

Radosław Auriga \*

## **Wpływ sposobu składowania zrębków drzewnych na właściwości fizyczne i mechaniczne płyt wiórowych**

Influence of raw material storage on to physical and mechanical properties of particleboard

### **Abstract**

Analyzing the impact of the storage of wood material on the physical and mechanical properties of particleboard produced is essential for well thought-out planning and operation. This allows optimize the storage time for a particular storage method. Storage time of the material significantly influences such properties as modulus of rupture, modulus of elasticity and internal bonding. The extension of storage time of the raw material causes significant deterioration aforementioned properties. The negative impact of storage time on the properties of particleboard can be reduced by storing the raw material properly. In this paper, it is concluded that in terms of properties of particleboard produced from raw material stored in open pile, storage time can be up to 6 months. However, the further stockpiling of this material negatively affects the properties of the particle board produced. Storage time of the wood material can be extended by covering the pile. However, the most advantageous way of storing raw wood material for particleboard production is storage in silo-buildings with forced air circulation. After 12 months of storage in a silo-building with forced air circulation, only a slight impact on the properties of the particleboard produced was noted.

***Key words:** particleboard, wood chips, storage, storage time,*

***Słowa kluczowe:** płyta wiórowa, zrębki, składowanie, czas składowania, sposób składowania*

### **Wstęp**

Polska należy do czołowych producentów płyt wiórowych w Europie. W 2015 r. w Polsce wyprodukowano ok. 4,85 mln m<sup>3</sup> płyt wiórowych, co stanowi ok. 14% płyt wiórowych wyprodukowanych w tym okresie w Unii Europejskiej (FAO <http://faostat.fao.org>). Wielkość produkcji płyt wiórowych determinowana jest dostępem do surowca drzewnego. Wiąże się to z koniecznością jego magazynowania w celu zapewnienia ciągłości pracy ciągów produkcyjnych.

W przemyśle płyt drewnopochodnych głównymi asortymentami surowcowymi wykorzystywanymi do produkcji są: papierówka – 43% oraz zrębki f21% (Kozakiewicz i in. 2011).

---

\* dr inż. Radosław Auriga, Katedra Technologii i Przedsiębiorczości w Przemśle Drzewnym, Wydział Technologii Drewna, SGGW w Warszawie, [radoslaw\\_auriga@tlen.pl](mailto:radoslaw_auriga@tlen.pl)

Składowanie surowca drzewnego w postaci zrębków pozwala zaoszczędzić miejsce na składowisku surowca o ok. 40% względem drewna nierozdrobnionego, a ponadto umożliwia magazynowanie i zagospodarowanie odpadów pochodzących z tartaków i innych zakładów mechanicznej obróbki drewna. Pozwala także na ograniczenie kosztów związanych z pracami dotyczącymi przemieszczania surowca na składzie (Modrzejewski i in. 1969; Mróz 1986).

Składowanie surowca w postaci zrębków w stosunku do składowania drewna nierozdrobnionego posiada szereg istotnych wad takich jak zwiększony ubytek ciężaru właściwego i masy drewna, większa podatność na procesy gnilne, a także niekorzystne zmiany składu chemicznego, co szczególnie widoczne jest przede wszystkim w okresie pierwszych czterech miesięcy składowania (Modrzejewski i in. 1969; Fuller 1985; Mróz 1986).

Ze względu na zachodzące reakcje utleniania oraz działalność drobnoustrojów, temperatura wewnątrz stosu jest wyższa niż w jego zewnętrznych warstwach. Najwyższy wzrost temperatury do wartości 50-70°C jest widoczny w pierwszych dwóch tygodniach składowania zrębków, a temperatura w tym przedziale utrzymuje się przez okres 3-4 miesięcy po czym ulega obniżeniu (Modrzejewski i in. 1969; Garstang i in. 2002; Eriksson 2011; Ergül i Ayrimis 2014; Hofmann i in. 2017). Zmiany temperatury oraz jej nierównomierny rozkład w stosie powodują zmiany wilgotności zrębków, jednak w miarę przedłużania procesu składowania różnice te wyrównują się (Modrzejewski i in. 1969; Lenz i in. 2015).

Podczas składowania surowca drzewnego w postaci zrębków złożonych w stosach obserwuje się zmiany zachodzące w tkance drzewnej spowodowane działalnością mikroorganizmów, procesami oddychania i utleniania (Morze i Struk 1988; Ergül i Ayrimis 2014). W swoich badaniach Modrzejewski i in. (1979) wykazali, że podczas składowania drewna sosnowego w postaci zrębków ma miejsce duże zakażenie i porażenie drewna przez zbiorowiska grzybów, głównie powodujących szary rozkład drewna.

Procesy zachodzące w czasie składowania surowca drzewnego w postaci zrębków w stosach przemysłowych pod wpływem mikroorganizmów powodują osłabienie wiązań w tkance drzewnej i ubytek masy składowanego surowca (Morze i Struk 1988). Według literatury ubytek masy składowanego surowca drzewnego w postaci zrębków wynosi w pierwszych 4-6 miesiącach ok. 1-1,5% na każdy miesiąc składowania, w następnych miesiącach składowania wskaźnik ten maleje (Modrzejewski i in. 1969). W czasie długotrwałego składowania wzrost ubytku masy przypada głównie na substancje ekstrakcyjne i ligninę. W pierwszych miesiącach składowania ok. 1/2 strat masy spowodowanych jej ubytkiem przypada na niskocząsteczkowe węglowodany, kwasy organiczne, związki żywiczne i tłuszczo-we (Modrzejewski i in. 1969). Na zawartość substancji ekstrakcyjnych w surowcu drzewnym wpływa czas i sposób składowania drewna (Mróz i Surewicz 1986). Zmniejszenie zawartości substancji ekstrakcyjnych w składowanym surowcu drzewnym w postaci zrębków jest dwukrotnie wyższy (ok. 8%) niż dla drewna nierozdrobnionego (4%) (Mróz i Surewicz 1986). Składowanie surowca drzewnego w postaci zrębków sprzyja w większym stopniu niż skła-

dowanie drewna nierozdrobnionego obniżeniu zawartości substancji ekstrakcyjnych. Jak podają Modrzejewski i in. (1969) ośmioletni okres składowania zrębków odpowiada rocznemu składowaniu nierozdrobnionego surowca drzewnego.

