

ARKADIUSZ GENDEK, PIOTR WĘŻYK, TADEUSZ MOSKALIK

Udział oraz dokładność szacowania pozostałości zrębowych w ogólnej masie pozyskanego drewna

Share and accuracy of estimation of logging residues in the total volume of harvested timber

ABSTRACT

Gendek A., Wężyk P., Moskalik T. 2018. Udział oraz dokładność szacowania pozostałości zrębowych w ogólnej masie pozyskanego drewna. Sylwan 162 (8): 679-687.

Due to the observed impacts of climate change on the natural environment, the demand for energy from renewable sources is growing, especially in the last decades. One of the possibilities in this respect is the use of forest biomass, especially that one which comes from logging residues. This type of wood raw material is obtained primarily in mature forests and during late thinnings. Estimation of the expected volume of logging residues from a particular cutting site is currently carried out in the State Forests, National Forest Holding with an accuracy oscillating at an acceptable level of $\pm 40\%$. The purpose of this study was to estimate the share of logging residues in the total volume of the harvested biomass and to determine the difference and error between the estimated volume to be sold and actually harvested. The research was carried out at the 164 logging sites located in 10 forest districts of north-eastern part of Poland. The average volume of logging residues was $37.7 \pm 14.4 \text{ m}^3/\text{ha}$, and the average error of their estimation was -6.1% .

KEY WORDS

timber harvesting, forest biomass, logging residues, estimation

ADDRESSES

Arkadiusz Gendek ⁽¹⁾ – e-mail: arkadiusz_gendek@sggw.pl

Piotr Wężyk ⁽²⁾ – e-mail: piotr.wczyk@urk.edu.pl

Tadeusz Moskalik ⁽³⁾ – e-mail: tadeusz_moskalik@sggw.pl

⁽¹⁾ Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa

⁽²⁾ Instytut Zarządzania Zasobami Leśnymi, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

⁽³⁾ Katedra Użytkowania Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

W związku z obserwowanymi zmianami klimatu i ich skutkami trwają intensywnie poszukiwania nowych metod produkcji energii cieplnej i elektrycznej [Ghaly, Mansaray 1999]. Towarzyszy temu coraz większe zapotrzebowanie na biomasę energetyczną, do której zaliczyć można leśne pozostałości pozrębowe. Całkowite światowe zapotrzebowanie na energię z przetwarzania biomasy pokrywane jest obecnie na poziomie 14% [Cardoso i in. 2011]. Z kolei Röder [2018] uważa, że wykorzystując pozostałości leśne, tartaczne i pelet drzewny do produkcji energii elektrycznej, można osiągnąć redukcję gazów cieplarnianych do 83% w porównaniu z wykorzystaniem w charakterze paliwa węgla. Poza tradycyjną biomasą pochodzenia rolniczego pozostałości leśne są

potencjalnym źródłem bioenergii i mogą służyć rozwojowi działalności gospodarczej małych społeczności wiejskich, jak również dużych aglomeracji miejskich [Röder 2018].

Trudne do określenia zmiany w ilości produkowanych pozostałości leśnych są bezpośrednio powiązane z założeniami zrównoważonego rozwoju leśnictwa, pozyskaniem drewna i łańcuchem dostaw pozostałości do odbiorcy końcowego [Chitawo i in. 2018]. Jednak klęski żywiołowe o wielkopowierzchniowym charakterze, do których zaliczyć można pożary czy wiatrołomy (np. huragan z sierpnia 2017 roku w Borach Tucholskich), powodują, że na rynek biomasy nie trafiają w ogóle pozostałości zrębowe lub mogą go całkowicie rozregulować zbyt wysoką podażą w krótkim czasie.

Pozostałości pozrębowe i produkowane z nich zrębki są obecnie jednym z najpowszechniej wykorzystywanych przez przemysł energetyczny źródeł energii odnawialnej w Polsce [Moskalik 2004, 2013; Gendek, Więsik 2015; Gendek, Zychowicz 2015; Gendek, Nurek 2016]. W skład pozostałości zrębowych wchodzić mogą nie tylko okrzeseane gałęzie, wierzchołki drzew czy niewymiarowe kawałki drewna, ale również krzewy z podszytu. Jak podaje Orzeł [2015], w drzewostanach sosnowych IV klasy wieku biomasa krzewów może wynosić nawet 2,3 t/ha. Masę pozostałości, zależnie od łącznej powierzchni zrębów w drzewostanach, można szacować na około 1,5 mln t, czyli około 1,5-2,3 mln m³ [Gornowicz i in. 2015]. Według innych badań biomasa leśna, którą można przeznaczyć na cele energetyczne, wynosi 11-16 mln m³ [Płotkowski 2007]. Z badań Zajączkowskiego [2013] wynika, że w 2011 roku pozyskano 1,62 mln m³ pozostałości pozrębowych, a teoretyczna baza drewna w lasach na cele energetyczne w latach 2021 oraz 2031 może wynieść odpowiednio 7,94 i 8,91 mln m³. Według tych szacunków pozyskanie pozostałości zrębowych w Polsce w roku 2021 może wynieść 2,08 mln m³, a w 2031 wzrośnie do 2,34 mln m³.

