KRAJOWY PLAN ODBUDOWY
Rzeczpospolita Polska
Sfinansowane przez Unię Europejską NextGenerationEU
Wydawca DREWNOLIT

DREWNOLIT / Zbiór artykułów / 27 listopada 2026 r.

Gospodarka materiałowa i energetyczna w przemyśle drzewnym

Sześć analiz branżowych na przykładzie zakładu DREWNOLIT w Cezarynie

Jakie dane pozwalają określić uzysk drewna, zapotrzebowanie na energię i ilość węgla związanego w wyrobach? Artykuły omawiają te zagadnienia razem z ewidencją partii i prognozowaniem popytu na wyroby stolarskie.

Spis treści

1. Od mokrej trociny do pelletu. Które pozostałości drzewne opłaca się granulować?
Jak pochodzenie i wilgotność surowca wpływają na przydatność pozostałości do produkcji pelletu?

2. Blat z krótkich fryz. Kiedy opłaca się zachować drewno w postaci litej?
Które elementy drewna można odzyskać w postaci blatu i jak obliczyć rzeczywisty uzysk materiałowy?

3. Cyfrowa ewidencja obiegu drewna w zakładzie stolarskim
Jak zachować informację o pochodzeniu materiału po podziale lub połączeniu partii?

4. Czy AI może przewidzieć popyt na wyroby stolarskie?
Jak odróżnić zmianę popytu od sezonowości i sprawdzić trafność prognozy przed decyzją zakupową?

5. Efektywność energetyczna suszenia biomasy. Studium przypadku DREWNOLIT
Jak zmienia się bilans suszenia po uwzględnieniu prądu, ciepła i czasu pracy linii?

6. Drewno jako trwały magazyn CO_2
Ile węgla pozostaje w gotowym wyrobie i jak jego dalszy los zmienia bilans klimatyczny?





Granulat drzewny i blat z fryz. Fotografie z dokumentacji DREWNOLIT w Cezarynie.

Cezary Rułka DREWNOLIT • Przedsięwzięcie KPOD.01.13-IW.01-0230/24

Od mokrej trociny do pelletu. Które pozostałości drzewne opłaca się granulować?

Selekcja surowca, bilans suszenia i kryteria jakości na przykładzie zakładu DREWNOLIT w Cezarynie

Abstrakt. O przydatności pozostałości do produkcji pelletu decydują pochodzenie drewna, wilgotność i wartość jego alternatywnego wykorzystania. Porównano dane polskiego sektora drzewnego, wymagania dla paliwa oraz dokumentację partii próbnej DREWNOLIT. Bilans dla jednej tony wysuszonego materiału pokazuje, że zmiana wilgotności początkowej z 15% do 50% podnosi ilość wody do odparowania z około 59 do 800 kg. Z tego powodu cena za tonę wilgotnej trociny słabo opisuje jej wartość dla granulowni. Drugim czynnikiem rozstrzygającym o możliwości sprzedaży jest zgodność konkretnej partii z wymaganiami odbiorcy.

Słowa kluczowe. pozostałości tartaczne, pellet drzewny, bilans wilgoci, produkty uboczne, jakość paliwa

Podaż pozostałości i konkurencja o surowiec

W polskim przemyśle drzewnym granulator konkuruje o surowiec z producentem płyt i z samym tartakiem, który może potrzebować ciepła do suszenia. Ratajczak i współautorki oszacowały, że w 2015 r. w polskim sektorze drzewnym powstało ponad 13 mln m³ produktów ubocznych. Około 6,2 mln m³ przeznaczono na przetwórstwo materiałowe, a 5,8 mln m³ na cele energetyczne. Autorki połączyły model przepływów z częściowym badaniem ankietowym i oceną ekspercką. To historyczny obraz konkurencji między zastosowaniami drewna. Dzisiejszą podaż dla konkretnej granulowni trzeba ustalić w jej obszarze dostaw [1].

Rynek wyrobów gotowych może poruszać się inaczej niż rynek lokalnego surowca. Według zestawienia USDA produkcja pelletu drzewnego w Polsce wzrosła z 1,175 mln t w 2023 r. do 1,250 mln t w 2024 r., czyli o 6,4%. W tym samym czasie w całej UE spadła z 19,969 do 19,517 mln t, czyli o 2,3%. Dane dotyczą produkcji, a nie cen lub rentowności. Dla zakładu ważniejsze od średniej unijnej będzie porównanie ofert od odbiorcy pelletu, producenta płyt i odbiorcy ciepła dla tych samych partii drewna [2].

Pochodzenie drewna przed podziałem na frakcje

Pod pojęciem produkcji budowlanej rozpatrujemy tu fabryczne wytwarzanie elementów z drewna, w tym konstrukcji oraz stolarki okiennej i drzwiowej. Docinek z cięcia nowej, surowej kantówki można przypisać do konkretnego materiału i stanowiska. Wymontowana ościeżnica ma inną historię użytkowania i może nosić ślady powłok, impregnatów lub okuć. Rozdrobnienie obu do tej samej wielkości zatrze różnicę widoczną przy przyjęciu. Dlatego decyzja o osobnym gromadzeniu frakcji powinna zapaść przed rębakiem [3] [4].

Sama nazwa handlowa „biomasa” nie rozstrzyga statusu pozostałości. Art. 10 ustawy o odpadach wiąże status produktu ubocznego m.in. z pewnym dalszym wykorzystaniem, powstawaniem w ramach procesu produkcyjnego i możliwością użycia zgodnego z prawem po operacjach mieszczących się w normalnej praktyce przemysłowej. Art. 11 ust. 5 pkt 1 wyłącza wskazane formalności dla określonych produktów

mechanicznego przetworzenia czystego drewna, jeżeli spełniają warunki produktu ubocznego. Kwalifikacja wymaga ustalenia składu i pochodzenia danej partii. Ustawa zabrania wspólnego magazynowania odpadów i produktów ubocznych [3].

