

JACEK BRZÓZKO, PRZEMYSŁAW SAMORAJ, URSZULA BŁUSZKOWSKA, MONIKA ANISZEWSKA

## Wpływ wilgotności i gatunku drewna opałowego na przebieg procesu łupania

Effect of humidity and species of firewood on the course of cleaving

### ABSTRACT

Brzózko J., Samoraj P., Błuszkowska U., Aniszewska M. 2017. Wpływ wilgotności i gatunku drewna opałowego na przebieg procesu łupania. Sylwan 161 (8): 685-692.

Traditional firewood is still the most popular type of solid fuel. This is mainly because of the availability of raw materials and simple production process, which involves mostly just sawing and cleaving. Cleaving increases the surface of the wood through which water evaporates, which in turn speeds up the drying. Dry wood has a higher calorific value and its combustion releases less harmful carbon monoxide and hydrocarbons. Wood cleaving process can be divided into three phases that lasts from the introduction of the wedge till the appearance of a crack (phase I), from the appearance of the crack till the stop of the slots (phase II) and then until the piece of the wood is completely cleaved (phase III). Although it is a conditional phase and it does not always occur in the case of the firewood species popular in Poland, the last phase takes the longest and has the greatest impact on the cleaving performance. The aim of the study was to determine the effect of wood and its moisture content on the duration of the phase III during the trial cleaving. The tested samples comprised of five popular in Poland species: hornbeam, beech, birch, alder and ash. The cleaving were carried out immediately after cutting and sawing the timber and after 3-month-long period of natural drying. For hornbeam, beech and alder humidity does not affect the hollow wedge in wood at the time of rupture. The duration of phase III was significantly longer than duration of phases I and II for each species independently of humidity. Significant dependence was observed for depression wedge as a function of humidity obtained in phase I and II for silver birch, and in phase III for ash.

### KEY WORDS

wood splitting, solid biofuels, wood moisture

### ADDRESSES

Jacek Brzózko – e-mail: jacek\_brzozko@sggw.pl

Przemysław Samoraj, Urszula Błuszkowska, Monika Aniszewska

Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

## Wstęp

Biopaliwa stałe, np. w postaci peletu lub brykietów, są coraz bardziej popularne w Europie. Ich zużycie jest jednak cały czas niewielkie w stosunku do tradycyjnego drewna opałowego [Trømborg i in. 2008]. W krajach skandynawskich drewno opałowe zaspokaja 20-25% potrzeb grzewczych jednorodzinnych gospodarstw domowych [Halder i in. 2010]. Pokrywa to zapotrzebowanie około 20 mln m<sup>3</sup> rocznie dla całej Skandynawii [Lindroos 2011]. Jeszcze więcej drewna opałowego

zużywają kraje na południu Europy, np. Francja 22 mln m<sup>3</sup> [Elyakime, Cabanettes 2013], a Włochy 18 mln m<sup>3</sup> [Caserini i in. 2008]. W całej Europie wykorzystuje się około 100 mln m<sup>3</sup> drewna opałowego rocznie. Drewno kominkowe stanowi zdecydowaną większość drewna opałowego. W porównaniu do innych rodzajów stosowanych paliw korzyści z używania drewna kominkowego wynikają głównie ze zdecentralizowanej jego dostępności, jak i prostego procesu produkcyjnego – obejmującego zazwyczaj tylko przerzynkę i łupanie [Lindroos 2008]. Prostota procesu produkcji drewna kominkowego powoduje, że może być ona prowadzona przez małe przedsiębiorstwa lub osoby fizyczne [Kärhä, Jouhiahio 2009].

Łupanie drewna wykonuje się głównie ze względu na konieczność zmiany wymiarów oraz wagi drewna okrągłego. Rozłupanie drewna powoduje również zwiększenie powierzchni odparowywania wody, a przez to szybsze wysychanie drewna. Wysoka wilgotność w przypadku drewna opałowego ma wpływ przede wszystkim na jego wartość opałową oraz emisję tlenku węgla (CO) i węglowodorów (THC) podczas jego spalania. Według Henriksena i in. [2006] drewno wilgotne emituje podczas spalania 300-900% więcej węglowodorów aromatycznych (WWA) niż suche. Ministerstwo Środowiska Danii zaleca, aby w piecach domowych wilgotność drewna nie przekraczała 18% [Sådan... 2010]. Składowanie drewna łupanego przez okres od wiosny do zimy powoduje zwiększenie jego wartości opałowej o około 58% w porównaniu do drewna świeżo ściętego [Stanzl-Tschegg i in. 1995].