Udział pozostałości pozrębowych w ogólnej masie pozyskanego drewna jest zróżnicowany – wynosi średnio 11,14%, przy czym waha się od 6,85 do 17,15% i zależy w dużej mierze od typu siedliskowego lasu [Gałęzia 2016]. Wyniki na podobnym poziomie uzyskali Pilarek i in. [2007] oraz Moskalik i in. [2016]. Różański i Jabłoński [2009] podają, że średnie dorosłe drzewo składa się z 72 kg gałęzi i 67 kg gałązek z igłami. Przy 300-400 drzewach/ha daje to 21,6-28,8 t gałęzi i 20,1-26,8 t gałązek z igłami/ha. Udział biomasy drzewiastej, która tworzy pozostałości z pozyskiwania drewna, wynosi w całkowitej biomase drzewiastej powyżej 15%.

Informacje o bazie surowcowej polskich lasów, możliwościach i perspektywach pozyskiwania drewna są na bieżąco monitorowane przez wielu naukowców i praktyków [Jednoralski, Paschalis 2000; Czuba 2004; Ratajczak, Szostak 2004; Szempliński 2004; Gołos, Kaliszewski 2013; Paschalis-Jakubowicz i in. 2015]. Powstało również wiele opracowań dotyczących wzajemnych powiązań takich czynników jak struktura powierzchniowa, rozdrobnienie powierzchni leśnych, wielkość pojedynczych zadań [Szujewski 2009], wydajność operacyjna wysokowydajnych maszyn leśnych oraz organizacja pracy i logistyka dostaw biomasy do zakładów energetycznych [Nurek, Gendek 2016; Zychowicz i in. 2016] czy zmiana parametrów zrębków tam dostarczanych [Gendek i in. 2018a, b].

W PGL Lasy Państwowe obrót pozostałościami drzewnymi na cele energetyczne oparty jest o zasady, według których powierzchnię do pozyskiwania pozostałości pozrębowych wskazuje leśniczy, przy niezbędnej akceptacji nadleśniczego [Skorygowane... 2011]. Szacowanie przewidywanej miąższości pozostałości z danej pozycji cięć wykonuje się na podstawie szacunku na powierzchni zrębowej. Nadleśnictwo sporządza protokół i publikuje ofertę sprzedaży w aplikacji e-drewno (grupa handlowo-gatunkowa M2E), informując potencjalnych nabywców o dokładności szacunku, wynoszącym ±40%. W przypadku większego błędu niedoszacowania lub przeszacowania przewidziane są w umowie odpowiednie kary finansowe dla sprzedającego i kupującego.

Ze względu na tak duży dopuszczalny błąd szacowania masy pozostałości zrębowych przyjęty i stosowany w Polsce model leśnictwa wielofunkcyjnego wymaga znacznie precyzyjniejszej informacji o wszystkich komponentach zasobów leśnych. Tradycyjne metody pozyskiwania informacji o drzewostanach gromadzone podczas inwentaryzacji lasu należy zastępować innowacyjnymi rozwiązaniami, np. poprzez wprowadzanie na szeroką skalę technologii skanowania laserowego, fotogrametrii czy teledetekcji [Wężyk i in. 2010; Wężyk 2012; Hawryło i in. 2017, 2018].

Celem pracy było określenie udziału biomasy energetycznej (M2E) w ogólnej masie surowca pozyskanego z powierzchni zrębowej. Określono różnice i błędy pomiędzy szacowaną do sprzedaży a faktycznie pozyskaną i sprzedaną masą pozostałości pozrębowych.

Materiał i metody

Analizie poddano dane zebrane ze 164 powierzchni drzewostanowych, na których prowadzone było pozyskiwanie pozostałości zrębowych na cele energetyczne. Powierzchnie rozmieszczone były na terenie 10 leśnictw zlokalizowanych w nadleśnictwie położonym w północno-wschodniej części kraju. Pozyskiwane w latach 2013-2017 pozostałości zrębowe (M2E) sprzedawane były w ramach aukcji internetowych na portalu e-drewno zgodnie z obowiązującymi zasadami [Skorygowane... 2011; Zarządzenie... 2016].