Schemat przyjęcia partii proponowany dla zakładu z kilkoma źródłami pozostałości. Podstawa: ustawa o odpadach i specyfikacja surowcowa ENplus [3] [4].

Strumień	Co rozstrzyga przy przyjęciu	Kierunek po rozdzieleniu
Mokre trociny i czyste zrzyny z tartaku	Pochodzenie, udział kory i ziemi, masa, wilgotność	Odsiewanie zanieczyszczeń, rozdrobnienie większych kawałków, suszenie według potrzeb partii.
Suche wióry z produkcji stolarki lub konstrukcji	Zidentyfikowane stanowisko przed klejeniem, impregnacją i lakierowaniem	Osobny zasobnik. O przydatności do granulowania decydują pomiary partii i wymagania odbiorcy.
Krótkie odcinki litego drewna	Przekrój i długość użytkowa po usunięciu wad	Najpierw selekcja fryzów do wyrobów. Czyste pozostałości po selekcji można rozważać jako wsad do rozdrobnienia.
Drewno rozbiórkowe, płyta laminowana, pył po szlifowaniu powłok	Historia obróbki, obecność klejów, lakierów i innych substancji	Oddzielna kwalifikacja i właściwy odbiorca. Wyłączenie z analizowanego strumienia czystej biomasy na pellet.

Ile wody trzeba usunąć z tej samej ilości drewna?

Porównanie opracowano dla jednej tony materiału opuszczającego suszarnię przy wilgotności 10% w odniesieniu do masy mokrej. Zawiera on 900 kg suchego drewna i 100 kg wody. Przy wilgotności wejściowej 50% trzeba pobrać 1 800 kg wsadu i usunąć 800 kg wody. Przy wejściowych 15% wystarczy około 1 059 kg wsadu, a odparowaniu podlega około 59 kg. Obie partie dają tę samą suchą masę, lecz mokra frakcja wymaga odparowania około 13,6 razy więcej wody. Obliczenie zakłada brak ubytków suchej substancji i dodatków. Przyjęte wilgotności są scenariuszami porównawczymi.

W badaniu przemysłowej suszarni trocin Silva i współautorzy wykazali zależność zapotrzebowania układu na strumień gazów grzewczych od wilgotności wsadu [5]. Z bilansu wody nie wynika jeszcze koszt ciepła. Aby porównać oferty, zakład może osobno liczyć cenę zakupu i transportu w przeliczeniu na tonę suchego drewna oraz koszt odparowania wody, ustalony dla swojej suszarni. Gdy brakuje dostępnego czasu suszenia, znaczenia nabiera także marża z tony produktu przypadająca na godzinę pracy suszarni.

Próg opłacalności można obliczyć bez narzucania zakładowi ceny energii. Dla opisanych dwóch partii różnica wynosi około 741 kg wody na tonę materiału po suszeniu. Jeżeli pełny zmienny koszt odparowania wynosi przykładowo 0,10 zł/kg wody, mokra partia obciąża tę tonę dodatkowymi 74 zł. To scenariusz obliczeniowy przy założonej stawce. Oszczędność na zakupie surowca musi jeszcze pokryć przewóz dodatkowej masy oraz ewentualną utratę wydajności. Stawkę do rzeczywistej decyzji należy wyprowadzić z pomiarów i cen zakładu.

Próba DREWNOLIT i kryteria odbioru pelletu

W opisie próby z 30 czerwca 2026 r. DREWNOLIT wykazał 4 000 kg pelletu wytworzonego z materiału próby. Zakład rozdrabnia większe kawałki i suszy biomasę przed granulowaniem. Receptura przewidywała dodanie oleju po suszeniu, przed granulowaniem, w ilości 2% masy gotowej mieszaniny [6]. Ta informacja dokumentuje skalę próby oraz przyjętą recepturę. Ustalenie uzysku wymagałoby

jeszcze porównania suchej masy surowca i produktu z uwzględnieniem dodatku, odsiewu oraz zapasu w urządzeniach.

W Polsce rozporządzenie z 8 maja 2025 r. określa wymagania dla wskazanego w nim paliwa wprowadzanego do obrotu z przeznaczeniem do gospodarstw domowych lub instalacji o nominalnej mocy cieplnej poniżej 1 MW. Tabela 3 dotycząca pelletu A1 do wymienionych urządzeń przewiduje m.in. najwyżej 10% wilgoci w stanie roboczym, 0,70% popiołu w stanie suchym, co najmniej 16,5 MJ/kg wartości opałowej w stanie roboczym oraz maksymalnie 2% dodatków. Są to wybrane parametry do oceny partii. Wyniku pomiaru ciepła spalania nie można bez przeliczenia porównywać z progiem wartości opałowej [7].

Dodatkowy warunek pojawia się przy sprzedaży w dobrowolnym systemie ENplus. Standard ST 1001 w drugim wydaniu wyklucza drewno rozbiórkowe i chemicznie przetworzone. Dla pozostałości z obróbki drewna pierwotnego przewiduje wąski wyjątek dotyczący śladowych ilości dodatków produkcyjnych, pod warunkami podanymi w uwadze do tabeli surowcowej. Nie uzasadnia to kierowania wymieszanych odpadów stolarskich do granulacji. Limit dodatków stosowanych podczas produkcji wynosi 1,8% masy pelletu, a po produkcji 0,2%. Jeżeli w gotowym pellecie udział dodatku wprowadzonego przed granulowaniem wynosiłby pełne 2% masy, przekraczałby limit 1,8% dla tego etapu. Dane o recepturze uzasadniają zatem odrębne sprawdzenie podstawy procentowej i rzeczywistej dawki. Sam limit całkowity 2% z rozporządzenia nie potwierdza zgodności z ENplus. Odrębną kwestią jest nazwa projektowa „pellet antysmogowy”. Ocena wpływu na emisję pyłu wymaga porównywalnych pomiarów spalania w określonym urządzeniu [4] [6] [7].