Ilość publikacji na temat przemysłowego składowania zrębków drzewnych jest ograniczona. Badania w tym obszarze zostały poczynione jedynie pod kątem pozyskania mas celulozowych dla przemysłu papierniczego lub wykorzystania zrębków do celów energetycznych (Garstang i in. 2002; Ogunwusi 2012). Dostępny stan wiedzy w tym obszarze opisuje w sposób częściowy tylko wybrane zjawiska zachodzące podczas składowania pozostawiając wiele niejasności. Bez odpowiedzi pozostaje również zagadnienie wpływu zachodzących podczas składowania surowca zjawisk, na właściwości mechaniczne i fizyczne wytwarzanych płyt wiórowych.

Ponadto należy podkreślić, że dostępna w opisywanym obszarze literatura jest w znacznej mierze starsza niż 20 lat, co pozostaje nie bez znaczenia z powodu zmian zachodzących w lesistości Polski. W ciągu ostatnich 20 lat średni wiek drzewostanów w Polsce wzrósł z 52 do 61 lat (Lasy Państwowe 2015), dlatego należy wziąć pod uwagę różnicę w budowie anatomicznej pozyskiwanego surowca drzewnego. W związku z powyższym koniecznym jest przeprowadzenie badań, które w sposób jednoznaczny umożliwią zidentyfikowanie najistotniejszych procesów zachodzących podczas składowania, a także umożliwią przewidywanie właściwości surowca drzewnego w zależności od warunków składowania. Ważnym jest również wykazanie, w jakim stopniu warunki i czas składowania wpływają na właściwości surowca drzewnego, a co za tym idzie na właściwości wytwarzanych płyt wiórowych.

## **Materiały i metodyka**

Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem drewna iglastego – sosna (*Pinus sylvestris* L.) oraz drewna liściastego – olcha (*Alnus* Mill.). Surowiec drzewny został rozdrobniony na rębaku z wałem nożowym do postaci zrębków.

Rozdrobniony surowiec w postaci zrębków został złożony w grudniu 2013 r. na uprzednio przygotowanych stanowiskach w trzech wariantach składowania:

- na odkrytym placu o powierzchni betonowej (ryc. 2C);
- pod zadaszeniem na placu o powierzchni betonowej (ryc. 2A);
- w obiekcie murowanym, z wymuszoną cyrkulacją powietrza (ryc. 2B).

Konstrukcja obiektu murowanego wykonana była w taki sposób, że zrębki usypane były na dnie z siatki stalowej tak, aby umożliwić swobodny przepływ powietrza oraz umieszczenie przewodów instalacji nadmuchowej, która napędzana była wentylatorem o wydajności ok. 90 m<sup>3</sup>/h. W każdym miesiącu składowania surowca wentylator w sumie pracował nie krócej niż 10 dni. Surowiec iglasty i liściasty był składowany na osobnych stanowiskach.

Surowiec drzewny do badań był pobierany co kwartał, przy czym pierwsza seria surowca została pobrana do badań w dniu rozpoczęcia składowania i stanowiła próbę kontrolną. Po oznaczeniu wilgotności surowiec był kondycjonowany do momentu uzyskania wilgotności

odpowiadającej stanowi powietrzno-suchemu, następnie rozdrabniany w laboratoryjnej skrawarce nożowej do postaci wiórów.

W ramach badań wytworzono trójwarstwowe płyty wiórowe o założonej gęstości 650 kg/m<sup>3</sup>, założonej grubości 16 mm oraz o stopniu zaklejenia wiórów warstw zewnętrznych 10% i wiórów warstwy wewnętrznej 8%. Udział warstw zewnętrznych wyniósł 50%. Zaklejenie wiórów odbywało się z wykorzystaniem żywicy UF Silekol 123, metodą natrysku pneumatycznego. Proces prasowania kobierców przeprowadzono w prasie jednopółkowej przy zastosowaniu tradycyjnego schematu prasowania, temperatura półek prasy = 180°C, maksymalne jednostkowe ciśnienie prasowania 2,5 MPa, czas prasowania 325 s.

Po wytworzeniu płyt poddawano je tygodniowemu sezonowaniu w klimacie normalnym (20 ± 2°C, 65 ± 5% wilgotności względnej powietrza). Następnie wycięto z każdego wariantu płyt próbki do badań właściwości fizycznych i mechanicznych. W ramach przeprowadzonych badań oznaczono następujące właściwości płyt:

- gęstość – w oparciu o normę PN-EN 323:1999,
- wytrzymałość na zginanie statyczne i moduł sprężystości przy zginaniu w oparciu o normę PN-EN 310:1994,
- wytrzymałość na rozciąganie w kierunku prostopadłym do płaszczyzn płyty w oparciu o normę PN-EN 319:1999,
- zdolność utrzymania wkrętów umieszczonych prostopadle do płaszczyzn płyty w oparciu o normę PN-EN 13446:2004,
- spęcznienie na grubość po 24 godzinach moczenia w wodzie w oparciu o normę PN-EN 317:1999.

W celu rozpoznania wpływu wybranych czynników na zmienne (np. wpływ czasu składowania surowca na wytrzymałość na zginanie statyczne wytworzonych z tego surowca płyt) w analizie statystycznej zastosowano wieloczynnikową analizę wariancji.

## **Wyniki i ich analiza**

W ramach przeprowadzonych badań czynnikami analizowanymi pod kątem wpływu na właściwości wytwarzanych płyt wiórowych były: czas składowania, sposób składowania i gatunek składowanego drewna.

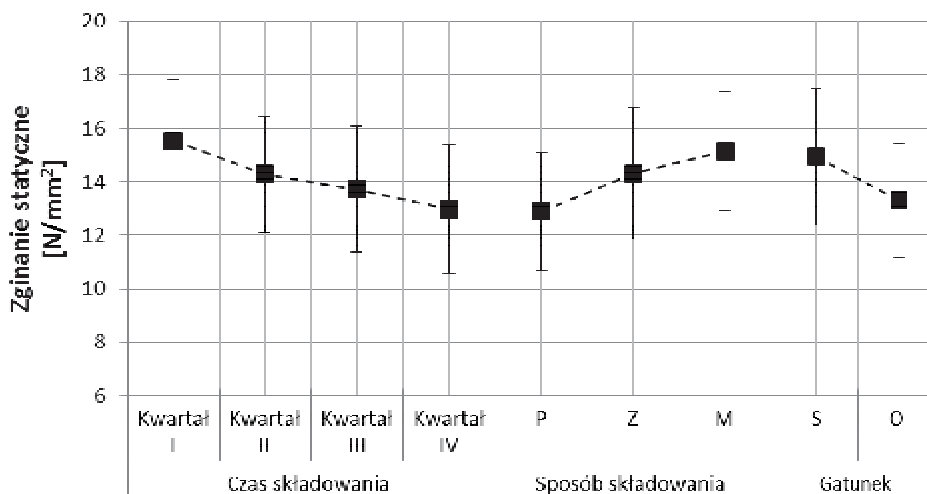
Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że wszystkie trzy czynniki w istotny sposób wpływały na wytrzymałość na zginanie statyczne wytworzonych płyt wiórowych. Przy czym należy zauważyć, że procentowy wpływ czasu i sposobu składowania surowca drzewnego wyniósł dla obu czynników po ok. 14%. Fakt ten oznacza, że czas i sposób składowania w istotnym stopniu wpływają na wytrzymałość na zginanie statyczne wytworzonych płyt wiórowych. Wpływ gatunku drewna został określony na poziomie około 11%. Sumaryczny procent wpływu omawianych czynników na wytrzymałość na zginanie statyczne płyt wiórowych wyniósł ok. 38%. Świadczy to o znaczącym charakterze omawianych czynników na wytrzymałość na zginanie wytwarzanych płyt wiórowych. Analiza danych przedstawionych na ryci-

nie 1, pozwala w oparciu o omawianą analizę wariancji stwierdzić, że wytrzymałość na zginanie statyczne płyt wiórowych spada wraz z wydłużeniem czasu składowania surowca, z którego zostały wykonane.

Tabela 1. Analiza wariancji dla wybranych czynników i interakcji pomiędzy czynnikami wpływającymi na wytrzymałość na zginanie statyczne wytworzonych płyt wiórowych

| Czynnik / interakcja    | SS     | Df  | MS     | F     | p     | X     |
|-------------------------|--------|-----|--------|-------|-------|-------|
| Czas                    | 210,12 | 3   | 70,04  | 18,84 | 0,000 | 14,19 |
| Sposób                  | 209,28 | 2   | 104,64 | 28,15 | 0,000 | 14,14 |
| Gatunek                 | 161,64 | 1   | 161,64 | 43,48 | 0,000 | 10,92 |
| Czas x Sposób           | 32,93  | 6   | 5,49   | 1,48  | 0,187 | 2,22  |
| Czas x Gatunek          | 9,42   | 3   | 3,14   | 0,84  | 0,471 | 0,64  |
| Sposób x Gatunek        | 47,17  | 2   | 23,58  | 6,34  | 0,002 | 3,19  |
| Czas x Sposób x Gatunek | 6,65   | 6   | 1,11   | 0,30  | 0,937 | 0,45  |
| Błąd                    | 803,01 | 216 | 3,72   |       |       | 54,25 |

SS – suma kwadratów odchyleń od wartości średniej, Df – liczba stopni swobody, MS – średni kwadrat odchyleń ( $MS=SS/Df$ ), F – wartość testu, p – prawdopodobieństwo błędu, X – procentowy wpływ czynników na zbadaną właściwość płyt wiórowych



Ryc. 1 Wpływ badanych czynników na wartość zginania statycznego płyt wiórowych (P – otwarty płac; Z – pod zadaszaniem; M – obiekt murowany; S – Sosna; O – olcha)

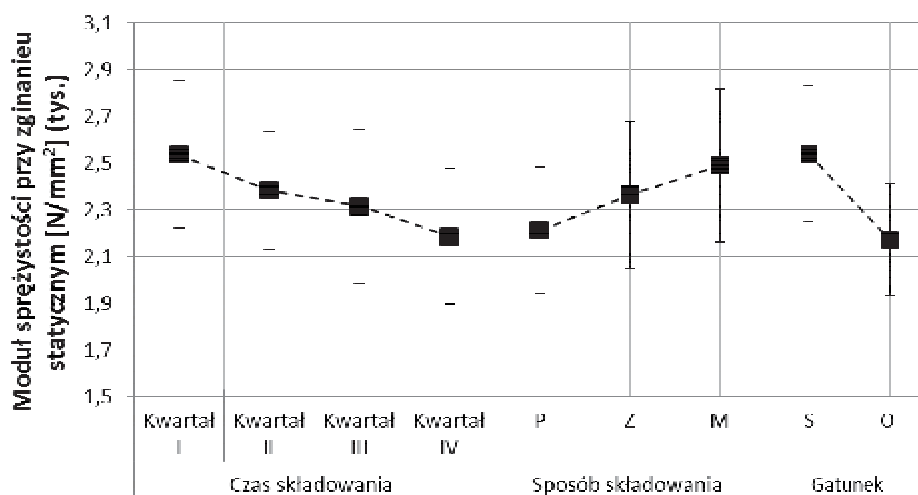
Interakcja między sposobem składowania surowca drzewnego i jego gatunkiem również wykazuje istotny wpływ na omawianą właściwość płyt. W przypadku pozostałych interakcji między poszczególnymi czynnikami nie odnotowano istotnego wpływu na zbadaną zmienną.