Dane dotyczące rębni, drzewostanów, siedliska i pozyskania drewna na poszczególnych powierzchniach zaczerpnięto z bazy SILP nadleśnictwa. Drzewostany na analizowanych powierzchniach użytkowane były rębniami: IB (127 powierzchni), IIIA (16), IIIAU (6), IIIB (9), IIIBU (5) oraz ICW (1). Gatunkami dominującymi na powierzchniach według bazy danych SILP były: sosna zwyczajna (118), świerk pospolity (38), dąb szypułkowy (3), brzoza brodawkowata (4) oraz olsza czarna (1). Użytkowane drzewostany wzrastały na siedliskach: Bśw (1), BMśw (105), LMśw (43), LMw (1), Lśw (13) oraz Lw (1) i charakteryzowały się bonitacją IA (79), I (71) oraz II (14).

W przypadku badanego nadleśnictwa szacowanie przewidywanej miąższości pozostałości zrębowych dla danej pozycji cięć wykonywano na podstawie lustracji w terenie z wykorzystaniem już zgromadzonych danych archiwalnych z poprzednich lat. Na podstawie szacunków przyjęto, że na powierzchniach zrębowych pozostałości M2E stanowią około 10-15% pozyskanej masy grubizny.

Udział pozostałości określono jako stosunek miąższości sprzedanych pozostałości zrębowych do miąższości pozyskanego drewna wielko- i średniowymiarowego (W+S). Błąd szacowania pozostałości określony został jako różnica pomiędzy miąższością pozostałości oszacowaną przez leśniczego i wystawioną do sprzedaży na aukcji internetowej a miąższością pozostałości sprzedanych z danej powierzchni leśnej. Ujemny błąd oznacza, że leśniczy nie doszacował masy pozostałości zrębowych, czyli wystawiono do sprzedaży mniej, niż wynikało to z rozliczenia końcowego. Z kolei błąd dodatni oznacza przeszacowanie i wystawienie do sprzedaży większej ilości pozostałości zrębowych niż znajdowało się ich na powierzchni leśnej. Do analizy przyjęto tylko powierzchnie, na których sprzedano wszystkie pozostałości.

Analizy statystyczne (określenie rozkładu normalnego, ANOVA, wyznaczenie grup jednorodnych przy użyciu testu *post hoc* porównań wielokrotnych) przeprowadzone zostały w programie Statistica 13 (Dell Inc.) przy poziomie istotności $\alpha=0,05$.

Wyniki

POZYSKANIE DREWNA I UDZIAŁ POZOSTAŁOŚCI POZRĘBOWYCH M2E. Średnie pozyskanie drewna wielkowymiarowego i średniowymiarowego (W+S) na analizowanych powierzchniach wynosiło w kolejnych latach okresu 2013-2017 odpowiednio: 310,7 \pm 73,3, 331,2 \pm 88,2, 357,0 \pm 112,5, 362,1

$\pm 95,2$ i $334,5 \pm 76,4$ m³/ha. Nie stwierdzono różnicy pomiędzy średnim pozyskaniem grubizny w poszczególnych latach ($F=1,3386$, $p=0,2579$). Dla całego rozpatrywanego okresu średnio wyniosło ono $344,1 \pm 94,7$ m³/ha i wahało się w zakresie 120,7-559,5 m³/ha. Średnie pozyskanie sortymentów grubizny w poszczególnych leśnictwach kształtowało się od 298,3 do 401,4 m³/ha. Stwierdzono istotne statystycznie różnice w pozyskaniu pomiędzy poszczególnymi leśnictwami ($F=2,3319$, $p=0,0172$) (tab. 1).

Średnia miąższość pozostałości zrębowych pozyskanych ze 164 analizowanych powierzchni wyniosła $37,7 \pm 14,4$ m³/ha i dla poszczególnych analizowanych leśnictw mieściła się w zakresie 29,0-58,8 m³/ha. Stwierdzono istotną różnicę badanej cechy pomiędzy leśnictwami ($F=6,7560$, $p<0,0001$) (tab. 1). Istotny statystycznie wpływ ($F=7,6198$, $p=0,0007$) na miąższość pozyskiwanych pozostałości zrębowych ma niewątpliwie typ siedliskowy lasu.

Średni udział pozostałości pozrębowych na wszystkich rozpatrywanych powierzchniach w stosunku do masy pozyskania W+S wyniósł $11,3 \pm 3,9\%$. W poszczególnych leśnictwach mieścił się on w granicach od 9,4 do 17,4%. Stwierdzono istotne różnice między poszczególnymi leśnictwami (ryc. 1). Rozpatrując średni udział pozostałości zrębowych w pozyskaniu W+S w zależności od siedliska, stwierdzono różnice istotne statystycznie ($F=8,2710$, $p=0,0003$) (tab. 2). Gatunek panujący w danym drzewostanie (na danej powierzchni) nie miał istotnego wpływu na udział pozyskiwanych pozostałości zrębowych ($F=0,0439$, $p=0,7078$).