Wniosek dla kierownika produkcji

Rozliczenie każdej partii warto zacząć od trzech zapisów: stanowiska pochodzenia, masy netto i wilgotności na jednoznacznie określonej podstawie. Po suszeniu potrzebne są masa wyjściowa i wilgotność, a po granulowaniu masa wyrobu, ilość odsiewu i wyniki badań jakościowych. Taki bilans pozwala zauważyć, czy spadek liczby ton wynikał z odparowania wody, odrzucenia zanieczyszczonej partii czy strat rzeczywistej substancji drzewnej. Dopiero przy porównywalnej jakości odbiorczej ma sens zestawienie marży z pelletu z wartością sprzedaży czystych pozostałości do innego zastosowania.

Przypisy i źródła

[1] E. Ratajczak, A. Szostak, G. Bidzińska, E. Leszczyszyn. *Market in wood by-products in Poland and their flows in the wood sector. Drewno, 61(202), s. 5–20* (2018). Dostęp online

[2] B. Flach, S. Bolla, USDA Foreign Agricultural Service. *Wood Pellets Annual: European Union. Raport E42026-0048, tabela 3, 7 lipca 2026 r.* (2026). Dostęp online

[3] Rzeczpospolita Polska. *Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, art. 10, 11 i 13. Tekst jednolity, Dz.U. 2026 poz. 1328* (2026). Dostęp online

[4] Bioenergy Europe i DEPI. *ENplus® ST 1001:2022, wyd. 2. ENplus® wood pellets – Requirements for companies. Załącznik A.2 i A.3* (2025). Dostęp online

[5] J. Silva, A. C. Ferreira, S. Teixeira, L. Martins, E. Ferreira, J. C. Teixeira. *Sawdust drying process in a large-scale pellets facility: An energy and exergy analysis. Cleaner Environmental Systems, 2, 100037* (2021). Dostęp online

[6] Cezary Rułka DREWNOLIT. *Pellet z pozostałości stolarskich. Publiczny opis próby produkcyjnej z 30 czerwca 2026 r., Cezaryn* (2026). Dostęp online

[7] Minister Klimatu i Środowiska. *Rozporządzenie z dnia 8 maja 2025 r. w sprawie wymagań jakościowych dla biomasy pozyskanej z drzew i krzewów wprowadzanej do obrotu lub obejmowanej procedurą celną dopuszczenia do obrotu w postaci brykietu lub peletu. Dz.U. 2025 poz. 618, § 1 oraz załącznik, tabela 3* (2025). Dostęp online

Blat z krótkich fryz. Kiedy opłaca się zachować drewno w postaci litej?

Uzysk materiałowy, jakość połączeń i trwałość wyrobu na przykładzie prototypu DREWNOLIT

Abstrakt. Krótki odcinek drewna zachowuje wartość użytkową, jeżeli po usunięciu wad jego przekrój pozwala wykonać element potrzebny w konkretnym wyrobie. Na przykładzie blatu DREWNOLIT rozdzielono trzy miary: udział odzyskanych fryz w produkcie, uzysk z partii wejściowej oraz ilość zastąpionego drewna pierwotnego. Zestawienie danych prototypu z badaniami paneli z krótkich elementów pokazuje, jak kwalifikować wsad, liczyć straty i sprawdzać opłacalność z uwzględnieniem pracy, jakości oraz rzeczywistego okresu użytkowania wyrobu.

Słowa kluczowe. fryzy drzewne, blat klejony, uzysk materiałowy, trwałość mebli, kaskadowe wykorzystanie drewna

Skala branży a dostępność użytecznych fryz

Według GUS w 2023 r. w Polsce wyprodukowano 4,206 mln m³ tarcicy, a według zestawienia Eurostatu produkcja w całej UE wyniosła 102 mln m³. Statystyka tarcicy opisuje skalę sektora [1] [2]. Podaż krótkich, czystych elementów o wymiarach przydatnych w meblarstwie wymaga osobnego pomiaru. Na przykład dwa zakłady przerabiające podobną objętość desek mogą pozostawiać po cięciu zupełnie inne długości odcinków, jeżeli jeden wykonuje krótkie komponenty na wymiar, a drugi długie ramy.

Pytanie dla zakładu brzmi: ile użytecznej powierzchni blatu można uzyskać z konkretnej partii i jakim kosztem? Analizę oparto na dokumentacji prototypu DREWNOLIT, badaniach produkcji paneli meblowych z krótkich odcinków oraz literaturze dotyczącej klejenia i cyklu życia wyrobów drewnianych. Wyniki z zakładu opisują jeden wyrób. Przykład bilansu poniżej służy zaprojektowaniu pomiaru serii [3] [4] [5].

Selekcja następuje przed rozdrobnieniem

Fryza jest przydatna wtedy, gdy jej zdrowa część po wycięciu pęknięć, niedopuszczalnych sęków lub zgnilizny mieści się w zestawieniu wymiarów potrzebnych do złożenia blatu. Przy ocenie liczą się szerokość, grubość i długość po obróbce, a także prostoliniowość. Fragment można przeznaczyć na krótszy moduł albo obrócić w planie rozkroju. Po rozdrobnieniu odzyskanie tej geometrii staje się niemożliwe. Badanie mebli z własnych, czystych odcinków dębiny wykazało praktyczne znaczenie sortowania według wymiaru, wad i pochodzenia [6].