Analiza danych z tabeli 2 pozwala stwierdzić, że istotnym czynnikiem o największym procentowym wpływie (ok. 32%) na moduł sprężystości przy zginaniu statycznym wytworzonych płyt wiórowych odznaczał się gatunek drewna, z którego pozyskano surowiec. Ponadto istotnym wpływem na opisywaną właściwość płyt wiórowych odznaczały się czas i sposób składowania, dla których wartość procentowego wpływu wyniosła odpowiednio ok. 15% i 12%. Sumarycznie procentowy wpływ wszystkich trzech czynników wyniósł ponad 60%. Świadczy to o kluczowym znaczeniu analizowanych czynników w kształtowaniu się modułu sprężystości przy zginaniu statycznym wytwarzanych płyt. Procentowy wpływ czynników nie uwzględnionych w niniejszej pracy wyniósł jedynie ok. 35%. Istotną interakcją czynników odnotowano między sposobem składowania i gatunkiem drewna.

Tabela 2. Analiza wariancji dla wybranych czynników i interakcji pomiędzy czynnikami wpływającymi na moduł sprężystości przy zginaniu statycznym wytworzonych płyt wiórowych

| Czynnik / interakcja    | SS      | Df  | MS      | F      | p     | X     |
|-------------------------|---------|-----|---------|--------|-------|-------|
| Czas                    | 3836391 | 3   | 1278797 | 31,25  | 0,000 | 15,39 |
| Sposób                  | 3096242 | 2   | 1548121 | 37,84  | 0,000 | 12,42 |
| Gatunek                 | 8131697 | 1   | 8131697 | 198,74 | 0,000 | 32,62 |
| Czas x Sposób           | 177227  | 6   | 29538   | 0,72   | 0,632 | 0,71  |
| Czas x Gatunek          | 188539  | 3   | 62846   | 1,54   | 0,206 | 0,76  |
| Sposób x Gatunek        | 437640  | 2   | 218820  | 5,35   | 0,005 | 1,76  |
| Czas x Sposób x Gatunek | 222740  | 6   | 37123   | 0,91   | 0,490 | 0,89  |
| Błąd                    | 8838003 | 216 | 40917   |        |       | 35,45 |

SS – suma kwadratów odchyłeń od wartości średniej, Df – liczba stopni swobody, MS – średni kwadrat odchyłeń ( $MS=SS/Df$ ), F – wartość testu, p – prawdopodobieństwo błędu, X – procentowy wpływ czynników na zbadaną właściwość płyt wiórowych



Ryc. 2 Wpływ badanych czynników na moduł sprężystości przy zginaniu statycznym płyt wiórowych (P – otwarty plac; Z – pod zadaszeniem; M – obiekt murowany; S – Sosna; O – olcha)

Analizując dane przedstawione na rycinie 2 należy zauważyć, że wraz z wydłużeniem czasu składowania surowca drzewnego, z którego wytworzone zostały płyty wiórowe, moduł sprężystości przy zginaniu statycznym ulega spadkowi. W przypadku sposobu składowania można zauważyć że surowiec drzewny składowany w obiekcie murowanym z wymuszoną cyrkulacją powietrza pozwala na utrzymanie wartości modułu sprężystości wytwarzanych płyt na istotnie statystycznie wyższym poziomie niż w przypadku surowca składowanego na otwartym placu.

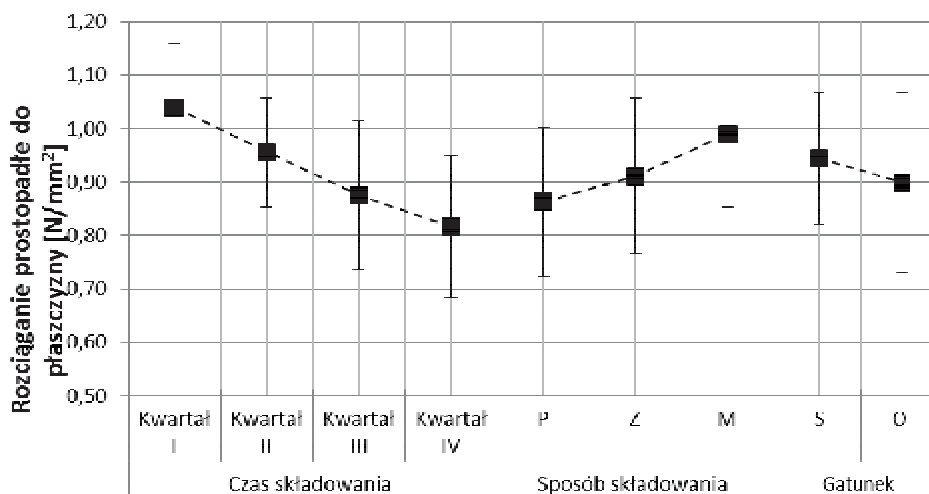
Z przedstawionych w tabeli 3 danych można stwierdzić, że analizowane czynniki: czas i sposób składowania oraz gatunek drewna, w istotny sposób wpływają na wytrzymałość na rozciąganie w kierunku prostopadłym do płaszczyzn wytworzonych płyt wiórowych. Przy czym należy podkreślić, że procentowy wpływ czasu składowania na badaną zmienną wyniósł ponad 30%, natomiast procentowy wpływ sposobu składowania wyniósł ok. 12%. Sumaryczny procent wpływu czasu i sposobu składowania surowca wyniósł ok. 44%. Świadczy to o dużym znaczeniu wspomnianych czynników na kształtowanie się wytrzymałości na rozciąganie wytwarzanych płyt wiórowych. Przy czym czas składowania surowca drzewnego, z którego wykonano płyty, charakteryzuje się najwyższym współczynnikiem procentowym wpływu spośród omawianych czynników. Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianych wytrzymałości na zginanie statyczne oraz modułu sprężystości przy zginaniu statycznym, wraz ze wzrostem czasu składowania surowca drzewnego zaobserwowano spadek wartości wytrzymałości na rozciąganie wytworzonych płyt wiórowych (ryc. 3). Widoczne jest również ograniczenie spadku wartości wytrzymałości na rozciąganie w przypadku płyt

wiórowych wykonanych z surowca drzewnego składowanego w obiekcie murowanym z wymuszoną cyrkulacją powietrza.

Tabela 3. Analiza wariancji dla wybranych czynników i interakcji pomiędzy czynnikami wpływającymi na wytrzymałość na rozciąganie prostopadłe do płaszczyzn wytworzonych płyt wiórowych

| Czynnik / interakcja    | SS     | Df  | MS     | F     | p     | X     |
|-------------------------|--------|-----|--------|-------|-------|-------|
| Czas                    | 1,6895 | 3   | 0,5632 | 52,34 | 0,000 | 31,63 |
| Sposób                  | 0,6591 | 2   | 0,3296 | 30,63 | 0,000 | 12,34 |
| Gatunek                 | 0,1265 | 1   | 0,1265 | 11,76 | 0,001 | 2,37  |
| Czas x Sposób           | 0,0385 | 6   | 0,0064 | 0,60  | 0,733 | 0,72  |
| Czas x Gatunek          | 0,3647 | 3   | 0,1216 | 11,30 | 0,000 | 6,83  |
| Sposób x Gatunek        | 0,0625 | 2   | 0,0312 | 2,90  | 0,057 | 1,17  |
| Czas x Sposób x Gatunek | 0,0755 | 6   | 0,0126 | 1,17  | 0,324 | 1,41  |
| Błąd                    | 2,3242 | 216 | 0,0108 |       |       | 43,52 |

SS – suma kwadratów odchyleń od wartości średniej, Df – liczba stopni swobody, MS – średni kwadrat odchyleń ( $MS=SS/Df$ ), F – wartość testu, p – prawdopodobieństwo błędu, X – procentowy wpływ czynników na zbadaną właściwość płyt wiórowych



Ryc. 3 Wpływ badanych czynników na rozciąganie prostopadłe do płaszczyzn płyt wiórowych (P – otwarty plac; Z – pod zadaszeniem; M – obiekt murowany; S – Sosna; O – olcha)

Analizując interakcje zachodzące między czynnikami i wpływ tych interakcji na wytrzymałość na rozciąganie wytworzonych płyt wiórowych, stwierdzono istotny wpływ jedynie interakcji między czasem składowania i gatunkiem drewna. Pozostałe interakcje zachodzą-



ce między czynnikami nie posiadały istotnego wpływu na omawianą właściwość płyt wiórowych.

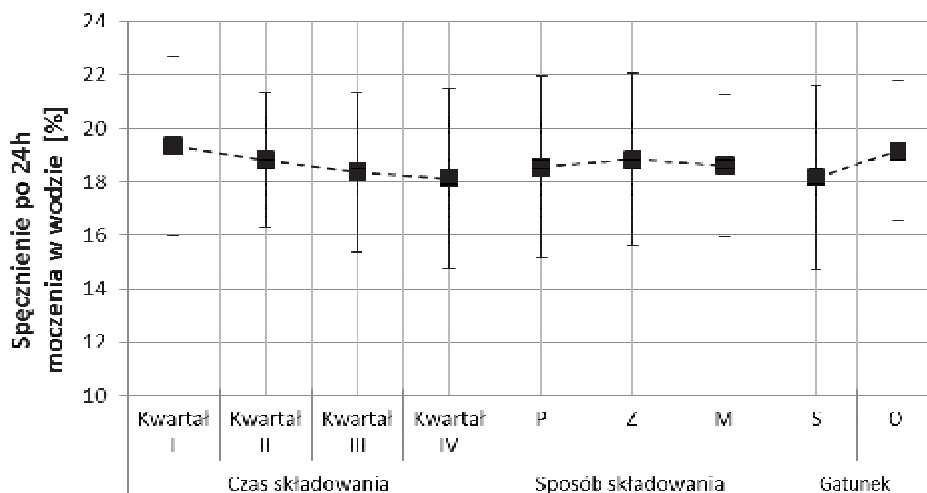
W przypadku analizy wpływu omawianych czynników na spęcznienie płyt na grubość po 24 h moczenia w wodzie nie otrzymano istotnego wpływu czasu i sposobu składowania surowca na badaną właściwość (tabela 4, ryc. 4). Jedynie gatunek drewna miał istotny wpływ na spęcznienie na grubość płyt moczonych przez 24 h w wodzie. Jednak procentowy wpływ tego czynnika nie przekroczył 3%.

