{q_i} t_{ci} + \frac{\eta_{61}}{10 \cdot v_1} \sqrt{S_o \cdot n_z} + n_z (t_{71} + \eta_{72} \cdot t_{72})}{1 - \alpha - \frac{1}{T_{07}} \left[\frac{\eta_{62}}{5 \cdot v_2} \sqrt{\frac{S_o}{n_b}} + \frac{\eta_{73}}{10 \cdot v_1} \sqrt{\frac{S_o}{n_z}} + \eta_{73} (t_o + t_{71}) \right]}$$

gdzie:

- T_c – całkowity czas realizacji zadań na założonym obszarze [h],
- T_{07} – czas dnia pracy [h],
- t_{ci} – czas cyklu i-tej grupy zadań [h],
- t_0 – minimalny czas operacyjny uzasadniający kontynuowanie pracy harwestera w nowym miejscu (rozpoczęcie nowego zadania) [h],
- t_{71} – czas niezbędny na rozpoznanie nowego zadania [h],
- t_{72} – czas przygotowania bazy postoju harwestera [h],
- n_b – liczba baz postoju harwestera na założonym obszarze,
- n_z – liczba zadań,
- k – liczba wyróżnionych grup zadań,
- Q_i – wielkość zadań i-tej grupy [m^3],
- q_i – średnia miąższość grubizny drzewa w i-tej grupie zadań [m^3],
- S_0 – obszar leśny dla rozważanych zadań [ha],
- α – współczynnik czasów przerw na odpoczynek i potrzeby osobiste operatora,
- v_1 i v_2 – prędkość jazdy harwestera odpowiednio między zadaniami i między bazą a zdaniami [$km \cdot h^{-1}$],
- η_{61} i η_{62} – współczynnik przejazdów harwestera odpowiednio między zadaniami i między bazą a zadaniami,
- η_{72} – współczynnik rozpoznawania baz,
- η_{73} – współczynnik czasu niewykorzystanego.

Powyższa formuła została utworzona przy założeniu równomiernego rozmieszczenia zadań i baz na całym obszarze leśnym objętym analizą, liczby przejazdów między zadaniami równej liczbie zadań i codziennym zjeździe harwestera do nowej bazy. Przybliżenia do warunków rzeczywistych, charakterystycznych dla określonego obszaru leśnego przewidziano za pomocą współczynników η_{61} , η_{62} , η_{72} i η_{73} . Ustalenie ich wartości dla różnych obszarów leśnych pozwala na analizę czasu całkowitego realizacji zadań, wydajności eksploatacyjnej i kosztów jednostkowych w określonych warunkach przy różnej organizacji pracy – w konsekwencji możliwość ustalenia opłacalności stosowania harwestera na danym obszarze i podjęcia decyzji o jego zakupie.

Wyniki badań symulacyjnych dokonanych przez dra Tomasza Nurka w trzech nadleśnictwach (Chojnów, Wyszaków i Zwolen) wykazały, że udział czasów czynności pomocniczych w całkowitym czasie realizacji zadań wynosi od 40 do 60% zależnie od organizacji pracy (długości dnia roboczego, kolejności wykonywanych zadań) oraz charakterystycznych cech drzewostanów. W korzystnych warunkach, np. w drzewostanach rębnych i wydłużonym do 12 godzin dniu pracy, harwester może osiągnąć wydajność eksploatacyjną $40 m^3 \cdot h^{-1}$, wtedy koszty jednostkowe wyniosą $8,70 zł \cdot m^{-3}$ - w Nadleśnictwie Wyszaków, ale też $23,86 m^3 \cdot h^{-1}$ i $14,70 zł \cdot m^{-3}$ - w Nadleśnictwie Chojnów. Opracowana przez dra Tomasza Nurka metoda analizy efektów pracy harwestera pozwala łatwo wskazać te obszary leśne i rozwiązania organizacyjne, które pozwolą użytkownikowi uzyskać najkorzystniejsze wyniki ekonomiczne.