BŁĄD SZACOWANIA POZOSTAŁOŚCI POZRĘBOWYCH. Średni błąd szacowania pozostałości zrębowych wyniósł $-6,1\%$ i wahał się w poszczególnych leśnictwach w zakresie od $-33,6 \pm 7,2$ (les-6) do $+4,8 \pm 31,8\%$ (les-3). Stwierdzono statystycznie istotne różnice w średnim błędzie szacowania pomiędzy leśnictwami ($F=1,9784$, $p=0,0452$) (ryc. 2). Gatunek panujący nie wpływał na błąd szacowania ilości pozostałości zrębowych na poszczególnych powierzchniach badawczych.

Stwierdzono brak zależności między wielkością powierzchni zrębowej a błędem szacowania udziału pozostałości pozrębowych ($r=0,1058$; ryc. 3). Wielkość błędów szacowania wahała się najczęściej w przedziale od -40 do $+40\%$. O ile nie obserwowano przypadków niedoszacowania udziału pozostałości poniżej -40% , to zdecydowanie częściej zauważalne były błędy szacowania powyżej $+40\%$, dochodzące do $+54,2\%$.

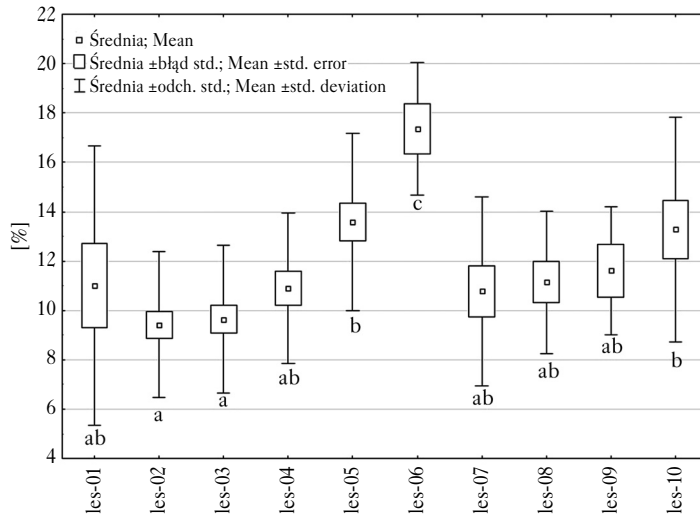
Tabela 1.

Średnie (\pm odchylenie standardowe) pozyskanie drewna W+S (V_{WS}) oraz pozostałości zrębowych (V_p) w badanych leśnictwach [m³/ha]

Mean (\pm standard deviation) of timber harvesting W+S (V_{WS}) and logging residues (V_p) in the analyzed forest districts [m³/ha]

	V_{WS}	CI		V_p	CI	
les-01	326,8 \pm 107,8abc	254,4	399,2	31,5 \pm 10,1ab	24,7	38,3
les-02	351,8 \pm 86,0abc	319,7	383,9	32,1 \pm 10,3ab	28,3	36,0
les-03	313,0 \pm 100,1ac	274,2	351,8	29,0 \pm 10,7a	24,8	33,1
les-04	343,4 \pm 93,6abc	298,3	388,5	36,4 \pm 10,5abc	31,4	41,5
les-05	298,3 \pm 57,3c	272,9	323,7	40,0 \pm 11,1abcd	35,0	44,9
les-06	338,7 \pm 132,6abc	216,0	461,4	58,8 \pm 23,2e	37,3	80,3
les-07	401,2 \pm 79,9b	355,0	447,3	42,5 \pm 16,1bcd	33,3	51,8
les-08	348,9 \pm 84,8abc	295,0	402,8	38,6 \pm 12,3abc	30,7	46,4
les-09	389,7 \pm 74,3ab	311,7	467,7	44,8 \pm 10,4cd	33,9	55,7
les-10	394,7 \pm 107,7ab	335,1	454,3	49,8 \pm 16,3de	40,8	58,8

CI – dolna i górna granica 95-procentowego przedziału ufności dla średniej; te same litery oznaczają grupy jednorodne dla $p=0,05$
 CI – lower and upper limit of 95% confidence interval for the mean; the same letters indicate homogenous groups for $p=0,05$



Ryc. 1.

Udział [%] pozostałości zrębowych w stosunku do pozyskania grubizny w poszczególnych leśnictwach
Share [%] of logging residues in relation to harvested timber in individual forest districts

Ta sama litera oznacza grupy jednorodne (p=0,05)
The same letter indicates homogenous groups (p=0.05)

Tabela 2.

Średnie (±odchylenie standardowe) pozyskanie (V_{ps} [m³/ha]) oraz udział (U_{ps} [%]) pozostałości zrębowych w zależności od typu siedliskowego lasu

Mean (±standard deviation) volume (V_{ps} [m³/ha]) and fraction (U_{ps} [%]) of logging residues depending on the forest site type

	V_{ps}	CI		U_{ps}	CI	
BMśw	34,8 ±12,2a	32,4	37,1	10,5 ±3,6a	9,9	11,2
LMśw	44,4 ±17,2b	39,1	49,7	13,3 ±4,3b	12,0	14,6
Lśw	40,5 ±14,2ab	31,9	49,1	11,0 ±3,4a	8,9	13,0

oznaczenia jak w tabeli 1

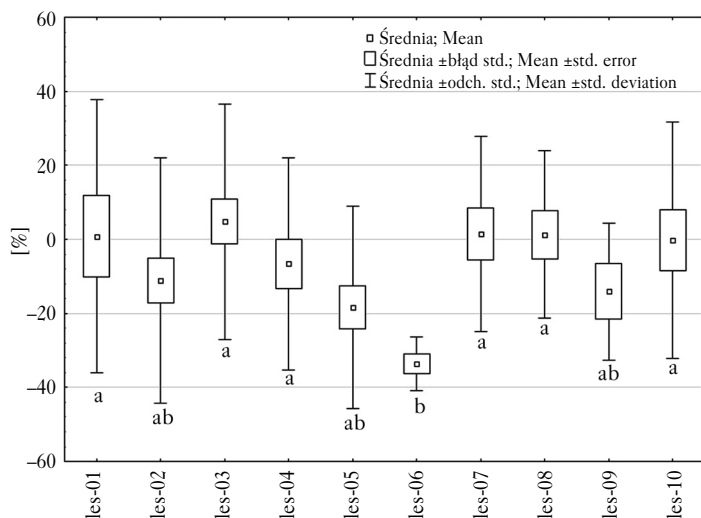
denotes as in table 1; BMśw – fresh mixed coniferous, LMśw – fresh mixed deciduous, Lśw – fresh deciduous forest site type

Dyskusja

Wraz z przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej stale rosną wymagania w stosunku do udziału energii uzyskiwanej ze źródeł odnawialnych. Do roku 2020 nasz kraj zobligowany jest w tym zakresie do osiągnięcia 15%. W związku z tym podejmowane są między innymi różnego rodzaju działania zmierzające do szerszego wykorzystania biomasy do celów energetycznych. W ostatnim okresie duże zainteresowanie skupione jest także na biomase pochodzącej z terenów leśnych. Dotyczy to przede wszystkim drewna okrągłego o niskiej jakości technicznej, drewna małowymiarowego oraz pozostałości pozrębowych.

Przez wiele lat z pozostałości pozrębowych wyrabiane było drewno małowymiarowe (M2), przeznaczone do sprzedaży detalicznej i wykorzystywane przez społeczności lokalne do celów grzewczych. Coraz częściej spotykane są przypadki wzrostu zainteresowania takim surowcem ze strony dużych odbiorców produkujących energię cieplną bądź elektryczną.

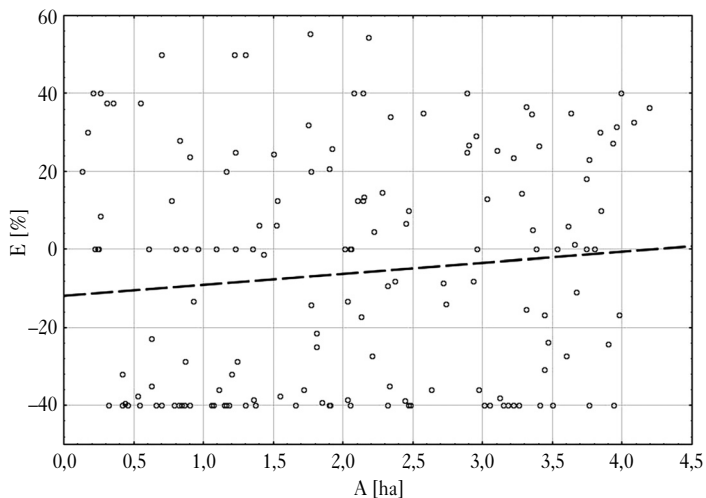
Uwzględniając cały szereg czynników, takich jak struktura powierzchniowa, rozdrobnienie powierzchni leśnych, wydajność operacyjna wysokowydajnych maszyn leśnych oraz organizacja



Ryc. 2.

Średni błąd szacowania [%] w poszczególnych leśnictwach

Average error of estimation [%] in individual forest districts

Ta sama litera oznacza grupy jednorodne ($p=0,05$)The same letter indicates homogenous groups ($p=0.05$)

Ryc. 3.