Każdy gatunek drewna charakteryzuje się określoną podatnością na rozłupanie w kierunku wzdłużnym, czyli łupliwością. Największą łupliwość wykazuje bambus, bardzo dużą świerk, jodła i topola, dużą – dąb, buk zwyczajny, olsza czarna i sosna, małą – jesion wyniosły i śliwa, bardzo małą – wiąz, grab pospolity i brzoza brodawkowata, skrajnie małą – heban i palisander, zaś gwajak i palmy uważane są za gatunki niełupliwe [Więsik i in. 2015]. Łupliwość zmniejszają wady budowy drewna, jak sękowatość, falistość lub skręt włókien. Łupliwość drewna jest parametrem wpływającym na siłę potrzebną do rozłupania. Jagusiak i Więsik [1991] stwierdzili, że przy podziale wyrzynka na dwie części opory łupania dębu są prawie dwukrotnie większe niż sosny i grabu, zaś przy łupaniu na cztery części tylko o 17-25%. Ta cecha jest jednym z powodów regulacji liczby płaszczyzn rozłupu w nowoczesnych łuparkach hydraulicznych.

Łuparki to urządzenia mechaniczne służące do łupania drewna. Poszczególne modele łuparek różnią się między sobą systemem pracy (ciągła lub przerywana), ustawieniem wyrzynka (pionowe lub poziome), elementem przesuwym (klin lub stempel) czy maksymalną średnicą obrabianych wyrzynków. Najczęściej spotykanym rozwiązaniem w profesjonalnych łuparkach jest układ z poziomym siłownikiem hydraulicznym poruszającym wyrzynek (poprzez stempel). W wyniku działania siłownika wyrzynek zostaje napchnięty na nieruchomy klin, na którym następuje jego rozłupanie. Taka konstrukcja ułatwia łupanie wyrzynków na kilka, a nawet kilkanaście części podczas jednego skoku siłownika.

Proces łupania można podzielić na trzy fazy [Więsik i in. 2015]. Pierwsza (I) obejmuje czas od rozpoczęcia kontaktu ostrza klina z drewnem do chwili pojawienia się maksymalnej siły nacisku na siłowniku. W wyniku oddziaływania bocznych ścian klina następuje nagromadzenie w wyrzynku energii sprężystej, która w chwili wystąpienia naprężeń granicznych powoduje powstanie szczeliny. Faza druga (II) trwa od chwili pojawienia się szczeliny (postępującej szybciej niż klin) w wyrzynku do chwili jej zatrzymania. Wartość siły nacisku szybko maleje. Faza ostatnia (III) to czas od chwili zatrzymania rozwijania się szczeliny do chwili pełnego rozdzielania wyrzynka. Faza ta jest fazą warunkową, która występuje tylko wtedy, gdy energia sprężysta wywołana w fazie II jest niewystarczająca do całkowitego rozłupania wyrzynka.

Istotnym parametrem pracy łuparek jest ich wydajność, która zwłaszcza w przypadku zastosowań profesjonalnych stanowi główne kryterium doboru maszyny. Ruch siłownika podczas fazy I jest wolny, wymaga bowiem uzyskania znacznej siły. Faza II trwa bardzo krótko i nie ma wpływu na wydajność pracy. Konieczność przemieszczania klina w głąb wyrzynka (faza III) znacznie wydłuża czas trwania cyklu pracy, a przez to zmniejsza jej wydajność. Wydajność procesu łupania drewna badali przede wszystkim autorzy skandynawscy [Ryyänen, Turkkilä 1982; Swartström 1986; Björheden 1989]. Z kolei Manzoni i Spinelli [2014] w warunkach włoskich uzyskali wydajność 1-2 t/h i była ona znacznie mniejsza niż w krajach skandynawskich (4-6 t/h [Kärhä, Jouhio 2009] lub 5,8-7,7 m<sup>3</sup>/h [Jaeaskelainen 1995]). Autorzy ci stwierdzili, że głównymi czynnikami wpływającymi na wydajność łupania drewna są gatunek, średnica i wilgotność. Nie uwzględniali oni jednak faz procesu łupania drewna.