Wpływ maszynowego pozyskiwania drewna na środowisko leśne

Samojezdne maszyny do pozyskiwania drewna o dużej wydajności, charakteryzują się także znaczną masą własną. Zauważono, że ich przemieszczanie się powoduje znaczne

zmiany w podłożu – pogorszeniu ulegają przede wszystkim właściwości fizyczne gleby, natomiast na ogół duże gabaryty tych maszyn powodują zwiększone uszkodzenia drzew pozostających na powierzchniach leśnych [Laurow 1990; Porter 1998; Suwała 2005; Suwała, Gołębiowski 2005]. Zauważa się też, że posadzone w koleinach maszyn sadzonki w pierwszych latach mają często mniejsze przyrosty roczne. W większości publikacji dotyczących tych problemów skutki te nazywa się wręcz „szkodami leśnymi”, co ma zapewne zwrócić większą uwagę użytkowników także na negatywne skutki pracy takich maszyn.

Nie ulega wątpliwości, że samojezdne maszyny do pozyskiwania drewna, aby zachować stateczność podczas wykonywania poszczególnych czynności, muszą mieć znaczną masę i duży rozstaw elementów jezdnych. Największe z nich przekraczają masę 20 ton, a gabaryty przy podstawie (szer. x dł.) 2,8 x 7,8 m. Mimo najczęściej specjalnej konstrukcji układów jezdnych naciski jednostkowe na podłoże wynoszą ok. 100 kPa. Przemieszczanie się takiej maszyny niewątpliwie spowoduje zmiany właściwości gleby nie tylko w koleinach, ale i obok nich. Jednak w przypadku stosowania szlaków technologicznych zmianom tym podlega tylko 6–10% powierzchni zrębu [Laurow 1990].

Należy jednak zauważyć, że z czasem gleba ulega regeneracji i zmiany te, w porównaniu do cyklu produkcyjnego drzewostanu, trwają stosunkowo krótko. Zatem, czy mogą mieć one wpływ na końcowy efekt produkcyjny odnowionego na takich powierzchniach drzewostanu? Dotychczas w literaturze nie odnotowano badań szkód powodowanych krótkotrwałymi zmianami fizycznych właściwości gleby na jakość drzewostanów. W Zakładzie Mechanizacji Leśnictwa problem ten podjął dr Ernest Hys [2006]. Poddał on badaniom prawie 30-letnie drzewostany sosnowe, odnowione po wykonaniu zrębów ścinarką Ł-34/ND-600 w połowie lat 70-tych ubiegłego wieku.

Przykładowy stan powierzchni zrębu po pracy ścinarką przedstawiono na rysunku 8. Sposób pracy maszyny powodował, iż niemal cała powierzchnia była wielokrotnie ugnieciona przez jej koła jezdne. Według dokonanych obecnie na podobnych siedliskach pomiarów wynika, że zwięzłość wierzchniej warstwy gleby (0–5 cm) uległa zwiększeniu o ok. 50% (do 1,52 MPa), a gęstość o ok. 60% (do 1,35 g·cm⁻³).



fol. J. Więsik

Rys. 8. Powierzchnia zrębu po ścince drzew maszyną Ł-34/ND-600 w Nadleśnictwie Nidzica
 Fig. 8. The area of felling site after tree cutting with the Ł-34/ND-600 machine in the Nidzica Forest District Office

Autor wybrał do badań 10 powierzchni, na których pozyskania dokonywano ścinarką i 10 porównawczych, na których pozyskania dokonywano pilarką spalinową w nadleśnictwach: Nidzica (5), Miłomłyn (2) i Janów Lubelski (3). Do oceny jakości drzewostanów przyjął: liczbę drzew w dwóch wyróżnionych piętach, średnią wysokość, przeciętną pierśnicę i przeciętną miąższość strzały, a także udział liczby drzew klasy S1 w ogólnej liczbie drzew sosnowych, ich pierśnicowe pole przekroju i miąższość strzał bez kory. Za pomocą modeli wzrostu drzewostanów (opracowanych przez prof. A. Bruchwałda) autor dokonał symulacji przyrostu drzew pierwszego piętra, zakładając iż drugie, posiadające niższe tempo wzrostu, będzie w tym czasie usunięte.

Analiza statystyczna wyników badań nie dała podstaw do wskazania istotnego wpływu sposobu pozyskania drewna na wartości którejkolwiek z wyróżnionych cech blisko trzydziestoletnich drzewostanów. Badania te pozwalają stwierdzić, iż powstałe podczas pracy ścinarki zmiany właściwości fizycznych gleby nie pogarszają jakości drzewostanów. Ponieważ współczesne harwestery dokonują mniejszych zmian w glebie niż badane ścinarki, to ich stosowanie tym bardziej nie zagraża osiągnięciu dobrej jakości drzewostanów.