Zależność pomiędzy wielkością powierzchni zrębowej (A) a błędem szacowania udziału pozostałości pozrębowych (E)

Relationship between size of the cut area (A) and estimation error of the share of logging residues (E)

pracy i logistyka dostaw biomasy do zakładów energetycznych, ważne jest dokładne szacowanie pozostałości pozrębowych. Jest to istotne z punktu widzenia zarówno właściciela lasu, jak i przedsiębiorcy leśnego, który ma podpisane kontrakty na dostawę biomasy z zakładami energetycznymi. Ważne jest, aby błąd szacowania był jak najmniejszy, a przede wszystkim, żeby szacunki leśniczego nie były zawyżone w stosunku do rzeczywistej masy pozostałości na powierzchni leśnej.

Średnia miąższość pozostałości pozrębowych wynosi 37,7 m³/ha, co stanowi 11,3% masy grubizny. W poszczególnych leśnictwach udział ten jest zróżnicowany i waha się od 9,12 do 17,36%. W odniesieniu do całej nadziemnej biomasy pozyskiwanych drzew wynosi on odpowiednio 8,36 i 14,79%. Wyniki na podobnym poziomie uzyskiwali Pilarek i in. [2007], Róžański i Jabłoński [2009], Wężyk i in. [2012], Gałęzia [2016] oraz Moskalik i in. [2016].

Udział pozostałości pozrębowych w znacznym stopniu zależy od typu siedliskowego lasu. Wyniki uzyskane w analizowanych drzewostanach wskazują, że udział ten wzrasta wraz z żyznością siedliska. W LMśw wyniósł on 13,3%, a w BMśw 10,5%. Podobny trend zaobserwował Gałęzia [2016]. Wyniki dla wymienionych siedlisk wynosiły odpowiednio 17,15 i 9,89%. Najmniejsze wartości (7,94%) wykazano w tych badaniach dla Bśw.

Średni błąd szacowania pozostałości pozrębowych wyniósł -6,1%. Jak wynika z ryciny 2, w pięciu analizowanych leśnictwach był on zbliżony do zera. W pozostałych jednostkach przyjmował wartości ujemne, co oznacza, że pracownicy administracji leśnej nie doszacowali ilości pozostałości po zrębie. Na błąd szacowania nie wpływała wielkość powierzchni, na której wykonywano prace zrębowe. Niemniej jednak rozrzut błędów był dość znaczny, z reguły nieprzekraczający założonych $\pm 40\%$. Przyjęte przez Lasy Państwowe wartości brzegowe błędów szacowania udziału pozostałości pozrębowych są duże, a przedsiębiorca uprzątający powierzchnię z pozostałości zrębowych (zazwyczaj poprzez zrębkowanie) już na etapie planowania prac musi uwzględnić strategię działań jednostek biorących udział w procesie przepływu drewna. Na podstawie ustalonych z odbiorcą terminów i ilości biomasy musi dopasować trasy oraz liczbę maszyn i pojazdów do obsługi danego zadania. Przedsiębiorca nie powinien skupiać się na przemieszczaniu maszyn do zadań położonych w sąsiednim lub bardziej odległym kompleksie leśnym, ale na wykonaniu pracy w miejscu, gdzie biomasa została precyzyjnie oszacowana. Ze względu na podpisane z zakładami energetycznymi kontrakty na dostawę zrębków ważne jest, aby błąd szacowania pozostałości był jak najmniejszy, a przede wszystkim, żeby szacunki leśniczego nie były zawyżone w stosunku do rzeczywistej masy pozostałości na powierzchni leśnej. Jest to związane m.in. z wywiązywaniem się z zawartych kontraktów z elektrociepłowniami, a tym samym z rozwojem firmy. Wydaje się zatem, że z punktu widzenia odbiorców pozostałości zrębowych i planowania rytmiczności dostaw poziom założonych błędów dla pojedynczych powierzchni powinien być nieco mniejszy. Wykorzystać w tym celu można zapewne System Informatyczny Lasów Państwowych, bazując na wynikach pozyskania surowca M2E z lat poprzednich.

Możliwe jest w tym zakresie również opracowanie modeli matematycznych do szacowania biomasy pozrębowej wykorzystujących parametry określone automatycznie na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego, wspartego opracowaniem lokalnych taryf (np. liczb kształtu dla lokalnych ras np. sosny) oraz innych danych teledetekcyjnych (np. wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych lub zdjęć lotniczych) wspierających klasyfikację gatunków, co daje podstawę do precyzyjnego szacowania biomasy nadziemnej w lasach. Chmury punktów 3D pochodzące z lotniczego skanowania laserowego obejmują około 95% terytorium Polski. Zostały one pozyskane w latach 2011-2017, głównie z funduszy UE, i są nieodpłatne dla PGL LP. Ich wykorzystanie w kierunku szacowania biomasy poprzez precyzyjne określenie wybranych parametrów biometrycznych drzew (wysokość i liczba drzew) i drzewostanów (np. zwarcie, struktura piętrowa – obecność podszytów, porostów, drugiego piętra) wydaje się być bezwzględnie wskazane. W sytuacji nieaktualności danych można wykorzystać chmury punktów generowane metodami pasowania zdjęć lotniczych pozyskiwanych co około 3 lata.

Wnioski

- ✦ Średnia miąższość pozostałości pozrębowych przeznaczonych do sprzedaży jako sortyment M2E, pozyskiwanych z drzewostanów dojrzałych, wynosi 37,7 m³/ha i dla poszczególnych analizowanych leśnictw zawiera się w zakresie 29,0-58,8 m³/ha. Stwierdzono jednocześnie istotne statystycznie różnice badanej cechy pomiędzy leśnictwami.
- ✦ Udział pozostałości pozrębowych w stosunku do masy grubizny pozyskiwanej z jednostki powierzchni zrębowej stanowi 11,3%. W poszczególnych jednostkach administracyjnych jest zróżnicowany i waha się od 9,12 do 17,36%. W odniesieniu do całej nadziemnej biomasy pozyskiwanych drzew surowiec M2E stanowi odpowiednio 8,36 i 14,79%.
- ✦ Stwierdzono istotny statystycznie wpływ typu siedliskowego lasu na wielkość pozyskania sortymentu M2E. Największe wartości zaobserwowano na siedlisku LMśw.
- ✦ Średni błąd szacowania pozostałości zrębowych wyniósł -6,1% i mieścił się w poszczególnych leśnictwach w zakresie od -33,6 do +4,8 %.
- ✦ W celu zwiększenia dokładności szacowania wielkości pozyskania pozostałości pozrębowych należy opracować odpowiednie modele matematyczne wykorzystujące parametry określone automatycznie, stosując na szeroką skalę technologie skanowania laserowego, fotogrametrii oraz teledetekcji.

Literatura

- Cardoso C. R., Miranda M. R., Santos K. G., Ataíde C. H. 2011. Determination of kinetic parameters and analytical pyrolysis of tobacco waste and sorghum bagasse. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 92 (2): 392-400.
- Chitawo M. L., Chimphango A. F. A., Peterson S. 2018. Modelling sustainability of primary forest residues-based bioenergy system. *Biomass and Bioenergy* 108, Supplement C: 90-100.
- Czuba M. 2004. Ocena możliwości pozyskania drewna w Lasach Państwowych. *Przemysł Drzewny* 55 (6): 42-44.
- Gałązka T. 2016. Economic methods for the utilisation of logging residues. *Forest Research Papers* 77 (1): 50-55.
- Gendek A., Malaták J., Velebil J. 2018a. Wpływ technologii pozyskania i składu zrębków leśnych na ich wartość opałową i zawartość popiołu. *Sylvan* 162 (3): 248-257.
- Gendek A., Nurek T. 2016. Variability of energy woodchips and their economic effects. *Folia Forestalia Polonica A* 58 (2): 62-71.
- Gendek A., Nurek T., Zychowicz W., Moskalik T. 2018b. Effects of intentional reduction in moisture content of forest wood chips during transport on truckload price. *BioResources* 13 (2): 4310-4322.
- Gendek A., Więsik J. 2015. Rębarki. W: Więsik J. [red.] *Urządzenia techniczne w produkcji leśnej. T. 2. Maszyny i urządzenia do pozyskiwania i transportowania drewna*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 321-351.
- Gendek A., Zychowicz W. 2015. Analysis of wood chippings fractions utilized for energy purposes. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture* 65: 79-91.
- Ghaly A. E., Mansaray K. G. 1999. Comparative study on the thermal degradation of rice husks in various atmospheres. *Energy Sources* 21: 867-881.
- Gołos P., Kaliszewski A. [red.] 2013. *Biomasa leśna na cele energetyczne*. Instytut Badawczy Leśnictwa. Sękocin Stary.
- Gornowicz R., Gałązka S., Kuźmiński R., Kwaśna H., Łabędzki A., Łakomy P., Pilarek Z., Polowy K., Sierota Z. 2015. Biomasa leśna jako źródło bioenergii i istotny składnik ekosystemu leśnego. W: Sierota Z. [red.] *Wyzwania i szanse leśnictwa XXI wieku*. Instytut Badawczy Leśnictwa. Sękocin Stary. 61-67.
- Hawryło P., Bednarz B., Wężyk P., Szostak M. 2018. Estimating defoliation of Scots pine stands using machine-learning methods and vegetation indices of Sentinel-2. *European Journal of Remote Sensing* 51 (1): 194-204.
- Hawryło P., Tompalski P., Wężyk P. 2017. Area-based estimation of growing stock volume in Scots pine stands using ALS and airborne image-based point clouds. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 90 (5): 686-696.
- Jednoralski G., Paschalis P. 2000. Zarys studium rynku leśno-drzewnego w Polsce. *Sylvan* 144 (12): 27-37.
- Moskalik T. 2004. *Model maszynowego pozyskiwania drewna w zrównoważonym leśnictwie polskim*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Moskalik T. 2013. Techniczne, technologiczne i organizacyjne uwarunkowania pozyskania i transportu drewna energetycznego. W: Gołos P., Kaliszewski A. [red.] *Biomasa leśna na cele energetyczne*. Instytut Badawczy Leśnictwa. Sękocin Stary. 107-118.