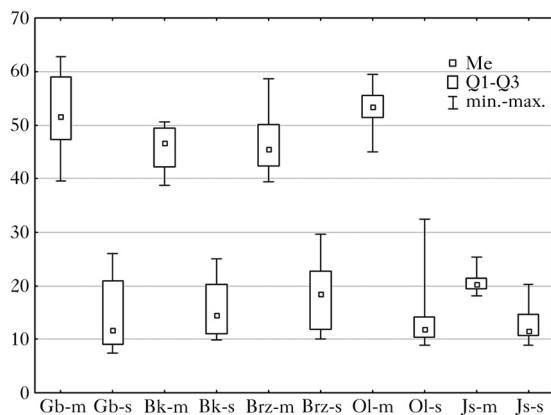
Celem pracy było określenie wpływu gatunku drewna oraz jego wilgotności na przebieg procesu łupania, a w szczególności na czas trwania fazy III, zmniejszającej wydajność łupania. Znajomość przebiegu tego procesu może pozwolić na odpowiednią regulację pracy układu hydraulicznego łuparki, a przez to na zwiększenie jego wydajności, zwłaszcza w układach rozluźniających działających autonomicznie.

## Material i metody

Badania obejmowały próbki (wyrzynki) następujących gatunków: grab pospolity (*Carpinus betulus* L.), buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.), brzoza brodawkowata (*Betula pendula* L.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* L.) i jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.). Są to gatunki drewna liściastego preferowane przez kupujących surowiec na składach drewna opałowego. Wynika to głównie z ich pożądaných własności fizycznych, jak duża gęstość objętościowa (grab pospolity, buk zwyczajny, jesion wyniosły), lub atrakcyjnej ceny (brzoza brodawkowata, olsza czarna). Długość próbek była stała i wynosiła 40 centymetrów. Po przygotowaniu świeżo ściętego materiału nastąpił losowy podział próbek na gotowe do badań i przeznaczone do wysuszenia. Próbki gotowe do badań zostały połupane, natomiast próbki przeznaczone do suszenia umieszczono w miejscu zadaszonym i przewiewnym, zgodnie z zasadami suszenia naturalnego. Wyjątek stanowiły próbki jesionu wyniosłego, które już wcześniej były suszone przez 6 tygodni, dlatego zakres ich wilgotności był w czasie badań mniejszy od pozostałych. Wynikało to z braku dostępu do świeżo ściętego drewna tego gatunku. Średnice badanych próbek mierzone w połowie długości znajdowały się w zakresie 15-36 cm. Średnie wartości dla poszczególnych gatunków wynosiły: grab – 22,48 cm, buk – 23,97 cm, brzoza – 22,87 cm, olsza – 22,58 cm, jesion – 23,74 cm. Dla każdego badanego gatunku przygotowano 48 próbek.

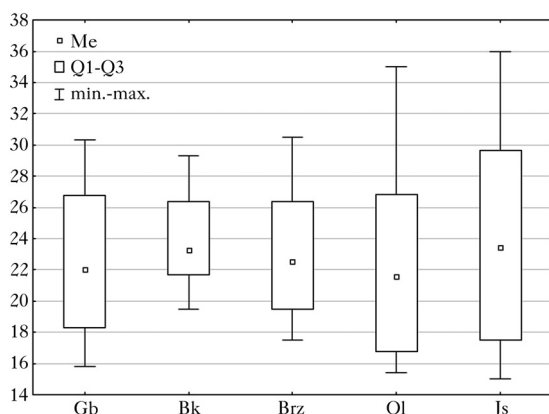
Badania zostały przeprowadzone przy użyciu łuparki marki Posch, model SplitMaster 9. Stempel łuparki był napędzany hydraulicznie. W trakcie badań łuparka była zagregatowana z ciągnikiem Ursus C-330, którego silnik służył jako napęd układu hydraulicznego maszyny, poprzez wał odbioru mocy. Pomiar wilgotności drewna był wykonywany za pomocą wilgotnościomierza Tanel WRD-100 o zakresie pomiarowym od 6 do 100% wilgotności bezwzględnej i dokładności  $\pm 1\%$  w zakresie 6-15%,  $\pm 2\%$  w zakresie 16-28% i około 10% w zakresie 28-100% (ryc. 1). Pomiarów średnicy wyrzynków dokonano przy użyciu średnicomierza z dokładnością do 1 mm (ryc. 2).