Oddzielenie odcinków z obróbki surowego drewna od elementów lakierowanych, impregnowanych albo o nieustalonym pochodzeniu ułatwia zaplanowanie dalszych prac i dobór kleju. Miernik wilgotności powinien być ustawiony odpowiednio do badanego materiału. W karcie partii warto zapisać rozrzut odczytów. Dwa elementy o różnych wilgotnościach mogą po sklejeniu zmieniać wymiary w różnym stopniu. Wilgotność docelową, przygotowanie powierzchni i warunki prasowania dobiera się do gatunku, przewidywanego środowiska użytkowania i karty technicznej stosowanego kleju [5] [7].

W jednym z badań odcinki dębu klejono przy wilgotności od 8 do 12%. Badacze sprawdzali jednolitość wilgotności między elementami i stan spoin. Przedmiotem próby trwałości było krzesło. Podany zakres

opisuje warunki tamtego procesu. Dla blatu trzeba osobno sprawdzić przyjętą szerokość listew, sposób łączenia oraz pracę wyrobu podczas użytkowania [6].

Co dokładnie pokazuje prototyp DREWNOLIT

W zakładzie w Cezarynie wybrane fryzy ułożono w równoległe rzędy z przesunięciem styków. W próbie połączenia zastosowano drewnianą lamelkę. Karta wyrobu podaje bazowy format 1200 × 600 × 38 mm. W prezentacji projektu dla prototypu podano 18,60 kg fryz, odpowiadających 95,4% masy gotowego blatu. Pierwsza wielkość opisuje drewno wbudowane w sztukę. Druga określa jej skład materiałowy. Żadna z tych wartości samodzielnie nie określa, ile drewna odrzucono przed montażem [3] [8].

W amerykańskiej pracy badawczej dotyczącej czterech gatunków liściastych wykonano panele z tarcicy niskiej jakości, łącząc odcinki na długości na mikrowczepy, a następnie sklejając je bokami. Uzysk z surowej tarcicy do gotowego panelu wyniósł około 33%. Proces obejmował eliminację wad obecnych jeszcze w tarcicy. Porównywanie tego wyniku z 95,4% DREWNOLIT pomieszałoby różne mianowniki i różne technologie łączenia [3] [4].

Jak policzyć uzysk partii

Partię należy oznaczyć przed sortowaniem. Do bilansu objętościowego przyjmuje się objętość litego drewna, z pominięciem pustych przestrzeni w pojemniku. Na wyjściu mierzy się drewno w wyrobach przyjętych jakościowo. Odrębny bilans masowy powinien uwzględniać wilgotność oraz wyłączać klej i powłokę. Gdy wilgotność u wyraża się względem suchej masy, masa suchego drewna wynosi m/(1 + u/100), gdzie m oznacza masę zmierzoną. Obie strony bilansu muszą korzystać z tej samej definicji wilgotności [7].

Poniższy przykład rachunkowy ilustruje wpływ miejsca pomiaru. W przedsiębiorstwie warto dodatkowo rozliczać odłożone elementy, które czekają na kolejny format. W okresie pomiędzy przyjęciem partii a ich wykorzystaniem należą one do zapasu produkcji w toku. Bez takiego zapisu wynik zależałby od dnia zamknięcia zestawienia.

Przykład obliczeniowy autora. Objętości dotyczą tej samej wilgotności. Dane nie pochodzą z zakładu DREWNOLIT.

Wielkość	Obliczenie	Wynik
Kwalifikacja fryz	0,70 m³ zaakceptowanych / 1,00 m³ zgłoszonych	70%
Uzysk po kwalifikacji	0,56 m³ drewna w blatach / 0,70 m³ zaakceptowanych	80%
Uzysk całej ścieżki	0,56 m³ drewna w blatach / 1,00 m³ zgłoszonych	56%

Próg opłacalności i koszt innego wykorzystania

Dla kierownika produkcji ważne są minuty pracy na jeden zaakceptowany metr kwadratowy. Im więcej krótkich odcinków przypada na tę samą powierzchnię, tym więcej razy pracownik musi pobrać detal, ocenić wadę i dopasować styk. W studium polskiego przedsiębiorstwa produkującego meble z pozostałości dębowych dominującym składnikiem kosztów była praca [6]. W DREWNOLIT przy szacowaniu wyniku serii należałoby doliczyć także sortowanie, klej, energię prasowania, wykończenie, odrzuty i obsługę reklamacji.

Decyzja o kierunku wykorzystania wymaga wyceny alternatywy dostępnej dla tej samej partii. Jeśli zakład mógł sprzedać odcinki innemu odbiorcy, kosztem utraconej możliwości jest przychód ze sprzedaży po odjęciu unikniętych kosztów przygotowania i wydania. Przy wykorzystaniu

energetycznym należy oszacować wartość uzyskanej energii użytecznej po uwzględnieniu wilgotności i sprawności instalacji. Jeżeli zdolność prasy jest wyczerpana, kalkulacja powinna objąć również zlecenie, które musiałoby ustąpić miejsca blatom z fryz. Są to odrębne scenariusze porównawcze.

Trwałość, naprawa i granice wniosku środowiskowego

Do porównania cyklu życia można przyjąć użytkowanie jednego blatu o powierzchni 0,72 m² w określonym środowisku przez dziesięć lat. Taki okres jest założeniem projektowym DREWNOLIT. Należy uwzględnić liczbę potrzebnych wyrobów i renowacji w obu wariantach, a także przygotowanie drewna, klejenie, powłoki i sposób zagospodarowania po zakończeniu użytkowania. Literatura wskazuje, że wynik zależy m.in. od jednostki funkcjonalnej, granic systemu i procesu zastępowanego przez odzyskany materiał [3] [9].

Ewidencja napraw może połączyć obliczenia z praktyką. Dla kolejnych partii warto zapisywać przyczynę zgłoszenia, stan spoiny, możliwość miejscowego szlifowania i odtworzenia powłoki oraz to, czy naprawiony wyrób powrócił do użytkowania. Dla klienta trwałość oznacza utrzymanie funkcji powierzchni. Dla zakładu oznacza także koszt serwisu. Dopiero zestawienie danych o uzysku partii, nakładach pracy i żywotności pozwoli oszacować, przy jakiej jakości fryz i skali zamówień zachowanie litego drewna ma przewagę [5] [9].

Przypisy i źródła

[1] Główny Urząd Statystyczny. *Rocznik Statystyczny Leśnictwa 2025, tabl. 14 (274) „Produkty przemysłu drzewnego w 2023 r.”, s. 301* (2025). Dostęp online

[2] Eurostat. *Key figures on the EU in the world, 2025 edition, rozdział dotyczący produkcji drewna, s. 82* (2025). Dostęp online

[3] Cezary Rułka DREWNOLIT. *Cyfrowe narzędzia GOZ w operacjach przemysłowych. Prezentacja projektu, strona 21 pliku PDF, karta produktu BLAT-FRYZ-P01* (2026). Dostęp online

[4] C. Dougherty. *Improving lumber recovery of low-quality hardwoods via finger-jointing technologies. West Virginia University, ETD 2752* (2009). Dostęp online

[5] C.R. Frihart, C.G. Hunt. *Wood adhesives: bond formation and performance. Wood Handbook, rozdział 10. USDA Forest Products Laboratory, FPL-GTR-282* (2021). Dostęp online

[6] M. Grotowska, E. Grzegorzewska, P. Beer, S. Oleńska. *Creative Upcycling of Wood Waste into Furniture: Bridging Durability Testing and Economic Viability, a Case Study. Sustainability, 18(15), 7720* (2026). Dostęp online

[7] R. Bergman. *Drying and control of moisture content and dimensional changes. Wood Handbook, rozdział 13. USDA Forest Products Laboratory, FPL-GTR-282* (2021). Dostęp online

[8] Cezary Rułka DREWNOLIT. *Blat i opakowanie do ponownego użycia. Dokumentacja prototypu i prób w Cezarynie* (2026). Dostęp online

[9] N. Thonemann, M. Schumann. *Environmental impacts of wood-based products under consideration of cascade utilization: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, 172, 4181–4188* (2018). Dostęp online

Cyfrowa ewidencja obiegu drewna w zakładzie stolarskim

Jak połączyć projekt wyrobu, partię materiału i bilans suchej masy

Abstrakt. Wspólna ewidencja projektowania, produkcji i magazynu wymaga zachowania powiązań między partiami przy każdym podziale i połączeniu drewna. Na przykładzie zakładu DREWNOLIT przeanalizowano, które powiązania potwierdzają dokumenty wdrożenia, a które wymagają testu na rzeczywistym zleceniu. Bilans przykładowej partii pokazuje, dlaczego rozliczenie pozostałości wymaga odrębnego zapisu masy, wilgotności i podstawy jej oznaczania.

Słowa kluczowe. identyfikowalność partii, rachunek przepływów materiałowych, CAD, ERP, przemysł drzewny

Co właściwie ma udowodnić zapis cyfrowy?

W zakładzie stolarskim z jednego rozkroju powstają element zamówiony przez klienta, krótkie fryzy o różnej przydatności i frakcja drobna. Informacja, że magazyn przyjął „drewno”, wystarcza do zaksięgowania dostawy. Do decyzji o wykorzystaniu pozostałości potrzeba jeszcze ich wymiarów, wilgotności, pochodzenia i informacji o wcześniejszej obróbce. Pytanie badawcze brzmi: jaki zakres ewidencji pozwala ustalić, ile materiału rzeczywiście wróciło do produkcji i w jakim wyrobie zakończyło swój obieg?

Analiza łączy trzy rodzaje materiału: europejską statystykę wykorzystania oprogramowania, literaturę o śledzeniu drewna oraz dokumentację wdrożenia DREWNOLIT. Na tej podstawie zaproponowano kartę zdarzeń i sprawdzono ją na hipotetycznym bilansie suszenia. Przedmiotem analizy jest zdolność do odtworzenia obiegu pojedynczej partii. Ocena oszczędności materiałowych wymagałaby odrębnego porównania uzysku przed wdrożeniem i po nim, przy podobnym surowcu oraz asortymencie.

Jakie dane ma już przemysł, a czego nadal brakuje?

W 2025 r. oprogramowania do planowania zasobów przedsiębiorstwa (ERP) używało w Unii Europejskiej 41,08% małych, 69,93% średnich i 88,71% dużych przedsiębiorstw objętych badaniem Eurostatu. Różnica między skrajnymi grupami wynosiła 47,63 punktu procentowego. Badanie obejmuje wybrane sektory i firmy zatrudniające co najmniej 10 osób, łącznie z pracującymi na własny rachunek. Są to dane o stosowaniu ERP w przedsiębiorstwach różnych branż. Pytanie o powiązanie konkretnej partii materiału z wyrobem wymaga odrębnego sprawdzenia w zakładzie [1].

Próbę takiego powiązania opisali Figorilli i współautorzy. W południowych Włoszech śledzili drogę drewna z dziesięciu drzew do tartaku. Przy podziale pnia na kłody przypisywali nowe znaczniki radiowe i wiązali je z identyfikatorem drzewa. Skala próby ogranicza możliwość przeniesienia wyników na koszty masowej produkcji. Z badania można jednak przejąć konkretną zasadę projektową: przy podziale trzeba zapisać pochodzenie każdej nowej partii. W stolarni może do tego wystarczyć etykieta pojemnika ze ścinkami, odczytywana przy jego przyjęciu i wydaniu [2].

Model zdarzeń dla fryzów i biomasy

Standard GS1 rozdziela zdarzenia istotne dla śledzenia produktu od danych potrzebnych do ich opisania. Specyfikacja EPCIS przewiduje zdarzenie transformacji z listą wejść i wyjść, również ilościowych. W analizowanym zastosowaniu na każdym etapie trzeba ustalić, kto odpowiada za wpis, kiedy i gdzie materiał zmienił stan oraz z jakim dokumentem można uzgodnić jego ilość [3] [4].

Przy rozkroju jedno zdarzenie łączy partię pierwotną ze wszystkimi partiami wynikowymi. Przy zasypie suszarni kierunek jest odwrotny: jedna partia wsadu może mieć kilka źródeł. Jeżeli resztki mieszają się we wspólnym silosie, właściwą jednostką rozliczenia może być napełnienie silosu albo okres pomiędzy inwentaryzacjami. Przypisanie konkretnego kilograma trocin do pojedynczego blatu po takim zmieszaniu wykraczałoby poza rozdzielczość pomiaru. Poniższy model zachowuje tę granicę.

Tabela 1. Proponowany zakres ewidencji dla zakładu stolarskiego. Opracowanie własne na podstawie GS1 [3] [4].

Zdarzenie	Minimalny zapis	Decyzja możliwa po odczycie
Rozkrój i selekcja	Partia wejściowa, zlecenie, numery pojemników, ilość i klasa frakcji	Które fryzy mają wymiary wymagane przez kolejny projekt?
Połączenie wsadu i suszenie	Partie źródłowe, masa, wilgotność i jej podstawa, czas, partia wyjściowa	Ile suchej masy ujęto po obu stronach procesu?
Wydanie do produkcji	Partia, wersja projektu, ilość wydana, zwrot oraz dokument przyjęcia wyrobu	Ile drewna pobrano i jaka ilość pozostała na stanowisku?

Test bilansu na hipotetycznej partii

Dla biomasy oznaczanej zgodnie z ISO 18134-2 wilgotność w stanie dostawy podaje się względem masy próbki wilgotnej. Przy tej podstawie sucha masa wynosi m × (1 − w), gdzie m jest masą partii, a w udziałem wody wyrażonym ułamkiem. Rekord musi zachować metodę i datę pomiaru: próbka pobrana z wierzchu pryzmy może dać wynik inny niż próbka reprezentująca cały wsad [5].

Rozważmy przyjęcie 1 000 kg biomasy o wilgotności 40%. Partia zawiera 600 kg suchej masy. Jeżeli w trakcie suszenia usuwamy tylko wodę, przy wilgotności końcowej 10% otrzymamy 600/0,90 = 666,67 kg materiału. Odparuje 333,33 kg wody. System księgujący całą zmianę masy jako stratę drewna błędnie przypisałby produkcji odpad stanowiący jedną trzecią wsadu. Wartości założono na potrzeby przykładu obliczeniowego.

Załóżmy następnie, że zarejestrowano 650 kg materiału i 10 kg oddzielonej drobnej frakcji, oba strumienie przy wilgotności 10%. Wyjścia zawierają 594 kg suchej masy. Pozostaje 6 kg do wyjaśnienia, czyli 1% suchej masy wejściowej. Już pomyłka o jeden punkt procentowy w wilgotności początkowej zmienia wynik dla takiego wsadu o 10 kg. Regułę alarmową trzeba więc oprzeć na niepewności ważenia i próbkowania, zmianie zapasu wewnątrz urządzenia oraz powtarzalności prób. Samo przekroczenie umownego progu nie rozstrzyga o rzeczywistej stracie drewna.

Co dokumentuje przypadek DREWNOLIT?

Według zestawienia końcowego na 30 czerwca 2026 r. DREWNOLIT przyjął do użytkowania trzy narzędzia: do projektowania, ewidencji zasobów oraz analizy sprzedaży. Prezentacja przedsiębiorstwa opisuje import danych o produktach i dokumentach sprzedaży z WAPRO Mag. W części poświęconej Stolcad i identyfikatorowi projektu wskazuje przygotowanie modułu do importu plików CSV i XLSX.

Powiązanie projektu, rezerwacji materiału, rozchodu i raportu środowiskowego jednym numerem przedstawiono jako cel dalszej integracji [6] [7].

Test odbiorczy dla tej integracji można przeprowadzić na jednym zleceniu. Technolog wybiera wersję projektu i wykaz elementów, magazynier wydaje partię, a operator zapisuje wyrób, zwrot i pozostałości. Ponowny import identycznego pliku powinien pozostawić pojedynczy rozchód. Zmiana projektu powinna utworzyć kolejną wersję z historią poprzedniej. Tak zaprojektowany test ujawni również pomylenie jednostek, gdy program projektowy rozlicza elementy w sztukach, a magazyn rejestruje masę.

Samo przesłanie pliku między aplikacjami potwierdza jedynie zgodność techniczną formatu. Dla porównywalności potrzebne są trzy uzgodnienia: czy pole ilości oznacza plan, wydanie czy faktyczne zużycie, jak dalej rozpoznawać ten sam materiał po zmianie nazwy indeksu i kto zatwierdza przelicznik między sztukami, objętością a masą. Dla fryzów o różnych wymiarach i wilgotności jedna stała masa sztuki może zniekształcać wynik. Warto przechowywać ilość źródłową obok wartości przeliczonej, wraz z datą i podstawą przeliczenia.

Jak oceniać korzyść z cyfryzacji?

Przy ocenie wdrożenia warto śledzić udział zamkniętych partii z pełną historią wśród wszystkich zamkniętych partii, odsetek suchej masy pozostającej do wyjaśnienia i czas potrzebny na odtworzenie źródła wybranego wyrobu. Pierwszy miernik pokazuje kompletność zapisów, drugi pozwala wychwycić problemy pomiarowe, a trzeci bada użyteczność danych podczas reklamacji. Łącząc fizyczny przepływ materiałów z kosztami, można następnie porównać korzyść netto z dwóch sposobów użycia tych samych fryzów. Dla ponownego wykorzystania w blacie obejmuje ona koszt zastępowanego surowca pomniejszony o dodatkowe wydatki na sortowanie, obróbkę i ewidencję. Dla sprzedaży frakcji jest to uzyskana cena pomniejszona o koszty przygotowania i transportu. Takie powiązanie jednostek fizycznych z kosztami odpowiada podejściu do rachunku kosztów przepływu materiałów opisanemu w ISO 14051 [8].

Przypisy i źródła

[1] Eurostat. *E-business integration. Adoption of e-business applications, zbiór isoc_eb_iip; dane za 2025 r.* (2026). Dostęp online

[2] S. Figorilli, F. Antonucci, C. Costa i in. *A Blockchain Implementation Prototype for the Electronic Open Source Traceability of Wood along the Whole Supply Chain. Sensors, 18(9), 3133. DOI: 10.3390/s18093133* (2018). Dostęp online

[3] GS1. *GS1 Global Traceability Standard, wyd. 2.0, rozdz. 3.1* (2017). Dostęp online

[4] GS1. *EPCIS Standard, wyd. 2.0.0, opis zdarzenia TransformationEvent* (2022). Dostęp online

[5] ISO. *ISO 18134-2:2024. Solid biofuels. Determination of moisture content. Part 2: Simplified method* (2024). Dostęp online

[6] Cezary Rułka DREWNOLIT. *Zakończenie projektu DREWNOLIT, zestawienie wyników na 30 czerwca, wskaźnik R26* (2026). Dostęp online

[7] Cezary Rułka DREWNOLIT. *Cyfrowe narzędzia GOZ w operacjach przemysłowych. Prezentacja konferencyjna, s. 24 i 27 pliku PDF* (2026). Dostęp online

[8] ISO. *ISO 14051:2011. Environmental management. Material flow cost accounting. General framework* (2011). Dostęp online

Czy AI może przewidzieć popyt na wyroby stolarskie?

Sygnały z rynku budowlanego i meblarskiego w planowaniu zamówień i zużycia drewna

Abstrakt. Opracowano procedurę oceny, czy informacja branżowa poprawia prognozę zamówień w zakładzie stolarskim. Zestawiono statystyki budownictwa, handlu i produkcji mebli z sygnałami pozyskiwanymi w przedsiębiorstwie. Zaproponowano walidację w czasie oraz ocenę skutków błędu poprzez koszt niedoboru, nadwyżkę materiału i obciążenie produkcji. Przykład liczbowy pokazuje, jak zmiana poziomu zabezpieczenia popytu wpływa na zakup drewna.

Słowa kluczowe. prognozowanie popytu, stolarka budowlana, meblarstwo, uczenie maszynowe, planowanie produkcji

Który rynek ma przewidywać model?

Producent okien na wymiar, dostawca blatów dla fabryki kuchni i sprzedawca gotowych mebli podejmują różne decyzje. Pierwszy rezerwuje materiał według dokumentacji budynku, drugi potrzebuje powtarzalnego przekroju i terminów dostaw, trzeci utrzymuje zapas wyrobów. Wspólna prognoza przychodu w złotych może poprawnie uchwycić podwyżkę cen, a jednocześnie zawyżyć zapotrzebowanie na drewno. Pytanie badawcze brzmi zatem: czy sygnały branżowe poprawiają prognozę liczby zamówionych wyrobów ponad informację zawartą w historii zakładu i przyjętych zamówieniach?

Przyjęto dwie jednostki analizy. Dla produkcji powtarzalnej jest to liczba sztuk w rodzinie wyrobów na miesiąc. Dla stolarki na wymiar użyteczniejsze mogą być metry kwadratowe okien i roboczogodziny według technologii. Termin podpisania umowy wyznacza moment ujawnienia popytu, a oczekiwany tydzień dostawy decyduje o obciążeniu produkcji. W zakładzie pracującym na zamówienie należy zachować obie daty. Dane makroekonomiczne poniżej opisują otoczenie. Ocenę zdolności prognostycznej zaprojektowano jako oddzielne badanie na danych zakładowych.

Dwa sygnały z Polski i punkt odniesienia dla eksportu

W październiku 2026 r. liczba mieszkań, na których budowę w Polsce wydano pozwolenie lub przyjęto zgłoszenie z projektem, spadła o 4,0% wobec października 2025 r. Liczba mieszkań, których budowę rozpoczęto, spadła o 8,9%, a oddanych do użytkowania o 0,4%. Są to wstępne dane miesięczne GUS o mieszkaniach. Dla producenta okien pozwolenie może zapowiadać przyszły projekt, lecz między decyzją administracyjną, zakupem i montażem występuje opóźnienie. Jego długość trzeba oszacować dla własnych odbiorców. Popyt na wymianę okien w istniejących budynkach wymaga osobnego sygnału, np. liczby wycen remontowych. [1]

W tym samym miesiącu sprzedaż detaliczna w cenach stałych w grupie przedsiębiorstw „meble, RTV, AGD” wzrosła w Polsce o 14,9% rok do roku. Agregat obejmuje kilka rodzajów dóbr i dotyczy handlu. Z kolei w firmach produkujących meble, liczących co najmniej 50 pracujących, nominalna wartość produkcji sprzedanej była od stycznia do maja 2026 r. o 4,3% niższa niż rok wcześniej. Różnią się okres, badana populacja i sposób ujmowania cen. Bezpośrednie przeniesienie któregokolwiek z tych

odczytów na liczbę blatów dostarczanych odbiorcy biznesowemu wprowadziłoby do planu nieuzasadniony przelicznik. [2] [3]