Analiza wpływu interakcji poszczególnych czynników wykazała, że istotny wpływ na spęcznienie na grubość wytwarzanych płyt po 24 h moczenia w wodzie, ma interakcja między czasem składowania i gatunkiem drewna. Procentowy wpływ tej interakcji na wartość otrzymanego spęcznienia wyniósł aż 24%. Istotną okazała się również interakcja między wszystkimi badanymi czynnikami (czas x sposób x gatunek). W przypadku pozostałych interakcji nie zaobserwowano istotnego wpływu na spęcznienie na grubość wytwarzanych płyt wiórowych po 24 h moczenia w wodzie.

Tabela 4. Analiza wariancji dla wybranych czynników i interakcji pomiędzy czynnikami wpływającymi na spęcznienie na grubość po 24h moczenia w wodzie wytworzonych płyt wiórowych

| Czynnik / interakcja    | SS      | Df  | MS     | F     | p            | X     |
|-------------------------|---------|-----|--------|-------|--------------|-------|
| Czas                    | 51,26   | 3   | 17,09  | 2,59  | 0,054        | 2,24  |
| Sposób                  | 3,50    | 2   | 1,75   | 0,27  | 0,767        | 0,15  |
| Gatunek                 | 61,75   | 1   | 61,75  | 9,36  | <b>0,002</b> | 2,70  |
| Czas x Sposób           | 64,88   | 6   | 10,81  | 1,64  | 0,138        | 2,83  |
| Czas x Gatunek          | 551,04  | 3   | 183,68 | 27,85 | <b>0,000</b> | 24,07 |
| Sposób x Gatunek        | 20,51   | 2   | 10,25  | 1,55  | 0,214        | 0,90  |
| Czas x Sposób x Gatunek | 112,02  | 6   | 18,67  | 2,83  | <b>0,011</b> | 4,89  |
| Błąd                    | 1424,69 | 216 | 6,60   |       |              | 62,22 |

SS – suma kwadratów odchyłeń od wartości średniej, Df – liczba stopni swobody, MS – średni kwadrat odchyłeń ( $MS=SS/Df$ ), F – wartość testu, p – prawdopodobieństwo błędu, X – procentowy wpływ czynników na zbadaną właściwość płyt wiórowych



Ryc. 4 Wpływ badanych czynników na spęcznienie grubość płyt wiórowych po 24h moczenia w wodzie (P – otwarty plac; Z – pod zadaszeniem; M – obiekt murowany; S – Sosna; O – olcha)

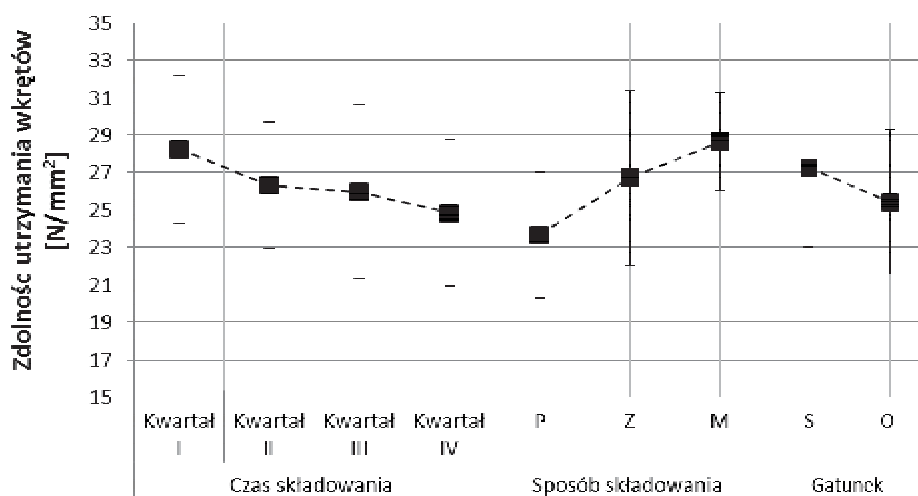
Na wartość zdolności utrzymania wkrętów umieszczonych prostopadle do płaszczyzn płyt istotny wpływ miały wszystkie trzy czynniki – gatunek drewna, czas i sposób składowania (tabela 5). Przy czym najwyższy procentowo wpływ na zdolność utrzymania wkrętów został zaobserwowany dla sposobu składowania surowca drzewnego, z którego wykonano płyty, wyniósł on 24 %. Jak zobrazowano na wykresie (ryc. 5) płyty wiórowe wykonane z surowca składowanego na otwartym placu charakteryzowały się najniższą zdolnością utrzymania wkrętów. Natomiast w przypadku płyt wiórowych wykonanych z surowca drzewnego składowanego w obiekcie murowanym z wymuszoną cyrkulacją powietrza zdolność utrzymania wkrętów była najwyższa.

W przypadku interakcji między poszczególnymi czynnikami, jedynie interakcja między czasem składowania i gatunkiem drewna nie miała istotnego wpływu na zdolność utrzymania wkrętów. Istotną interakcją, której procentowy wpływ na badaną właściwość płyt wiórowych wyniósł 18 %, okazała się interakcja między sposobem składowania i gatunkiem drewna wykorzystanym do produkcji płyt.

Tabela 5. Analiza wariancji dla wybranych czynników i interakcji pomiędzy czynnikami wpływającymi na zdolność utrzymania wkrętów wytworzonych płyt wiórowych

| Czynnik / interakcja    | SS      | Df  | MS     | F     | p     | X     |
|-------------------------|---------|-----|--------|-------|-------|-------|
| Czas                    | 361,20  | 3   | 120,40 | 18,66 | 0,000 | 8,71  |
| Sposób                  | 1002,30 | 2   | 501,20 | 77,66 | 0,000 | 24,18 |
| Gatunek                 | 204,20  | 1   | 204,20 | 31,65 | 0,000 | 4,93  |
| Czas x Sposób           | 267,60  | 6   | 44,60  | 6,91  | 0,000 | 6,46  |
| Czas x Gatunek          | 47,20   | 3   | 15,70  | 2,44  | 0,065 | 1,14  |
| Sposób x Gatunek        | 755,60  | 2   | 377,80 | 58,55 | 0,000 | 18,23 |
| Czas x Sposób x Gatunek | 113,30  | 6   | 18,90  | 2,93  | 0,009 | 2,73  |
| Błąd                    | 1393,80 | 216 | 6,50   |       |       | 33,62 |

SS – suma kwadratów odchyłeń od wartości średniej, Df – liczba stopni swobody, MS – średni kwadrat odchyłeń ( $MS=SS/Df$ ), F – wartość testu, p – prawdopodobieństwo błędu, X – procentowy wpływ czynników na zbadaną właściwość płyt wiórowych



Ryc. 5 Wpływ badanych czynników na zdolność utrzymania wkrętów (P – otwarty plac; Z – pod zadaszeniem; M – obiekt murowany; S – Sosna; O – olcha)

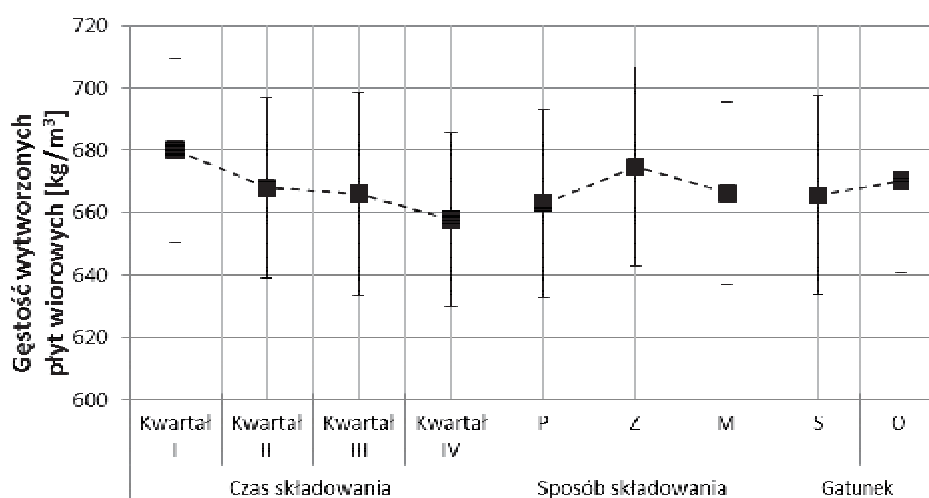
Analizę wariancji omawianych czynników i ich wzajemnej interakcji wpływających na gęstość wytwarzanych płyt wiórowych przedstawiono w tabeli 6 oraz na rycinie 6. Istotny wpływ na gęstość płyt wiórowych posiadają dwa z trzech omawianych czynników, są to czas i sposób składowania. Sumaryczny procent wpływu tych czynników wyniósł 9%. Jednak z przeprowadzonej analizy wynika, że bardzo duży wpływ posiadały czynniki nie analizowane w ramach niniejszej pracy, procentowy wpływ tych czynników wyniósł aż 78%.

Jedyną interakcją między czynnikami mającymi istotny wpływ na gęstość wytwarzanych płyt wiórowych była interakcja między czasem i sposobem składowania surowca drzewnego wykorzystanego do produkcji płyt wiórowych.

Tabela 6. Analiza wariancji dla wybranych czynników i interakcji pomiędzy czynnikami wpływającymi na gęstość wytworzonych płyt wiórowych

| Czynnik / interakcja    | SS     | Df  | MS   | F    | p     | X     |
|-------------------------|--------|-----|------|------|-------|-------|
| Czas                    | 15171  | 3   | 5057 | 6,20 | 0,000 | 6,75  |
| Sposób                  | 5960   | 2   | 2980 | 3,60 | 0,028 | 2,65  |
| Gatunek                 | 1285   | 1   | 1285 | 1,60 | 0,212 | 0,57  |
| Czas x Sposób           | 13363  | 6   | 2227 | 2,70 | 0,014 | 5,94  |
| Czas x Gatunek          | 2690   | 3   | 897  | 1,10 | 0,352 | 1,20  |
| Sposób x Gatunek        | 4603   | 2   | 2302 | 2,80 | 0,062 | 2,05  |
| Czas x Sposób x Gatunek | 4906   | 6   | 818  | 1,00 | 0,427 | 2,18  |
| Błąd                    | 176832 | 216 | 819  |      |       | 78,66 |

SS – suma kwadratów odchyleń od wartości średniej, Df – liczba stopni swobody, MS – średni kwadrat odchyleń ( $MS=SS/Df$ ), F – wartość testu, p – prawdopodobieństwo błędu, X – procentowy wpływ czynników na zbadaną właściwość płyt wiórowych



Ryc. 6 Wpływ badanych czynników na gęstość wytworzonych płyt wiórowych (P – otwarty plac; Z – pod zadaszeniem; M – obiekt murowany; S – Sosna; O – olcha)

## Wnioski

1. Sposób składowania surowca drzewnego w postaci zrębków istotnie wpływa na właściwości wytrzymałościowe wytwarzanych płyt wiórowych. W przypadku 12-miesięcznego okresu składowania surowca, płyty wykonane z surowca składowanego na otwartym placu wykazują wyższy (średnio o 40% dla drewna sosnowego i ok. 17% dla drewna olchowego) spadek wartości właściwości wytrzymałościowych, niż płyty

- wykonane z surowca składowanego pod zadaniem. Zróżnicowanie wartości wytrzymałościowych wzrasta wraz z wydłużeniem czasu składowania.
2. Czas składowania surowca drzewnego w postaci zrębków istotnie wpływa na pogorszenie właściwości wytrzymałościowych wytwarzanych z niego płyt wiórowych. Jest to szczególnie widoczne w przypadku właściwości płyt wiórowych wykonanych z surowca składowanego na otwartym placu. Spadek wartości właściwości wytrzymałościowych dla płyt wykonanych z surowca składowanego przez okres 12 miesięcy wynosił średnio 29%.
  3. Czas składowania surowca drzewnego w postaci zrębków nie wpływający istotnie statystycznie na wartość wytrzymałości na zginanie statyczne wytworzonych z niego płyt wiórowych wynosi: 12 miesięcy niezależnie od gatunku drewna przy składowaniu w obiekcie murowanym z wymuszoną cyrkulacją powietrza; 9 miesięcy dla zrębków sosnowych i 6 miesięcy dla zrębków olchowych w przypadku składowania pod zadaniem; 3 miesiące dla zrębków sosnowych i 6 miesięcy dla zrębków olchowych przy składowaniu surowca na otwartym placu.
  4. Czas składowania surowca drzewnego w postaci zrębków nie wpływający istotnie statystycznie na wartość wytrzymałości na zginanie statyczne wytworzonych z niego płyt wiórowych wynosi: 12 miesięcy niezależnie od gatunku drewna przy składowaniu w obiekcie murowanym z wymuszoną cyrkulacją powietrza; 9 miesięcy dla zrębków sosnowych i 6 miesięcy dla zrębków olchowych w przypadku składowania pod zadaniem; 3 miesiące dla zrębków sosnowych i 6 miesięcy dla zrębków olchowych przy składowaniu surowca na otwartym placu.
  5. Wartości wytrzymałości na rozciąganie prostopadłe płyt wiórowych wykonanych z surowca składowanego przez okres 3 miesięcy w przypadku zrębków sosnowych i okres 6 miesięcy dla zrębków olchowych w obiekcie murowanym z wymuszoną cyrkulacją powietrza, nie wykazywały istotnych statystycznie różnic względem płyt wiórowych wykonanych z surowca świeżego.
  6. Spęcznienie na grubość po 24 h moczenia w wodzie płyt wiórowych, nie zależy od czasu i sposobu składowania surowca drzewnego, z którego je wykonano.

## Literatura

**Ergül E., Ayrimis N., 2014:** Effect of outdoor storage conditions of wood chip pile on the technological properties of wood-based panels. *Biomass and Bioenergy* 61, p. 66-72

**Eriksson A., 2011:** Energy efficient storage of biomass at Vattenfall heat and power plant. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences Department of Energy and Technology; May 2011. p. 102. Report No.: 1654-9392.

**Fuller WS.; 1985:** Chip pile storage-a review of practices to avoid deterioration and economic losses. *Tappi J* 68:48-52.

**Garstang J., Weekes A., Poulter R., Bartlett D., 2002:** Identification and characterisation of factors affecting losses in the large-scale, nonventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. Leeds UK: First Renewables Ltd; 2002. p. 116. Report No.: FES BW2/00716/REP DTI/Pub URN 02/1535.

**Hofmann N., Mendel T., Schulmeyer F., Kuptz D., Borchert H., Hartmann H., 2017:** Drying effect and dry matter losses during seasonal storage of spruce wood chips under practical conditions. *Biomass and Bioenergy*, p. 1 – 10

**Kozakiewicz P., Borysiuk P., Krzosek S., 2011:** Struktura zapotrzebowania na surowiec drzewny głównych odbiorców w Polsce. Konferencja naukowo-techniczna „Rozwój zasobów drzewnych i strategia ich wykorzystania” SITLID, 08 listopada 2011r., Gołuchów

**Lenz H., Idler C., Hartung E., Pecenka R., 2015:** Open-air storage of fine and coarse wood chips of poplar from short rotation coppice in covered piles. *Biomass and Bioenergy* 83, p. 269-277

**Modrzejewski K., Surewicz W., Wandelt P., 1969:** Zmiany własności drewna sosnowego składowanego w zrębkach i otrzymywanych z niego mas celulozowych siarczanowych. *Przegląd Papierniczy*, nr 9 (308), s. 291-299

**Modrzejewski K., Surewicz W., Wandelt P., Zieliński M., 1979:** Ocena skutków składowania zrębków sosnowych w stosach w różnych okresach kalendarzowych. *Przegląd Papierniczy*, nr 2/76, s. 44-51;

**Morze Z., Struk K., 1988:** Wpływ czasu składowania zrębków na zmiany dynamicznego modułu postaciowego drewna. *Folia Forestalia Polonica, Seria B, zeszyt 19*, s. 73-84;

**Mróz W., Surewicz W., 1986:** Wpływ składowania drewna sosnowego na zawartość w nim substancji ekstrakcyjnych i na żywiczne produkty uboczne celulozowni siarczanowych. *Folia Forestalia Polonica, Seria B, zeszyt 17*, s. 21-33;

**Ogunwusi AA., 2012:** The effect of chips storage on pulp and papermaking properties of mixed tropical hardwood species. *Jorind* 10:13-23

**Raport o stanie lasów w Polsce 2015.** Opracowanie wykonane w Instytucie Badawczym Leśnictwa na zlecenie Generalnej Dyrekcji Lasów Państwowych. CILP, Warszawa 2016, <http://www.lasy.gov.pl/informacje/publikacje/informacje-statystyczne-i-raporty/raport-o-stanie-lasow/raport-o-stanie-lasow-w-polsce-2015>

**Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)** <http://faostat.fao.org>