Ze względu na bardzo krótki czas trwania fazy II procesu łupania postanowiono rozpatrywać go łącznie z fazą I. Mierzono zagłębienie klina w drewnie w chwili powstania szczeliny (koniec fazy II) i całkowitego rozłupania (koniec fazy III). Pomiar zagłębienia wykonano przy użyciu miernika liniowego z dokładnością do 1 mm. Fakt, że prędkość przemieszczania się stempla łuparki była w zakresie uzyskiwanych sił stała, pozwolił na bezpośrednie przeliczanie drogi



Ryc. 1.

Wilgotność bezwzględna [%] mokrych (m) i suchych (s) próbek drewna grabu (Gb), buka (Bk), brzozy (Brz), olszy (Ol) i jesionu (Js)  
 Absolute humidity [%] of moist (m) and dry (s) samples of hornbeam (Gb), beech (Bk), birch (Brz), alder (Ol) and ash (Js) wood  
 Me – mediana, Q1 – kwartyl dolny, Q3 – kwartyl górny, min. – minimum, max. – maksimum  
 Me – median, Q1 – lower quartile, Q3 – upper quartile, min. – minimum, max. – maximum



Ryc. 2.

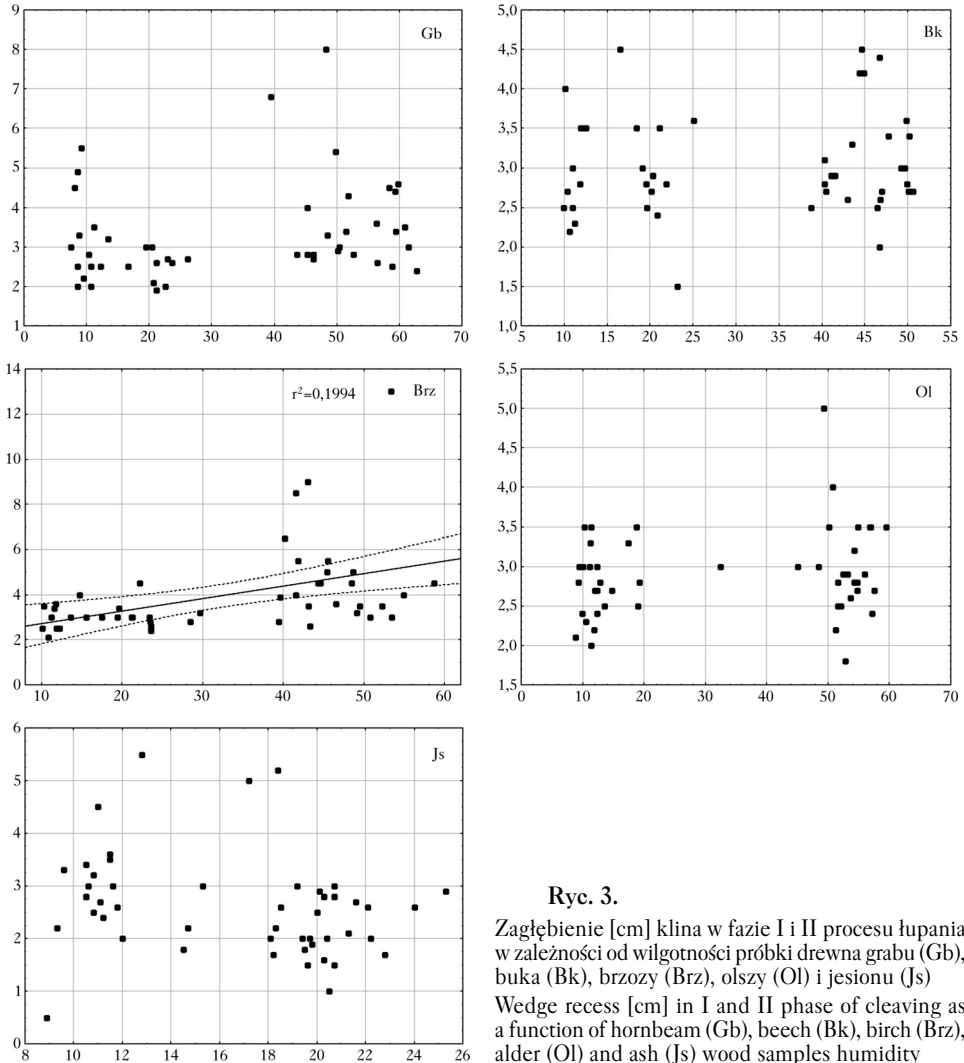
Średnica [cm] próbek drewna grabu (Gb), buka (Bk), brzozy (Brz), olszy (Ol) i jesionu (Js)  
 Diameter [cm] of hornbeam (Gb), beech (Bk), birch (Brz), alder (Ol) and ash (Js) wood samples  
 oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as in figure 1