Przedstawione wyżej informacje nie wyczerpują wszystkich zagadnień odnoszących się do użytkowania wysokowydajnych maszyn w warunkach lasów polskich. Wiele uwagi poświęcono organizacji prac zrębowych, metodom oceny efektywności pracy tej grupy maszyn, kosztów napraw. Przedstawiono z tego zakresu wiele publikacji, które stanowią poważny wkład do teorii eksploatacji maszyn leśnych i pomoc praktykom w ich użytkowaniu.

Bibliografia

- Dybcio M.** 2007. Kompleksy leśne w Polsce. Dokumentacja badawcza ZML. Warszawa.
- Hys E.** 2007. Wpływ zmian właściwości fizycznych gleby wywołanych przejazdami maszyn po powierzchni zrębu zupełnego na cechy drzewostanów sosnowych. Praca doktorska. SGGW – Wydział Leśny, Warszawa.
- Laurow Z.** 1990. Optymalne środowiskowo metody pozyskiwania drewna na zrębach zupełnych w drzewostanach sosnowych. Podstawy leśnej inżynierii ekologicznej – bezpieczne technologie leśne. Program CPBP 04.10.07 Synteza Nr III. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- Moskalik T.** 2004. Model maszynowego pozyskiwania drewna w zrównoważonym leśnictwie polskim. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. ISBN 83-7244-431-9.
- Nurek T.** 2006. Możliwość zastosowania technik nawigacji satelitarnej w pomiarach pracy maszyn leśnych. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. Nr 4. s. 20-23.
- Nurek T.** 2007. Metoda oceny efektywności maszynowego pozyskiwania drewna w warunkach lasów polskich. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. ISBN 978-83-7244-920-7.
- Porter B., K. Porter** 1998. Wpływ sposobu pozyskania i zrywki na środowisko leśne. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej. Nr 6. s. 20-22.
- Suwała M.** 2005. Pozyskiwanie drewna w drzewostanach zagospodarowanych rębnią częściową. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. Nr 7. s. 20-23.
- Suwała M., Gołębiowski M.** 2005. Pozyskiwanie drewna w drzewostanach sosnowych w rębni gniazdowej. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. Nr 12. s. 17-21.
- Więsik J.** 1977a. Badania technologiczne ścinki drzew maszyną Ł-34 z głowicą ND-600. Las Polski. Nr 19. s. 9-13.

- Więsik J.** 1977b. Technika i organizacja prac zrębowych po ścinie drzew maszyną Ł-34 z głowicą ND-600. Las Polski. nr 22. s. 13-15.
- Więsik J.** 1977c. Efekty zastosowania maszyny ściekowej Ł-34 z głowicą ND-600 w procesie pozyskiwania drewna. Las Polski. Nr 24. s. 10,15-16.
- Więsik J.** 1980. Modele dynamiczne procesu pozyskiwania drewna. Zeszyty Naukowe SGGW-AR. Rozprawy Naukowe. Nr 123. s. 87.
- Więsik J., Nurek T., Dybcio M.** 2005a. Model matematyczny pracy harwestera. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. Nr 9-10. s. 45-48.
- Więsik J., Nurek T., Dybcio M.** 2005b. Badania procesu pozyskiwania drewna harvesterem na zrębie zupełnym. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. Nr 11. s. 25-28.

INVESTIGATIONS ON HIGH-DUTY MACHINERY FOR LOGGING CARRIED OUT BY SECTION OF FOREST MECHANIZATION WARSAW AGRICULTURAL UNIVERSITY

Abstract. The paper presents results of some investigations undertaken by research staff from Section of Forest Mechanization, Warsaw Agricultural University. Research activity in the Section of Forest Mechanization has been focused on the problems of mechanization of forest operations. The following research problems are considered: technological processes in forestry, with consideration to ecological model of forest husbandry. In this field the following detailed projects are being realized: investigations on possibilities of application of forwarders and harvesters in Polish forests; models of technological processes of logging; investigations on tree damage during skidding at thinning sites executed with various tractors; investigations on the effect of machines on forest soil; investigations on possibilities of logging for energy purposes. In the Section there are accommodated the specialized laboratories for forest seeds processing and forest machines, equipped with the measuring stands for: wood cutting parameters, wood and forest seed physical properties, machine noise and vibrations, and small power engine test bench. These equipment is used both in scientific and teaching activities.

Key words: feller bunchers, harvesters, logging wood, environment protection

Adres do korespondencji:

Jerzy Więsik; e-mail: zml@sggw.pl
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa