

## JAKOŚCIOWO-IŁOŚCIOWA OPTIMALIZACJA WYDAJNOŚCI PRZEROBU DREWNA SOSNOWEGO W PRODUKCJI RAM ŁÓŻEK

Bartosz Pałubicki<sup>1</sup>✉, Witold Jarecki<sup>2</sup>, Marek Wieruszewski<sup>3</sup>, Dariusz Orlikowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Obrabiarek i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 38/42, 60-637 Poznań

<sup>2</sup>Sun Garden Polska  
ul. Turecka 36, 62-709 Malanów

<sup>3</sup>Katedra Mechanicznej Technologii Drewna, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 38/42, 60-627 Poznań

### ABSTRAKT

W pracy badawczej zweryfikowano wydajności materiałowej tarcicy sosnowej z terenów Puszczy Noteckiej przeznaczonej do produkcji ram łóżek kontynentalnych. Jednym z preferowanych sposobów przerobu tarcicy iglastej na fryzy przeznaczeniowe (półprodukty) jest rozkrój poprzeczny lub wzdłużno-poprzeczny na elementy, o jakości dostosowanej do wymagań wytrzymałościowych. Elementy te są pozyskiwane w pełnym wymiarze podzespołu lub są przeznaczone do łączenia na długość z zastosowaniem połączeń wczepowych. Pozyskane elementy są sortowane w badaniach jakościowych określających udziały klas jakości z wydzieleniem sortymentów w klasyfikacji wytrzymałościowej KW, KS i KG (wg PN 94021:2013). Każdy z elementów sosnowych ramy musi spełniać odpowiednie wymogi jakościowe, co wymaga optymalizacji rozkroju tarcicy nie tylko opartej na maksymalizacji wydajności ilościowej procesu, ale także na uwzględnieniu zapotrzebowania jakościowego. Jakość tarcicy sosnowej przeznaczonej do wytwarzania elementów meblowych definiuje osiągnięcie celu produkcyjnego. Wskaźniki wydajności jakościowej przerobu tarcicy sosnowej nie odpowiadają wypełnieniu wymaganych założeń elementów litych dla zleceń produkcyjnych. Wygenerowany zostaje nadmiar gorszych jakościowo elementów składowych przy jednoczesnych niedoborach wyższej jakości. W pracy zaproponowano parametryzację procesu optymalizacji uwzględniającą przerób tarcicy sosnowej z wydzielonego obszaru Puszczy Noteckiej, wskazujący na 68-procentowe wypełnienie koszyków zamówień oraz oparte na nich sprzężenie zwrotne produkcji elementów ubocznych. Przerób taki wykazał wydajność materiałową nieznacznie niższą od maksymalnej, przy maksymalizacji wydajności jakościowej produktu końcowego.

**Słowa kluczowe:** wydajność, drewno sosnowe, analiza obrazu, optymalizacja, jakość, wytrzymałość

### WPROWADZENIE

Przydatność sosnowych materiałów tartych pozyskiwanych z terenów Puszczy Noteckiej na potrzeby przemysłu meblarskiego jest silnie uzależniona od

wymagań wytrzymałościowych i cech jakościowych przetwarzanego drewna iglastego. Wady budowy anatomicznej oraz wady wtórne (będące wynikiem

Badania realizowano w ramach projektu POIR 01.01.01-00-802/19/ „Opracowanie autorskiego procesu technologicznego charakteryzującego się podwyższoną produktywnością, wydajnością i wysoką jakością produkowanych wyrobów wykonanych z drewna”.

✉bartosz.palubicki@up.poznan.pl

niewłaściwie prowadzonej obróbki mechanicznej tarcicy), wydzielane na przekroju poprzecznym czy długości tarcicy, przekładają się na jej cechy wytrzymałościowe i przydatność do wysokich wymagań meblowych. Procesy zarządzania etapami sortowania tarcicy, oparte na wymaganiach wytrzymałościowych i wizualnych, wskazują, które wzorce jakościowe powinny być zastosowane w weryfikowanej grupie surowca dla wskazanych zastosowań w elementach konstrukcji mebla. Założenie właściwych granic procesów optymalizacyjnych pozwala na planowanie doboru tarcicy do produkcji podzespołów mebli. Aktualne systemy optymalizacyjne sortowania tarcicy sosnowej opierają się na identyfikacji wad i ich redukcji lub dopuszczalności w różnych funkcjach użytkowych zastosowania półfabrykatów. Część systemów optymalizacyjnych jest skupiona wyłącznie na maksymalizacji wykorzystania materiałowego w funkcji wytrzymałościowej, a inne są oparte na informacji o rozkładzie cech jakościowych drewna na płaszczyźnie. Stosowane programy zapewniają optymalne wykorzystanie surowca i uzyskanie wyrobu głównego o odpowiednich klasach jakości, gwarantując zamierzone efekty produkcyjne.

W klasyfikacji sortymentowej pozyskiwanego drewna sosnowego, oprócz tarcicy z obstawy głównej (centralna strefa przekroju poprzecznego), znaczącą rolę odgrywa obstawa boczna. W sortymentach pozyskiwanych z drzewostanów IV i V klasy wieku potwierdzono bardzo wysoki średni udział tarcicy bocznej III klasy jakości (wg PN-75/D-96000), kształtujący się na poziomie ponad 80%. Jednocześnie w grupie pozyskiwanych materiałów tartych dominowały sortymenty grubości 25 mm (54%). Dane badawcze potwierdzają, że łączny wskaźnik wydajności tarcicy bocznej mieści się w przedziale 20–25%, świadcząc o znaczącym udziale tych sortymentów w bilansie materiałowym przetarć klasyfikowanych na poziomie 55–65%. Jednocześnie niska jakość tarcicy bocznej (III klasa) potwierdza wprowadzenie do przerobów surowca obarczonego wadami, czyli o nieznacznym udziale drewna dojrzałego stref środkowych i wierzchołkowych. Zastosowanie surowca sosnowego do produkcji materiałów tartych przekłada się na brak lub minimalny udział tarcicy bocznej wyższych klas jakości. Decydującym wskaźnikiem przetworzenia surowca strefy przyobwodowej jest

parametr wymiarowo-jakościowy tarcicy obstawy bocznej. W weryfikacji uzyskiwanych sortymentów z przedziału grubości tarcicy bocznej 19–50 mm tarcica 23–25 mm dominuje w klasie zarówno pierwszej (ok. 8%), jak i trzeciej (ok. 54%). Jednocześnie wskazywany przedział grubości sortymentu tarcicy świadczy o jego pochodzeniu z części przekroju obstawy bocznej surowca sosnowego (Hruzik, 2003; 2006).

W celu zapewnienia optymalnego przetworzenia pozyskanych materiałów tartych na półfabrykaty stosuje się ocenę wizualną, wykorzystując zarówno technologie półautomatyczne, jak i w pełni automatyczne systemy wizyjne, pozwalające na ocenę wad przetwarzanego drewna. W systemach klasyfikacji tarcicy sosnowej decydującą rolę odgrywają wady zidentyfikowane, do których należą przede wszystkim: sęki, skręt włókien, zabitki i przeżywiczenia oraz wady obróbki wtórnej, tj. pęknięcia, przebarwienia i zgnilizny oraz krzywizny. Z wymienionych wad drewna iglastego najczęściej sęki odgrywają rolę kluczową w procesie optymalizacji pozyskania półfabrykatów konstrukcyjnych. W badaniach drewna iglastego stanowią nawet 75% wad wpływających na klasyfikację jakościową pozyskiwanej tarcicy (Duchateau i in., 2013). Liczba i rozmieszczenie sęków wpływają na wytrzymałość drewna (Purba i in., 2019). Nierzadko stanowią podstawowy element porównawczej oceny wartości użytkowej drewna pochodzącego z różnych terenów Polski (Chmielowski i in., 2018; Dzbeński, 1994; 1995; Krzosek, 2002; 2009; Roszyk, 2016). Sęki, zakłócając jednorodność budowy drewna poprzez zmianę kierunku przebiegu włókien, wpływają na strefowe zmniejszenie jego wytrzymałości (Baltrušaitis, 2000; Burawska i in., 2012; 2013; 2014). Deformacja układu włókien w materiałach drzewnych, wskazująca na odchylenie elementów budowy drewna od osi podłużnej tarcicy, często stanowi obszar przylegający do strefy sęków (Lukacevic i in., 2015). Jest to wada obniżająca wytrzymałość mechaniczną elementów meblowych. Przekłada się na zagrożenie wystąpienia uszkodzeń użytkowych w konstrukcji. Jednocześnie poddanie tego obszaru obróbce nie gwarantuje utrzymania założonych obciążeń w konstrukcji półfabrykatu lub wyrobu gotowego. Dużą rolę w procesie prefabrykacji odgrywają pęknięcia poziome wzdłuż tarcicy. Warunkują rolę zarówno wytrzymałościową, jak i technologiczną tarcicy (Brol i in., 2018; Wdowiak, 2015).

Spękania o znacznej głębokości oraz długości nie tylko wpływają na zmniejszenie przenoszonych obciążeń, ale także wizualnie pogarszają jakość materiałów. Zwłaszcza gdy wady nie można usunąć w procesie prefabrykacji elementów meblowych. Spękania powierzchniowe tarcicy są usuwane na etapie strugania wstępnego i nie odgrywają znaczącej roli w eliminacji stref półfabrykatów meblowych na szerokości lub długości. Dopiero głębokość ich występowania ma znaczenie w obniżaniu parametrów wytrzymałościowych (Buchelt i in., 2018).

Opisywane cechy są definiowane w programach, które wykorzystują nowoczesne układy optyczne i opierają się na skanowaniu czterostronnym powierzchni tarcicy z zastosowaniem odpowiednich algorytmów pozwalających na przetworzenie obrazu, rozmieszczenia wad i optymalizacji procesu sortowania elementów meblowych. Ocena wad wszystkich płaszczyzn tarcicy pozwala na identyfikację natężenia cech niepożądanych i powiązania ich z redukcją poprzez wymaganą jakość i długość w planowaniu rozkroju. Proces przetworzenia obrazu tarcicy z podziałem na strefy przekrojów poprzecznych i rozkładu podłużnego wyzwała wskaźnik nasilenia i rozmieszczenia wad według wcześniej ustalonego algorytmu podziału. Etap ten wymaga przypisania strefom tarcicy funkcji zadanych parametrów oceny wizyjnej, określających niedopuszczalne zakresy występowania wad. Ocena jest powiązana z gatunkiem drewna, gdyż wady różnych gatunków podlegają różnej klasyfikacji wizualnej. Optymalizacja procesu sortowania jakościowego, opartego na automatyzacji optycznej, polega zatem na powiązaniu udziału strefy wad w funkcji wymiarów elementów. Etap oceny jest generowanym sygnałem optymalizującym proces sortowania tarcicy. Automatyczne wykrywanie istotnych węzłów z wadami pozwala na obliczenie obszaru ich występowania i redukcji w procesie prefabrykacji. Jest to także element klasyfikacji jakościowej tarcicy określonego przeznaczenia, pozwalający na jej sortowanie przeznaczeniowe. Obliczenia powierzchni oraz ocena przekroju jest weryfikowana przez całą powierzchnię tarcicy na jej długości i szerokości (Briggert i in., 2016; Dahlen i in., 2018; Johansson i in., 2013; Lukacevic i in., 2019). Stosowane algorytmy są w stanie dopasować prawidłowo zadane ograniczenia jakościowo-wytrzymałościowe do natężenia występowania wad na

różnych powierzchniach tarcicy (Hu i in., 2018; Lam i in., 2005; Roblot i in., 2010; Schajer, 2001). Opracowane obecnie trójwymiarowe systemy wizualizacji do oceny rozkładu wad tarcicy bazują na zaimplementowanych systemach sterowania przez relacyjny model danych z czterema typami klasyfikacji parametrów, tj. szerokości, długości, wad i zakresu ich występowania. Opracowane takich systemów opiera się na układzie porównania całkowitych wartości zidentyfikowanych wad do ich wymiarów, kształtu czy zajmowanej pozycji na długości i szerokości tarcicy (Klinea i in., 2001; Lin i in., 2011). Na podstawie badań optycznych możliwe jest określenie wpływu zarówno jakości surowca drzewnego, jak i czynników na właściwości zaplanowanych elementów meblowych przeznaczonych do konkretnych zastosowań przemysłowych. Korelacja między badanymi cechami wizualnymi a właściwościami fizycznymi i mechanicznymi są podstawowymi wskaźnikami świadczącymi o przydatności materiału drzewnego (Krzosek i Bacher, 2011; Roszyk, 2016). Współcześnie do najbardziej rozpowszechnionych systemów w dziedzinie diagnostyki różnych materiałów należą systemy oparte na metodach technik wizyjnych i cyfrowej analizy obrazu (Microtec, Luxscan, Woodinsepector itp.). Metody te znajdują zastosowanie zarówno przemysłowe, jak i badawcze. Możliwość klasyfikacji jakościowej drewna na podstawie występowania wad drewna jest odnoszona często do wytrzymałości tego surowca (Burmester, 1965; Dżeński, 1984; Fabisiak i Moliński, 2009; Krzosek, 2009; Kozakiewicz i Krzosek, 2013). Metody te wiążą się z wyznaczeniem granicznych stref zgodnych z założeniami jakościowo wytrzymałościowymi, co pozwala na pełną optymalizację i osiągnięcie wymaganej jakości wyrobów. Wymagają znacznej wiedzy na temat właściwości i budowy drewna oraz spodziewanych rozkładów wad i niejednorodności surowca drzewnego, a także znajomości procesów technologicznych, za pomocą których następuje proces prefabrykacji tarcicy na półfabrykaty i wyroby gotowe dla meblarstwa.

## CEL

Celem badań było określenie całkowitej maksymalnej wydajności materiałowej produkcji ram meblowych poprzez osobną optymalizację prefabrykacji zastosowaną dla każdego z trzech skierowanych do przerobu

przekrojów tarcicy sosnowej, pochodzącej z Puszczy Noteckiej. W pracy wykorzystano automatyczną ocenę wizualną tarcicy konstrukcyjnej z wydzieleniem jej stref jakościowych. Założeniem było osiągnięcie maksymalnego wykorzystania ilościowego tarcicy przeznaczonej na elementy składowe konstrukcji mebli do leżenia tak, aby sortymenty były produkowane w ilościach proporcjonalnych do ich udziału w gotowym produkcie – ramie łóżka.

## METODYKA

Tarcicę przeznaczoną do badań pozyskano z terenów Nadleśnictw Skwierzyna i Międzychód na terenie Puszczy Noteckiej w postaci drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Na podstawie standardowych przekrojów elementów meblowych i dotychczasowych badań postanowiono wybrać typowy szereg wymiarowy obstawy bocznej o grubości 19–2/25 mm i długości 2,5–6 m. Tarcicę sosnową II/III klasy jakości pozyskano w wyniku przerobu tartaczno-go z wykorzystaniem pilarek taśmowych blokowych oraz automatycznych obrzynarek do tarcicy bocznej. W etapie przygotowania tarcicy do zastosowań użytkowych przeprowadzono proces suszenia konwekcyjnego w suszarniach komorowych PANTO, stosując program „normalny” w celu osiągnięcia wilgotności końcowej 10%. Wysuszona i wysezonowana tarcica została dostarczona do zakładu, w którym przeprowadzono testy badawcze.

Produktem przerobu tarcicy były ramy łóżek, przedstawione na rysunku 1, składające się z elementów wymienionych w tabeli 1.

W skład projektowanej ramy wchodziły dwa rodzaje ramiaków: długi i krótki. Ich elementami składowymi były: deska ramiaka długiego, deska ramiaka krótkiego, doklejka ramiaka długiego, doklejki krótkie ramiaka długiego oraz doklejka ramiaka krótkiego. Deski ramiaków miały przekrój 20×80 mm, natomiast ich doklejki 20×48 mm.

Proces produkcyjny elementów ram rozpoczął się automatyczne rozsztaplowanie suchej tarcicy i poddanie jej obróbce, na strugarce czterostronnej Weinig Powermat 1200, w celu dostosowania do wymiarów netto przekroju elementów oraz przygotowania powierzchni do wiarygodnej oceny wad tarcicy. Następnie w podzespołe monitoringu, z użyciem



Rys. 1. Rama łóżka

Fig. 1. Bed frame

czterostronnego skanera tarcicy Luxscan CombiScan Sense C400, na podstawie zasad klasyfikacji wizualnej bazującej na polskiej normie klasyfikacji jakościowej dla tarcicy sosnowej (PN 94021:2013). Wydzielano strefy gorszej jakości KG (odpowiednik C16 wg PN-EN 338), średniej jakości KS (odpowiada C24) i wysokiej jakości KW (odpowiada C30). Następnie optymalizowano rozkrój poprzeczny na pełnowymiarowe docelowe elementy ram oraz krótsze elementy półfabrykatowe. Z kolei te były pakietowane, dwustronnie wczepowane i łączone na długość. Z tak przygotowanego drewna klejonego pozyskiwano kolejne pełnowymiarowe klejone elementy ram.

Wydajność ( $W$ ) przerobu tarcicy każdego przekroju była określana miąższością kolejnych jego etapów:

$$W = \frac{V_2}{V_1} \cdot \frac{V_3}{V_2} \cdot \frac{V_4 + V_5}{V_3}$$

gdzie:

- $V_1$  – miąższość tarcicy, m<sup>3</sup>,
- $V_2$  – miąższość po struganiu, m<sup>3</sup>,
- $V_3$  – miąższość po rozkroju poprzecznym, m<sup>3</sup>,
- $V_4$  – miąższość desek litych po formatowaniu (jeśli występowało), m<sup>3</sup>,
- $V_5$  – miąższość desek klejonych po łączeniu wyrzynków, m<sup>3</sup>.

Operację redukcji czół tarcicy przed struganiem pominięto w analizach, ponieważ nie wpływa ona istotnie na wydajność – naddatki handlowe na długości tarcicy pokrywają sporadyczne przycięcie jej czół. Najbardziej elastycznym podzespołem, odpowiedzialnym za wskaźnik wydajności w procesie technologicznym, jest rozkrój poprzeczny, który odbywa się

**Tabela 1.** Elementy składowe ramy łóżka  
**Table 1.** Components of the bed frame

Produkt Product	Podzespół Subassembly	Element Element	Liczba elementów Number of elements	Długość Length mm	Szerokość Width mm	Grubość Thickness mm	Objętość Volume m <sup>3</sup>	Objętość łączna Total volume
Rama Frame	ramiak długi long frame member	deska ramiaka długiego long frame board	2	1 980	80	20	0,003	0,006
		doklejka ramiaka długiego long slat support	2	1 580	48	20	0,002	0,003
		doklejka krótka ramiaka długiego additional slat support	4	161	48	20	0,000	0,001
	ramiak krótki short frame member	deska ramiaka krótkiego short frame board	2	850	80	20	0,001	0,003
		doklejka ramiaka krótkiego short slat support	2	810	48	20	0,001	0,002
	<b>0,01426</b>							
	listwa podmateracowa mattress slat		9	850	95	16	0,001	0,012
	listwa podnóżkowa footrest bar		2	850	95	16	0,001	0,003
<b>Cała rama – Whole frame</b>								<b>0,02848</b>

na podstawie sygnału decyzyjnego podzespołu monitoringu. Dla każdego produkowanego przekroju i dla każdego elementu w przekroju określono w procesie optymalizacji wady tarcicy według wcześniej określonych wymogów jakościowo-wytrzymałościowych (tab. 2) z niedopuszczalnym udziałem oblin i sinizn. Precyzowały one jakość w strefach środkowych i czołowych, przeznaczonych do czopowania elementów. Optymalizacja rozkroju poprzecznego była prowadzona w celu weryfikacji maksymalizacji wydajności jakościowej i sortymentowej z uwzględnieniem udziałów poszczególnych elementów w produkowanych ramach. Zatem funkcją celu optymalizacji była wydajność końcowa produkcji kompletów ram, a nie produkcji elementów składowych w różnych udziałach

jakościowo-wytrzymałościowych. Tak skonfigurowana produkcja przeznaczeniowa nie powoduje nadmiernych zapasów żadnych z elementów.

#### **Przygotowanie deski ramiaków krótkich i długich o przekroju 80×20 mm**

Zgodnie z założeniami sformułowanymi w pierwszym etapie projektu badawczego, deski ramiaków długich pozyskiwano z drewna sosnowego w klasie KW, natomiast deski ramiaków krótkich – z drewna sosnowego klasy KS. Najważniejsze zadanie optymalizacyjne dotyczyło zaspokojenia zapotrzebowania materiałowego na klasę KW do produkcji ramiaków długich w taki sposób, aby nie został wytworzony zapas drewna w niższej jakości KS i KG.

**Tabela 2.** Zestawienie dopuszczalnych wad danych sortymentów w klasyfikacji wytrzymałościowej  
**Table 2.** List of permissible wood defects for the given sort in strength classification

Wyrób Item	KG/C16		KS/C24		KW/C30	
	prawa – right	lewa – left	prawa – right	lewa – left	prawa – right	lewa – left
Strona elementu Item side						
Kieszeń żywiczna Resin blisters	≤10×30 mm if treated	≤10×60 mm if treated	≤10×30 mm	≤10×60 mm	≤10×30 mm if treated	≤10×30 mm if treated
Rdzeń Core (inbark)	tak – yes	tak – yes	tak – yes	tak – yes	tak – yes	tak – yes
Zdrowe sęki Live knots	do 45 mm, 2 szt./m up to 45 mm, 2 pcs./m	do 50 mm, 2 szt./m up to 50 mm, 2 pcs./m	do 25 mm, maks. 2 szt./m up to 25 mm, max. 2 pcs./m	do 30 mm, maks. 2 szt./m up to 30 mm, max. 2 pcs./m	do 20 mm, 2 szt./m up to 20 mm, 2 pcs./m	do 25 mm, 2 szt./m up to 25 mm, 2 pcs./m
Sęki krawędziowe Edge knots	zdrowe do 30 mm sound up to 30 mm	zdrowe do 40 mm sound up to 40 mm	zdrowe do 25 mm, maks. 2 szt./m sound up to 25 mm, max. 2 pcs./m	zdrowe do 30 mm, maks. 2 szt./m sound up to 30 mm, max. 2 pcs./m	zdrowe do 20 mm sound up to 20 mm	zdrowe do 25 mm sound up to 25 mm
Sęki czarne wrośnięte Black fused knots	do 30 mm, 2 szt./m up to 30 mm, 2 pcs./m	do 40 mm, 2 szt./m up to 40 mm, 2 pcs./m	do 25 mm, maks. 2 szt./m up to 25 mm, max. 2 pcs./m	do 30 mm, maks. 2 szt./m up to 30 mm, max. 2 pcs./m	do 20 mm, 2 szt./m up to 20 mm, 2 pcs./m	do 25 mm, 2 szt./m up to 25 mm, 2 pcs./m
Sęki czarne częściowo wrośnięte, niewypadające Black knots partially fused, non-falling	do 20 mm, 2 szt./m up to 20 mm, 2 pcs./m	do 20 mm, 2 szt./m up to 20 mm, 2 pcs./m	do 15 mm, maks. 2 szt./m up to 15 mm, max. 2 pcs./m	do 15 mm, maks. 2 szt./m up to 15 mm, max. 2 pcs./m	do 15 mm, 2 szt./m up to 15 mm, 2 pcs./m	do 15 mm, 2 szt./m up to 15 mm, 2 pcs./m
Sęki ołówkowe Pin knots	tak, maks. 10 mm yes, max. 10 mm	tak, maks. 10 mm yes, max. 10 mm	tak, maks. 10 mm yes, max. 10 mm	tak, maks. 10 mm yes, max. 10 mm	tak, maks. 10 mm yes, max. 10 mm	tak, maks. 10 mm yes, max. 10 mm
Pęknięcia w sęku, na obwodzie Cracks in the knot, perimeter of the knot	tak – yes	tak – yes	tak – yes	tak – yes	tak – yes	tak – yes
Sęki skrzydlaki Branched knots	tak, maks. 40 mm yes, max. 40 mm	tak, maks. 40 mm yes, max. 40 mm	≤30 mm	≤30 mm	nie – no	nie – no
Zawój Burl (wood scroll)	tak – yes	tak – yes	nie – no	nie – no	nie – no	nie – no
Dziury po sękach Knot holes	nie – no	nie – no	tak – yes	tak – yes	tak – yes	tak – yes
Skręt włókien Grain deviation	≤15% (1:6)	≤15% (1:6)	≤10% (1:10)	≤10% (1:10)	≤7% (1:14)	≤7% (1:14)
Pęknięcia: głębokość i długość Cracks: depth and length	nie – no	12 mm, długość do 300 mm 12 mm, length to 300 mm	nie – no	10 mm × 400 mm	nie – no	6 mm × 400 mm

W badaniach dla przekrojów docelowych 80×20 mm wykorzystano tarcicę boczną o przekroju nominalnym 23×85 mm. Liczność populacji badanej tarcicy wynosiła 4284 przy średniej długości 2971 mm, co dało 12 729 m bieżących i 20,5 m<sup>3</sup>.

#### **Przygotowanie doklejki ramiaków o przekroju 48×20 mm**

W badaniach optymalizacji wytworzenia doklejek ramiaków o przekroju 20×48 mm jako surowiec wejściowy zastosowano tarcicę sosnową o wymiarach nominalnych 23×105 mm. W procesie technologicznym, w podzespolu obróbki struganiem zastosowano dodatkowy proces rozpiłowania wzdłużnego na dwie listwy o przekrojach docelowych szerokości 48 mm. Populacja próby tarcicy sosnowej o wymiarach 23×105 mm wynosiła 3434 sztuk o łącznej miąższości 11,3 m<sup>3</sup>.

#### **Wytyczne dla optymalizowanych zestawów**

W projektowanej ramie meblowej przyjęto, że doklejki mają objętość 0,00520 m<sup>3</sup>, a deski ramiaków 0,00915 m<sup>3</sup>. Ich udziały w łącznej objętości ramiaków wynoszą odpowiednio:  $u_1 = 36,3\%$  i  $u_2 = 63,7\%$ . Do ustalenia łącznej wydajności materiałowej  $W_3$  kompletnych ramiaków, uwzględniając wydajności doklejek  $W_1$  i desek ramiaków  $W_2$ , zastosowano wzór:

$$W_3 = \sum_{i=1}^2 u_i \cdot W_i$$

#### **Przygotowanie elementów uzupełniających ramy meblowej – listwy o przekroju 95×16 mm**

W skład ramy referencyjnej wchodzi listwy podmateracowe skrajne i podnóżkowe oraz podmateracowe środkowe. Można te elementy podzielić na trzy grupy: skrajne listwy podmateracowe, które mają znacznie mniejsze wymagania wytrzymałościowe niż pozostałe i mogą być wykonane z drewna klasy KG; dla kolejnych jest wymagana klasa co najmniej KS. Pozostałe listwy środkowe to ważna część warunkująca wytrzymałość ramy. Dlatego muszą być wydzielane z drewna klasy KW litego bądź klejonego. Algorytm optymalizujący rozkrój poprzeczny skonfigurowano zatem pod kątem osiągnięcia wymienionych trzech klas: listew

litych KW oraz wyrzynków KW, KS i KG w ilościach mających zaspokoić udziały odpowiadającym im elementów w ramie.

W testach produkcyjnych listew poddano procesom przerobu tarcicę o przekroju 19×100 mm, której populacja prób wynosiła 4933 szt., stanowiąc objętość 9,9 m<sup>3</sup>.

#### **Założenia optymalizacyjne dla kompletu ramy meblowej**

Dla zaproponowanych rozwiązań rozkrojów na półfabrykaty przeznaczeniowe wyliczono ogólną wydajność ( $W_5$ ) przerobu tarcicy na gotowe komplety do zestawu ramy tapicerskie łóżek:

$$W_5 = \sum_{i=3}^4 u_i \cdot W_i$$

Uwzględniono udział ramiaków w ramie  $u_3 = 50,3\%$ , listew  $u_4 = 49,7\%$  i wydajność przeznaczeniową listew  $W_4$ .

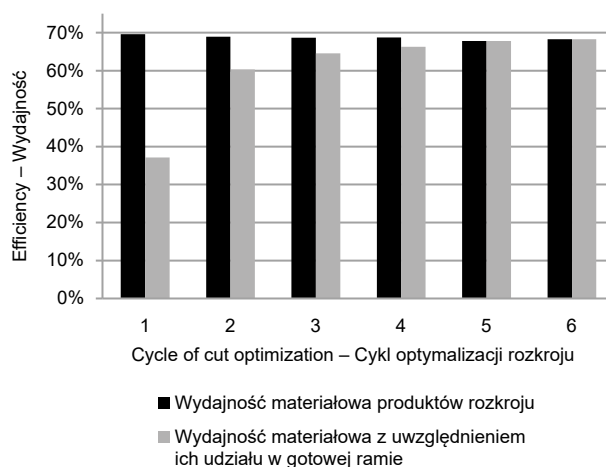
#### **WYNIKI I ICH DISKUSJA**

Badania skupiono na określeniu całkowitej maksymalnej wydajności materiałowej produkcji ram meblowych, poprzez osobną optymalizację prefabrykacji zastosowaną dla każdego z trzech przekrojów tarcicy sosnowej skierowanych do przerobu. Wydzielono wyniki zastosowania tarcicy pochodzenia przyobwodowego do wytworzenia poszczególnych grup półfabrykatów zgodnie z dostępną do przerobu klasą jakości (grupa jakościowa dla tarcicy sosnowej II/III) oraz ustalonymi szeregami wymiarowymi szerokości i grubości tarcicy. Uwzględniono jako czynnik determinujący dobór tarcicy dostosowanej do pożądaných wskaźników wydajnościowych w klasach wytrzymałości.

W wyniku przeprowadzonych prac ustalono wskaźniki prefabrykacji, stanowiące wartości założonej wydajności w strukturze przerobów i ich odniesienia do oczekiwanych wyników wydajnościowych wykorzystania surowca sosnowego z terenów północnych Puszczy Noteckiej. Przy wykazanym procesie produkcji elementów ram z tarcicy sosnowej określono wskaźniki wydajnościowe ich pozyskania.

### Deski ramiaków krótkich i długich o przekroju 20×80 mm

Na rysunku 2 przedstawiono maksymalną wydajność materiałową przerobu dla wskazanego przekroju tarcicy sosnowej obstawy bocznej, która sięgała 70%. Rozwiązanie to pozwalało jednak na przygotowanie gotowych zestawów ram w nieakceptowalnej wydajności uwzględniającej udział elementów w gotowej ramie równej 38%. W korekcie procesu optymalizacyjnego jakościowo-ilościową wydajność końcową zwiększono kosztem maksymalnej wydajności materiałowej elementów przeznaczonych ram. Rozwiązanie optymalne dla rozkroju tarcicy o przekroju 20×80 mm (tab. 3) wykazało wydajność produkcji przeznaczeniowej na poziomie  $W_2 = 68,3\%$ . Uzyskane wartości są porównywalne z innymi rejonizacjami pozyskania surowca sosnowego (Hruzik i in., 2005), a także porównywalne z innymi gatunkami iglastymi (Wieruszewski i Hruzik, 2004).



**Rys. 2.** Wydajność produkcji elementów 20×80 mm z tarcicy o przekroju 23×85 mm

**Fig. 2.** Efficiency of production of 20×80 mm elements from lumber of 23×85 mm cross-section

**Tabela 3.** Wydajności optymalnego przerobu przeznaczeniowego tarcicy 23×85 mm na elementy 20×80 mm  
**Table 3.** Efficiency of optimum processing of 23×85 mm sawn timber into 20×80 mm elements

Węzeł/operacja Node/operation 80×20 z 85×23	Liczba elementów Number of elements szt. – pcs.	Długość Length mm	Łączna długość Total length m	Pole przekroju Section area mm <sup>2</sup>	Objętość partii Batch volume m <sup>3</sup>	Wydajność Material efficiency %	Wydajność łączna Total efficiency %
1	2	3	4	5	6	7	8
Wejście Entry	4 284	różne	12 730	1 955	24,9	100,0	100,0
Struganie Planing		różne	12 730	1 600	20,4	81,8	81,8
Piłowanie poprzeczne, w tym: Crosscut sawing, including:	21 749		10 978	1 600	17,6	<b>86,2</b>	70,6
docinanie gotowych desek długich cutting finished long planks	599	1 990	1 192	1 600	1,9	97,0	68,4
docinanie gotowych desek krótkich cutting finished short planks	1 081	880	951	600	1,5		
wyrównywanie i wczepowanie wyrzynków alignment and jigsawing	20 069		8 503	1 600	13,6		
Przecinanie desek łączonej na ramiaki Cutting boards joined to the frames	5 686	1 990, 880	8 480	1 600	13,6	99,7	<b>68,3</b>

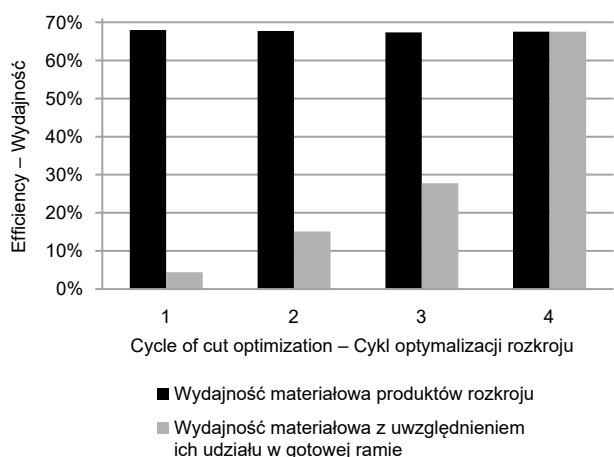


**Tabela 3 – cd. / Table 3 – cont.**

	1	2	3	4	5	6	7	8
Produkcja przeznaczeniowa – Production of specific assortments								
Wyrzynki KW KW boles		12 022	350–800	6 246	1 600	10,0		
Wyrzynki KS KS boles		8 047	150–800	2 257	1 600	3,6		
Możliwych klejonych desek długich (KW) Possible glued longboards (KW)		3 132	1 990	6 233	1 600	10,0		
Możliwych klejonych desek krótkich (KS) Possible glued short planks (KS)		2 553	880	2 247	1 600	3,6		
Wykonano łącznie desek długich A total of long planks made		3 710	990	7 382	1 600	11,8	96,7	<b>68,3</b>
Wykonano łącznie desek krótkich A total of short boards made		3 710	880	3 264	1 600	5,2		

### Doklejki ramiaków o przekroju 20×48 mm

W badaniach optymalizacyjnych przerobu tarcicy sosnowej o przekroju 23×105 mm na elementy doklejki ramiaków o przekroju 20×48 mm uzyskano wyniki przedstawione na rysunku 3. Wydajność produkcji elementów zrównała się z wydajnością produkcji przeznaczeniowej, co osiągnięto wskutek obniżenia wymagań jakościowych (rys. 4). Wydajność ilościowa, bez



**Rys. 3.** Wydajność produkcji elementów 20×48 mm z tarcicy o przekroju 23×105 mm

**Fig. 3.** Efficiency of production of 20×48 mm elements from lumber with cross section of 23×105 mm

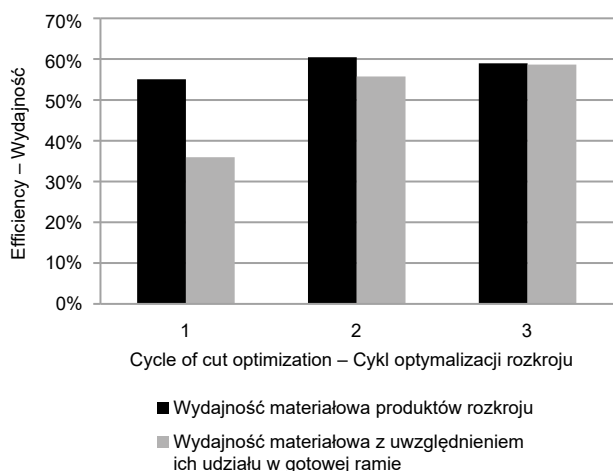
podziału proporcjonalnego udziałów elementów w ramie, kształtowała się w zakresie 67,5–68,3%. Wydajność początkową, uwzględniającą udział elementów w ramie gotowej (poniżej 5%), warunkował niedobór wytworzenia doklejek najkrótszych (161 mm). Zwiększenie ich wagi z równoczesnym ograniczeniem zapotrzebowania dało optymalne rozwiązanie rozkroju, wskazane w tabeli 4, osiągając wydajność na poziomie  $W_1 = 68,1\%$ .

### Ramiaki łącznie

Dla weryfikacji wyników wydajności z uwzględnieniem udziałów elementów doklejek (20×48 mm) oraz desek (20×80mm) ramiaków, zgodnie z metodyką, wyliczono łączną wydajność przeznaczeniową dla produkcji całych ramiaków. Wyniosła ona  $W_3 = 68,0\%$ .

### Listwy podmateracowe i podnóżkowe o przekroju 16×95 mm

Trzeci z cykli optymalizacyjnych należy uznać za najlepszy z możliwych dla listew podmateracowych (rys. 4). Mimo że nie udało się doprowadzić do zbieżności wydajności materiałowej samych elementów z wydajnością całkowitą całej ramy, rozbieżność między wynikami była na poziomie 0,5%. Żadna z kolejnych podejmowanych prób optymalizacji nie poprawiła tych wyników. Wydajność produktów rozkroju wahała się między 55% a 61%, natomiast najlepsze rozwiązanie optymalizatora (tab. 5) wykazało



**Rys. 4.** Wydajność produkcji elementów 16×95 mm z tarcicy o przekroju 19×105 mm

**Fig. 4.** Production efficiency of 16×95 mm pieces from 19×105 mm sawn timber

wydajność przeznaczeniową  $W_4 = 58,7\%$ . Wymagania stawiane tym półfabrykatom są określane znacznymi obciążeniami użytkowymi i stanowią grupę elementów w klasach KW i KS. Wpływa to na wskaźnik przerobu i jest uzależnione od wizualnych cech wytrzymałościowych surowca sosnowego (Krzosek, 2002; 2009; Burawska i in., 2012).

### Kompletne ramy

Wydajność produkcji kompletnych ram tapicerskich z tarcicy sosnowej o przekrojach 23×85 mm, 23×105 mm oraz 19×100 mm, pochodzącej z terenów północnej Puszczy Noteckiej, wyniosła  $W_5 = 63,4\%$ . Wskaźnik ten odpowiada niższym parametrom przerobu, które można było odnieść do surowca sosnowego (Hruzik, 1993; 2003; 2006). Jednak na korzyść surowca z Puszczy Noteckiej przemawia wykorzystanie wyłącznie tarcicy bocznej, która dla młodszych

**Tabela 4.** Wydajności optymalnego przerobu przeznaczeniowego tarcicy 23×105 mm

**Table 4.** Throughput capacity for optimum destructive processing of 23×105 mm sawn timber

Węzeł/operacja Node/operation 48×20 z 105×23	Liczba elementów Number of elements szt. – pcs.	Długość Length mm	Łączna długość Total length m	Pole przekroju Section area mm <sup>2</sup>	Objętość partii Batch volume m <sup>3</sup>	Wydajność materiałowa Material efficiency %	Wydajność łączna Total efficiency %
1	2	3	4	5	6	7	8
Wejście Entry	5 850	różne	5 850	2 415	14,1	100,0	100,0
Struganie Planing		różne	11 701	960	11,2	79,5	79,5
Piłowanie poprzeczne, w tym: Crosscut sawing, including:	20 796	różne	10 162	960	9,8	86,8	69,0
docinanie doklejek długich cutting long slats	1 526	1 580	2 411	960	2,3	98,1	67,7
docinanie doklejek krótkich cutting short slats	48	810	39	960	0,0		
doklejki 161 mm edge veneers 161 mm	7 350	161	1 183	960	1,1		
wyrzynków KW KW boles	949	300–800	5 455	960	5,2		
wyrzynków KS na doklejki ramiaka krótkiego KS boles	2 423	170–700	878	960	0,8		

**Tabela 4 – cd. / Table 4 – cont.**

1	2	3	4	5	6	7	8
Przecinanie doklejek łączonych na ramiaki Cutting edge veneer assembled on frames	4 523	1 580, 810	6 315	960	6,1	99,7	67,53
Możliwych klejonych długich Possible bonded long	3 444	1 580	5 442	960	5,2		
Możliwych klejonych krótkich Possible bonded short	1 079	810	874	960	0,8		
Wykonano doklejek długich Long edge veneer	3 675	1 580	5 807	960	5,6	84,9	<b>67,53</b>
Wykonano doklejek krótkich Short edge veneer	3 675	810	2 977	960	2,9		
Wykonano doklejki 161 Edge veneer 161	7 350	161	1 183	960	1,1		

**Tabela 5.** Wydajność wytworzenia listew podmateracowych i podnóżkowych (16×95 mm)

**Table 5.** Production output of under-matress and footstool slats (16×95 mm)

Węzeł/operacja Node/operation 95×16 z 105×19	Liczba elementów Number of elements szt. – pcs.	Długość Length mm	Łączna długość Total length m	Pole przekroju Section area mm <sup>2</sup>	Objętość partii Batch volume m <sup>3</sup>	Wydajność Material efficiency %	Wydajność łączna Total efficiency %
1	2	3	4	5	6	7	8
Wejście Entry	4 933	różne	9 882	1 900	18,8	100,0	100,0
Struganie Planing		różne	9 882	1 520	15,0	80,0	80,0
Piłowanie poprzeczne, w tym: Crosscut sawing, including:	21 597	różne	7 655	1 520	11,6	77,5	62,0
docinanie gotowych listew cutting finished slats	914	850	777	1 520	1,2	95,6	59,3
frezowanie wyrzynków KW eveling and milling KW boles	12 351	150–800	4 186	1 520	6,4		
frezowanie wyrzynków KS leveling and milling KS boles	5 744	151–800	1 570	1 520	2,4		
frezowanie wyrzynków KG leveling and milling KG boles	2 588	152–800	788	1 520	1,2		
Przecinanie deski łączonej na ramiaki Cutting a joined board	7 663	850	6 514	1 520	9,9	99,5	<b>59,0</b>

**Tabela 5 – cd. / Table 5 – cont.**

1	2	3	4	5	6	7	8
Możliwych listew klejonych KW Possible glued strips KW	4 902	850	4 166	1 520	6,3		
Możliwych listew klejonych KS Possible glued strips KD	1 839	850	1 563	1 520	2,4		
Możliwych listew klejonych KG Possible glued strips KG	923	850	784	1 520	1,2		
Łącznie klas Total classes	7 663	850					
Razem ram Total frame	779						
Razem listew KW Total KW slats	5 453	850	4 635	1 520	7,0	94,7	<b>58,7</b>
Listew klejonych KS Total glue boards KS	1 558	850	1 324	1 520	2,0		
Listew klejonych KG Total glue boards KG	1 558	850	1 324	1 520	2,0		

drzewostanów generuje stabilny rozkład i udział wad budowy anatomicznej (Mirski i in., 2019).

## WNIOSKI

1. Jakościowo-ilościowa optymalizacja wydajności przerobu tarcicy w produkcji elementów ram łóżek, która wiąże się często ze zmniejszeniem wydajności materiałowej produkcji poszczególnych elementów, prowadzi do maksymalizacji wydajności produktu końcowego – ramy łóżka.
2. Optymalizacja elementów półfabrykatowych do produkcji przykładowych kompletnych wybranych ram tapicerskich łóżek z tarcicy sosnowej pochodzącej z Puszczy Noteckiej wyniosła 63,4%, co w znacznym stopniu wynika z doboru tarcicy strefy przyobwodowej o zoptymalizowanych nadmiarach wymiaru szerokości. Wielkość tę można uznać za przeciętną dla surowca sosnowego. Jest ona uznawana za niezadowalającą dla przerobów optymalizacyjnych.
3. Głównym powodem niskiej wydajności jakościowo-ilościowej prefabrykacji tarcicy sosnowej do produkcji ram są wysokie wymagania wytrzymałościowe wobec tego typu mebli. Decydujący

wpływ ma niska wydajność przerobu tarcicy na listwy podmateracowe oraz podnóżkowe (58,7%).

4. Optymalizacja wydajnościowa przerobów jest związana z wysokimi wymaganiami wytrzymałościowymi dotyczącymi większości elementów mebli do leżenia i trudnościami z pozyskaniem najwyższej klasy KW z badanej tarcicy sosnowej pochodzącej z Puszczy Noteckiej.
5. Wysoka zadowalająca wydajność (ok. 68%) została osiągnięta w przerobie bocznej tarcicy sosnowej z Puszczy Noteckiej na kompletne ramiaki (składające się z desek i doklejek) długie i krótkie w wyniku równomiernego doboru klas wytrzymałości półfabrykatów przeznaczeniowych.
6. Zaprezentowane wyniki badań wskazują, że niewięcej strat materiałowych generuje proces eliminacji wad na długość. Wydajności w tej operacji osiągają wartości na poziomie 77,5–86,8% dla badanego surowca sosnowego.

## PIŚMIENNICTWO

- Baltrušaitis, A. (2000). Investigation of influence of knots on short – and long – term strength of glulam beams. World Conference on Timber Engineering 2000.

- Briggert, A., Olsson, A., Oscarsson J. (2016). Three-dimensional modelling of knots and pith location in Norway spruce boards using tracheid-effect scanning. *Eur. J. Wood Prod.*, 74, 725–739.
- Brol, J., Nowak, T., Wdowiak, A. (2018). Numerical analysis and modelling of timber elements strengthened with FRP materials. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci., For. Wood Technol.*, 274–282.
- Buchelt, B., Wagenführ, A., Dietzel, A., Raßbach, H. (2018). Quantification of cracks and cross-section weakening in sliced veneers. *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 76, 381–384. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1238-z>
- Burawska, I., Jachowicz, P., Zbieć, M., Grzeńkiewicz, M. (2014). Local reinforcement of naturally defected structural lumber. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci., For. Wood Technol.*, 87, 25–34.
- Burawska, I., Tomusiak, A., Zbieć, M., Beer, P. (2012). Reducing the impact of knots on the static work of bent wooden beams by local reinforcement with CFRP strip. Structural analysis of historical constructions. Proceedings of the International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2012, 15–17 October 2012, Wrocław, Poland, 1098–2003.
- Burawska, I., Zbieć, M., Kaliciński, J., Beer, P. (2013). Technical simulation of knots in structural wood. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci., For. Wood Technol.*, 82, 105–112.
- Burmester, A. (1965). Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und morphologischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Holz. *Holz als Roh-u. Werkst.*, 6, 227–236.
- Chmielowski, J., Kozakiewicz, P., Buraczyk, W. (2018). Variability of annual rings and density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood of Bolewice origin from the provenance surface in Rogów. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci., For. Wood Technol.*, 102, 11–15.
- Dahlen, J., Montes, C., Eberhardt, T. L., Auty, D. (2018). Probability models that relate nondestructive test methods to lumber design values of plantation loblolly pine. *Forestry*, 91(3), 295–306.
- Duchateau, F., Longuetaud, F., Mothe, F., Ung, C., Auty, D., Achim, A. (2013). Modelling knot morphology as a function of external tree and branch attributes. *Can. J. For. Res.*, 43, 266–277.
- Dzbeński, W. (1984). Nieniszczące badania mechanicznych właściwości iglastej tarcicy konstrukcyjnej wybranymi metodami statycznymi i dynamicznymi. Warszawa: Wyd. SGGW-AR.
- Dzbeński, W. (1994). Normalizacja w polskim drzewnictwie na tle wymagań europejskich. *Przem. Drzewn.*, 10, 22–27.
- Dzbeński, W. (1995). Polska tarcica budowlano-konstrukcyjna na tle wymagań europejskich. IX Konferencja Naukowa Wydziału Technologii Drewna SGGW. Warszawa 1995.
- Fabisiak, E., Moliński, W. (2009). Variation in the microfibril angle in tangent walls of tracheids in individual annual rings of intermediate pine trees (*Pinus sylvestris* L.). *Ann. Warsaw Univ. Life Sci., For. Wood Technol.*, 68, 231–239.
- Hruzik, G. J. (1993). Technologiczna optymalizacja przerobu drewna na materiały tarte i półfabrykaty przeznaczeniowe. *Rocz. AR Pozn., Rozpr. Nauk.*, 236.
- Hruzik, G. J. (2003). Efektywność przerobu drewna w małych i średnich zakładach tartacznych. *Rynek Drzewn.*, 3, 20–21.
- Hruzik, G. J. (2006). Zużycie surowca i materiałów drzewnych w wyrobach przemysłu tartaczno-wood. *Wood*, 49, 175.
- Hruzik, J. G., Gotycz, W., Wieruszewski, M. (2005). Efektywność produkcji przykładowych wyrobów tartacznych na rynek krajowy i europejski. *Przem. Drzewn.*, 5, 18–21.
- Hu, M., Briggert, A., Olsson, A., Johansson, M., Oscarsson, J., Säll, H. (2018). Growth layer and fibre orientation around knots in Norway spruce: a laboratory investigation. *Wood Sci. Technol.*, 52, 7–27.
- Johansson, E., Johansson, D., Skog, J., Fredriksson, M. (2013). Automated knot detection for high speed computed tomography on *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. using ellipse fitting in concentric surfaces. *Comp. Electr. Agric.*, 96, 238–245.
- Klinea D. E., Aramanb P., Surakc, C. (2001). Evaluation of an Automated Hardwood Lumber Grading System. Proceedings of ScanTech (2001). International Conference, Seattle, Washington, USA.
- Kozakiewicz, P., Krzosek, S. (2013). Technologia materiałów drzewnych. Warszawa: Wyd. SGGW.
- Krzosek, S., Bacher, M. (2011). Aktueller Stand der maschinellen Festigkeitssortierung von Schnittholz in Polen und in Europa. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci., For. Wood Technol.*, 74, 254–259.
- Krzosek, S. (2002). Wytrzymałościowe sortowanie tarcicy w procesie produkcji elementów konstrukcyjnych z drewna klejonego warstwowo. *Przem. Drzewn.*, 3, 32–33.
- Krzosek, S. (2009). Wytrzymałościowe sortowanie polskiej sosnowej tarcicy konstrukcyjnej różnymi metodami. Warszawa: Wyd. SGGW.
- Lam, F., Barrett, J. D., Nakajima, S. (2005). Influence of knot area ratio on the bending strength of Canadian

- Douglas fir timber used in Japanese post and beam housing. *J. Wood Sci.*, 51(1), 18–25.
- Lin, W., Wang, J., Sharma, B. (2011). Development of an optimal three-dimensional visualization system for rough lumber edging and trimming in Central Appalachia. *For. Prod. J.*, 61, 5, 401–410.
- Lukacevic, M., Kandler, G., Hu, M., Olsson, A., Füssl, J. (2019). A 3D model for knots and related fiber deviations in sawn timber for prediction of mechanical properties of boards. *Mater Des.*, 166, 107617.
- Lukacevic, M., Füssl, J., Eberhardsteiner, J. (2015). Discussion of common and new indicating properties for the strength grading of wooden boards. *Wood Sci. Technol.*, 49, 551–576. <https://doi.org/10.1007/s00226-015-0712-1>
- Mirski, R., Wieruszewski, M., Malinowski, Z. (2019). Zmienność rozkładu wad drewna okrągłego w dojrzałych drzewostanach sosnowych. *Sylvan*, 11, 913–923.
- PN 94021:2013. Tarcica iglasta konstrukcyjna sortowana metodami wytrzymałościowymi.
- PN-75/D-96000. Tarcica iglasta ogólnego przeznaczenia.
- PN-EN 338:2016-06. Drewno konstrukcyjne – Klasy wytrzymałości.
- PN-EN 844-12:2019. Round wood and lumber – Terminology.
- Purba, C.Y.C., Pot, G., Viguier, J., Ruelle, J., Denaud, L. (2019). The influence of veneer thickness and knot proportion on the mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) made from secondary quality hardwood. *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 77, 393–404. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01400-3>
- Roblot, G., Bléron, L., Mériaudeau, F., Marchal, R. (2010). Automatic computation of the knot area ratio for machine strength grading of Douglas-fir and Spruce timber. *Eur. J. Environ. Civil Eng.*, 14(10), 1317–1332.
- Roszyk, E. (2016). Wilgotnościowe i ultrastrukturalne uwarunkowania parametrów mechanicznych drewna sosny (*Pinus sylvestris* L.) rozciąganego wzdłuż włókien [Mechanical parameters of Scots pine wood (*Pinus sylvestris* L.) upon tensile stress along the grains in relation to its moisture content and ultrastructure]. *Rozpr. Nauk.* 485. Poznań: Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego.
- Schajer, G. S. (2001). Lumber strength grading using X-ray scanning. *For. Prod. J.*, 51(1), 43–52.
- Wdowiak, A. (2015). Assessment of technical condition of wooden structures. In *Transcom Proceedings 2015. Section 7. Civil Engineering* (pp. 326–332). University of Zilina: Zilina, The Slovak Republic.
- Wieruszewski, M., Hruzik, G. J. (2004). Optimisation of the primary Douglas fir log conversion. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW, For. Wood Technol.*, 55, 607–614.

## QUALITATIVE AND QUANTITATIVE OPTIMIZATION OF PROCESSING PINE WOOD IN THE MANUFACTURE OF BED FRAMES

### ABSTRACT

As a part of the research work, material efficiency of pine lumber from the Notec Forest area intended for the production of continental bed frames was verified. One of the preferred methods of processing coniferous lumber into specific strips (semi-finished products) is transverse or longitudinal cutting into elements, with quality adapted to the strength requirements. These elements are obtained in the full dimension of the sub-assembly or are intended to be joined to length using butt joints. Acquired elements are sorted under quality tests determining the shares of quality classes with the separation of sorts in the strength classification KW, KS and KG according to PN 94021:2013. Each of the pine elements of the frame must meet appropriate quality specifications, which requires optimization of sawn timber cutting not only based on maximizing the quantitative efficiency of the process, but also taking into account the quality requirements. The quality of pine lumber for the manufacture of furniture components defines the achievement of the production goal. Quality throughput rates of pine lumber processing do not correspond to the fulfillment of the required assumptions of solid elements for production orders. An excess of inferior quality components is generated with a simultaneous shortage of higher quality components. The paper proposes a parameterization of the optimization process taking into account the throughput of pine lumber from a separate area of the Notec Forest, indicating a 68% fulfillment of order batches and feedback-based production of by-product elements. Such throughput showed a slightly lower-than-maximum material yield, while maximizing the quality yield for the final product.

**Keywords:** productivity, pine wood, image analysis, optimization, quality, strength