przebytej w poszczególnych fazach procesu łupania na czas ich trwania. Stwierdzono brak rozkładu normalnego wartości zagłębienia klina w fazie I i II dla wszystkich badanych gatunków (test Shapiro-Wilka  $p=0,00$ , dla buka  $p=0,02$ ) oraz brak jednorodności wariancji (test Levene'a  $F=6,3111$ ,  $p=0,000077$ ). W przypadku fazy III również stwierdzono brak rozkładu normalnego wartości zagłębienia klina dla wszystkich badanych gatunków (test Shapiro-Wilka  $p=0,000$ ). Jednorodność wariancji była w zakresie granicznym (test Levene'a  $F=0,8410$ ,  $p=0,050032$ ). Do porównania wyników uzyskanych dla poszczególnych gatunków wykorzystano więc test Kruskala-Wallisa.

Próbki przeznaczone do badań przy niższej wilgotności, po 3-miesięcznym suszeniu, zostały przebadane analogicznie jak w pierwszym terminie. Opracowanie wyników pomiarów wykonano przy zastosowaniu programu Statistica 12.

## Wyniki

Istotną zależność zagłębienia klina w fazie I i II procesu łupania od wilgotności wyrzynka uzyskano wyłącznie dla brzozy brodawkowatej (ryc. 3). Stwierdzono, że gatunek drewna jest czynnikiem różnicującym istotnie średnie wartości zagłębienia klina w fazie I i II ( $H=33,6059$ ,  $p=0,0000$ ). Istotne różnice wystąpiły między brzozą a bukiem ( $p=0,0480$ ), olszą ( $p=0,0031$ ) i jesionem ( $p=0,000$ ). Z kolei istotną zależność zagłębienia klina w fazie III procesu łupania od wilgotności wyrzynka uzyskano wyłącznie dla jesionu wyniosłego (ryc. 4). Stwierdzono, że gatunek drewna jest czynni-