- Moskalik T., Sadowski J., Zastocki D. 2016. Wybrane technologiczne i ekonomiczne aspekty balotowania pozostałości poźrebowych. *Sylwan* 160 (1): 31-39.
- Nurek T., Gendek A. 2016. Wpływ wybranych czynników logistycznych na wydajność i koszty eksploatacji maszyn leśnych. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomika i Organizacja Logistyki* 1 (2): 45-55.
- Orzeł S. 2015. Skład gatunkowy i biomasa nadziemna krzewów w podszycie drzewostanów Puszczy Niepołomickiej. *Sylwan* 159 (10): 848-856.
- Paschalis-Jakubowicz P., Kulik P., Lachowicz H. 2015. Potencjalna ilość surowca drzewnego najwyższych klas jakości w Polsce. *Sylwan* 159 (3): 188-200.
- Pilarek Z., Gornowicz R., Gałązka S. 2007. Biomass of pine saw timber stands growing on the fresh mixed coniferous site. *Acta Scientiarum Polonorum – Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 6 (2): 79-85.
- Płotkowski L. 2007. Bilans biomasy z lasów, stan obecny i prognoza średnio- i długookresowa. W: *Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa. Szanse i problemy*. Wydawnictwo „Wies Jutra”, Warszawa.
- Ratajczak E., Szostak A. 2004. Zapotrzebowanie przemysłu drzewnego na surowiec w perspektywie najbliższych lat. *Przemysł Drzewny* 55 (6): 45-48.
- Röder M. 2018. Chapter 14 – Electricity From North American Forest Residues. W: Thornley P., Adams P. [red.]. *Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems*. Academic Press. 207-214.
- Różański H., Jabłoński K. 2009. Economic effectiveness of logging residue bundling and chipping. *Acta Scientiarum Polonorum – Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 8 (2): 47-51.
- Skorygowane zasady obrotu i ewidencji pozostałości drzewnych (drobnicy) na cele energetyczne – M2E. *Zrębki energetyczne M2ZE i baloty M2BE*. 2011. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.
- Szempliński A. 2004. Zasoby drzewne w Lasach Państwowych – stan obecny i perspektywy. *Przemysł Drzewny* 55 (6): 37-41.
- Szujecki A. 2009. Wielkopowierzchniowa ochrona przyrody w lasach państwowych. *Studia i Materiały CEPL* 21: 10-16.
- Wężyk P. 2012. The integration of the terrestrial and airborne laser scanning technologies in the semi-automated process of retrieving selected trees and forest stand parameters. *Ambiencja* 8 (4): 533-548.
- Wężyk P., Szostak M., Tompalski P. 2012. Określenie biomasy sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Puszczy Niepołomickiej na podstawie przestrzennego rozkładu chmury punktów naziemnego skaningu laserowego. *Roczniki Geomatyki – Annals of Geomatics* 10 (55): 79-89.
- Wężyk P., Tompalski P., Kok R. D., Szostak M., Kukawski M. 2010. Metoda szacowania liczby drzew w drzewostanie sosnowym z wykorzystaniem danych ALS oraz ortoobrazów. *Sylwan* 154 (11): 773-782.
- Zajączkowski S. 2013. Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne. W: Gołoś P., Kaliszewski A. [red.]. *Biomasa leśna na cele energetyczne*. Instytut Badawczy Leśnictwa. Sękocin Stary. 21-32.
- Zarządzenie nr 46 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 24 października 2016 r. w sprawie sprzedaży drewna prowadzonej przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe. 2016. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.
- Zychowicz W., Moskalik T., Gendek A., Nurek T., Kikułski J. 2016. Logistic analysis of wood chips procurement chain from forest to power industry plants. W: Gendek A., Moskalik T. [red.]. *From Theory to Practice: Challenges for Forest Engineering*. Proceedings and Abstracts of the 49th Symposium on Forest Mechanization. P.W. Polimax S.c., Warsaw, Poland. 169-170.