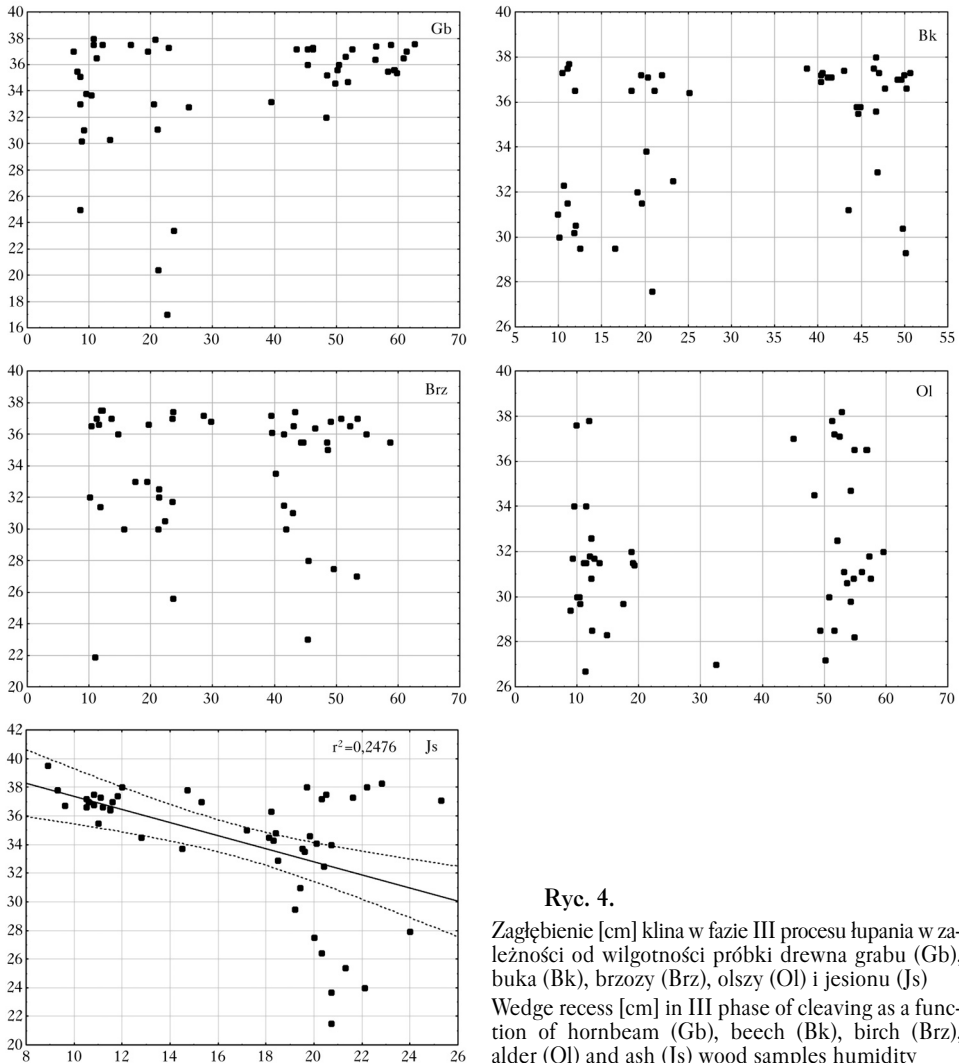
Ryc. 3.

Zagłębienie [cm] klina w fazie I i II procesu łupania w zależności od wilgotności próbki drewna grabu (Gb), buka (Bk), brzozy (Brz), olszy (Ol) i jesionu (Js)  
 Wedge recess [cm] in I and II phase of cleaving as a function of hornbeam (Gb), beech (Bk), birch (Brz), alder (Ol) and ash (Js) wood samples humidity

kiem różnicującym istotnie średnie zagłębienie klina w fazie III ( $H=19,895$ ,  $p=0,00005$ ). Istotne różnice obserwowano między olszą a grabem ( $p=0,0036$ ), bukiem ( $p=0,0033$ ) i jesionem ( $p=0,0024$ ).

Biorąc pod uwagę fakt, że badane gatunki drewna mają różną łupliwość, można uznać, że różnice w przeciętnym czasie trwania faz I i II są niewielkie. Przy prędkości wysuwu siłownika wynoszącej dla wykorzystywanej w badaniach łuparki 19,3 cm/s wahają się one od 0,15 s dla olszy czarnej do 0,2 s dla brzozy brodawkowatej. Oczywiście większa średnica łupanych wyrzynków pozwala uzyskać większą wydajność, zaś dla średnicy wyrzynków poniżej 10 cm łupanie staje się nieopłacalne ekonomicznie [Kärhä, Jouhiaho 2009].

Wilgotność drewna ma istotne znaczenie dla czasu trwania faz I i II procesu łupania tylko w przypadku brzozy brodawkowatej. Dla tego gatunku wraz z wysychaniem następuje wcześniejsze pojawianie się szczeliny. Wartość średnia zagłębienia klina dla brzozy suchej wynosiła 2,95 cm, zaś dla świeżo ściętej 6,2 cm. Odpowiada to czasom trwania faz I i II wynoszącym odpowiednio 0,15 i 0,32 s. Rozkłady czasu trwania faz I i II są zbliżone dla brzozy brodawkowatej oraz

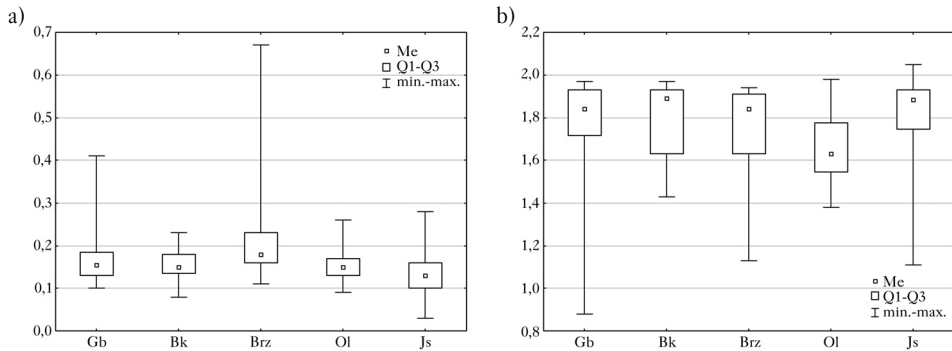


Ryc. 4.

Zagłębienie [cm] klina w fazie III procesu łupania w zależności od wilgotności próbki drewna grabu (Gb), buka (Bk), brzozy (Brz), olszy (Ol) i jesionu (Js)  
 Wedge recess [cm] in III phase of cleaving as a function of hornbeam (Gb), beech (Bk), birch (Brz), alder (Ol) and ash (Js) wood samples humidity

dla grabu pospolitego (ryc. 5a). Wartości przeciętne również są najwyższe dla tych gatunków. W przypadku pozostałych badanych gatunków różnice te nie są znaczące. Badania fazy III procesu łupania wykazały istotną zależność funkcyjną wilgotności i czasu tylko w przypadku jesionu wyniosłego i to w sytuacji jego mniejszego zakresu wilgotności. Wśród badanych gatunków średni czas trwania fazy III był najdłuższy dla buka i wynosił 1,79 s. Różnice dla innych gatunków nie były duże i wynosiły maksymalnie 0,13 s dla olszy czarnej, co odpowiada różnicy 7%. Wyniki przedstawione dla wszystkich badanych gatunków (ryc. 5b) potwierdzają odmienny rozkład czasu trwania fazy III dla olszy czarnej. Różnica w przeciętnym czasie trwania fazy III dla olszy i pozostałych gatunków wynosiła co najmniej 0,2 s.

Czas trwania fazy III w stosunku do czasu trwania faz I i II jest wielokrotnie dłuższy. Powstanie szczeliny najczęściej wymaga zagłębienia klina na 3-5 cm. Całkowite rozłupanie tylko w kilku przypadkach następowało przy zagłębieniu klina poniżej 35 cm. Istotny jest jednak fakt, że podczas fazy III nie jest wymagana duża siła nacisku siłownika na klin. Zwiększenie wydaj-



Ryc. 5.

Czas trwania [s] I i II (a) oraz III (b) fazy procesu łupania próbek drewna grabu (Gb), buka (Bk), brzozy (Brz), olszy (Ol) i jesionu (Js)

Duration [s] of the I and II (a) and III (b) phases of cleaving of hornbeam (Gb), beech (Bk), birch (Brz), alder (Ol) and ash (Js) wood samples

oznaczenia jak na rycinie 1; denotes as in figure 1

ności łupania można więc uzyskać np. poprzez realizację układu hydraulicznego łuparki posiadającego dwie prędkości ruchu tłoka z automatyczną zmianą pod wpływem obciążenia.

Wpływ wilgotności na czas trwania faz procesu łupania zależy od gatunku drewna. Różnice dla poszczególnych gatunków nie są jednak duże. W przypadku fazy I i II różnice te nie wpływają istotnie na wydajność procesu łupania. W przypadku fazy III można przypuszczać, że czas jej trwania będzie dłuższy dla grabu pospolitego o większej wilgotności (ryc. 4). Wymaga to jednak potwierdzenia badaniami na większej próbie badawczej.

## Podsumowanie

Wilgotność drewna istotnie różnicuje czas trwania faz I i II procesu łupania drewna tylko dla brzozy brodawkowatej. Wzrost wilgotności drewna powoduje wydłużenie czasu trwania faz I i II. Brzoza brodawkowata jest jedynym gatunkiem wśród gatunków badanych, dla którego stwierdzono istotną różnicę w rozkładzie czasów trwania faz I i II w stosunku do pozostałych – nieróżniących się istotnie od siebie. Wartości przeciętne czasów trwania faz I i II są niewysokie, więc ich wpływ na wydajność procesu łupania drewna jest nieznaczny.

Czas trwania fazy III jest zależny od wilgotności tylko dla jesionu wyniosłego i maleje wraz ze wzrostem wilgotności. Wartości przeciętne czasu trwania fazy III są najniższe dla olszy czarnej i odbiegają od pozostałych badanych gatunków, a różnica (min. 0,2 s) może mieć istotny wpływ na wydajność procesu łupania drewna. Jeśli zatem układ napędowy łuparki daje taką możliwość, zaleca się stosowanie dwóch prędkości ruchu tłoka z automatyczną zmianą pod wpływem obciążenia. Pozwoli to na uzyskanie większej wydajności pracy.

## Literatura

- Björheden R. 1989. Traktordriven vedprocessor Pilke 60. Department of Operational Efficiency, Swedish University of Agricultural Sciences, Garpenberg. 9-18.
- Caserini S., Fraccaroli A., Monguzzi A., Moretti M., Angelino E. 2008. Stima dei consumi di legna da ardere ed uso domestico in Italia. Ricerca commissionata da APAT e ARPA Lombardia. Rapporto finale.
- Elyakime B., Cabanettes A. 2013. Financial evaluation of two models for energy production in small French farm forests. *Renewable Energy* 57: 51-56.
- Halder P., Pietarinen J., Havu-Nuutinen S., Pelkonen P. 2010. Young citizens' knowledge and perceptions of bioenergy and future policy implications. *Energy Policy* 38: 3058-3066.

- Henriksen T. C., Illerup J. B., Nielsen O.-K. 2006. Dioxin air emission inventory 1990-2004. National Environmental Research Institute, Roskilde. NERI Tech. Rep. 602.
- Jaeaeskelaeinen M. 1995. On the preparation of fire-wood splitting machines equipped with feeder devices. Work Efficiency Inst. Helsinki 27 (4).
- Jągusiak J., Więsik J. 1991. Badania oporów łupania drewna nożami klinowymi. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze i Leśne* 8: 7-9.
- Kärhä K., Joughiaho A. 2009. Producing chopped firewood with firewood processors. *Biomass and Bioenergy* 33: 1300-1309.
- Lindroos O. 2008. The effects of increased mechanization on time consumption in small-scale firewood processing. *Silva Fennica* 42: 791-805.
- Lindroos O. 2011. Residential use of firewood in Northern Sweden and its influence on forest biomass resources. *Biomass and Bioenergy* 35: 385-390.
- Manzone M., Spinelli R. 2014. Efficiency of small-scale firewood processing operations in Southern Europe. *Fuel Processing Technology* 122: 58-63.
- Ryynänen S., Turkki K. 1982. The chopping machines for firewood billets and long logs. TTS Institute. *Forestry Bulletin* 357: 1-6.
- Sådan fyrer du fornuftigt i din brændeovn. 2010. Environmental Protection Agency, Ministry of Environment, Copenhagen. <http://www.mst.dk/Borger/Temaer/Hjemmet/braendeovne/>
- Stanzl-Tschegg S. E., Tan D.-M., Tschegg E. K. 1995. New splitting method for wood fracture characterization. *Wood Science and Technology* 29 (1): 31-50.
- Swartström J. 1986. Equipment for preparation of fuelwood – productivity and work environment. Research note 65. Department of Work Efficiency, Swedish University of Agricultural Sciences, Garpenberg.
- Trømborg E., Bolkesjø T., Solberg B. 2008. Biomass market and trade in Norway: status and future prospects. *Biomass and Bioenergy* 32: 660-671.
- Więsik J. [red.], Aniszewska M., Brzózko J., Gendek A., Maciak A., Skarżyński J., Wójcik K., Zychowicz W. 2015. Urządzenia techniczne w produkcji leśnej. Tom 2. Maszyny i urządzenia do pozyskiwania i transportu drewna. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.