Polski Fundusz Rozwoju wskazuje Niemcy jako najważniejszy rynek eksportowy polskich mebli. We wrześniu 2026 r. w Niemczech udzielono pozwoleń na budowę 20 800 mieszkań, o 14,8% mniej niż rok wcześniej. Destatis zwraca uwagę na wysoką bazę i opóźnienia w zgłoszeniach urzędowych. Eksporter powinien przypisać taki sygnał do zamówień z danego kraju i przetestować jego znaczenie dla określonej grupy wyrobów. U producenta mebli kontraktowych większą wagę może mieć portfel podpisanych dostaw konkretnego dystrybutora. [3] [4]

Dane, których potrzebuje zakład

Podstawą jest pozycja zamówienia z rodziną produktu, ilością, jednostką, rynkiem docelowym, datą rejestracji i terminem dostawy. Warto osobno rejestrować anulowania, zmiany terminu, oferty przegrane z powodu czasu dostawy i okresy niedostępności materiału. Zero wysyłek przy braku surowca ma dla estymacji popytu inne znaczenie niż tydzień bez zapytań. Wartość otwartych ofert należy ważyć historycznym prawdopodobieństwem przyjęcia dla podobnego etapu i odbiorcy. Prawdopodobieństwa szacuje się wyłącznie z informacji dostępnej przed datą prognozy. [5]

W prezentacji DREWNOLIT opisano import danych z WAPRO Mag, podział sprzedaży na kanały, prognozy i rejestr uruchomień. Odnotowano również potrzebę uzupełnienia pozycji dokumentów przed pełnym prognozowaniem poszczególnych produktów. Pierwszą próbę warto więc przeprowadzić dla kilku rodzin o stabilnym oznaczeniu i policzalnej historii zamówień. W publicznej dokumentacji wskazano funkcje oprogramowania. Ustalenie osiągniętego błędu prognozy wymaga odtworzenia kolejnych prognoz i porównania ich z zamówieniami otrzymanymi później. [6]

Jak sprawdzić, czy AI wnosi dodatkową informację

Punktem odniesienia dla miesięcznej sprzedaży sezonowej jest wynik z tego samego miesiąca poprzedniego roku. Obok niego warto zbudować prognozę opartą na potwierdzonych zamówieniach i typowym wolumenie zamówień dopływających do terminu dostawy. Trzeci wariant może wykorzystywać model drzew decyzyjnych uczący się łącznie na wielu rodzinach produktów. Zmienne wejściowe obejmują wcześniejsze zamówienia, stan ofert, sezon i opóźnione publikacje GUS. Konkurs M5 obejmował 42 840 szeregów sprzedaży detalicznej Walmart. Stanowi przykład wspólnego modelowania hierarchii wyrobów, a przeniesienie wniosków do polskiej stolarki wymaga własnego testu. [5] [7]

Procedura zakłada powtarzanie próby na koniec kolejnych miesięcy. W każdej dacie odtwarza się ówczesny portfel zamówień i ostatni dostępny komunikat statystyczny. Odczyt GUS o sprzedaży październikowej ogłoszony w listopadzie może wejść dopiero do prognozy sporządzonej po jego publikacji. Wybór cech i ustawień modelu odbywa się na wcześniejszych fragmentach historii. Końcową ocenę prowadzi się na kolejnych, odłożonych okresach. Porównanie obejmuje horyzont jednego, trzech i sześciu miesięcy oraz wariant modelu pozbawiony wskaźników zewnętrznych. W ten sposób można oddzielić wartość samego algorytmu od wartości informacji rynkowych. [2] [5]

Dla każdej rodziny należy raportować średni błąd bezwzględny w sztukach lub metrach kwadratowych oraz średnią różnicę między prognozą a zamówieniami, która ujawnia systematyczne przeszacowanie. Przy popycie sporadycznym błąd procentowy MAPE jest niezdefiniowany dla obserwacji równych zero. Można ocenić łączny popyt w czasie dostawy i porównać metody także z prognozą uwzględniającą

oddzielnie wielkość zamówienia i odstęp między zamówieniami. Skalowany błąd MASE nadaje się do porównań przy dodatnim mianowniku obliczonym z próby uczącej. Warto również raportować częstość braków i koszt zapasu. [5] [8]

Od prognozy do zamówienia drewna

Przykład obliczeniowy dotyczy jednego miesiąca i jednej rodziny blatów. Wszystkie liczby przyjęto ilustracyjnie. Prognoza łącznego popytu ma medianę 40 sztuk i kwantyl 80% równy 50 sztukom. Obejmuje już 24 sztuki w potwierdzonych zamówieniach. Do terminu dostawy zakład dysponuje 12 gotowymi sztukami i 8 sztukami produkcji w toku. Założono pełną przydatność obu zapasów, brak rezerwacji na inne terminy i brak wolnego surowca. Na blat przypada w przykładzie 0,030 m³ drewna netto, przy uzysku materiałowym 80%.

Przy medianie potrzeba 20 dodatkowych sztuk i 0,750 m³ surowca. Wariant odpowiadający kwantylowi 80% wymaga 30 sztuk i 1,125 m³. Różnica wynosi 0,375 m³. Planista może zabezpieczyć dodatkowy surowiec wspólny dla kilku wyrobów, a termin rozkroju uzależnić od potwierdzenia ofert. Wybór poziomu zabezpieczenia powinien uwzględniać koszt pilnej dostawy, wartość zapasu, możliwość użycia fryzów w innym zleceniu oraz sprawdzoną częstość przekraczania prognozowanego kwantyla. Jako dowód wartości AI dla DREWNOLIT można wówczas porównać koszt nadwyżek i braków z kosztem uzyskanym przy prostej regule sezonowej.

Przypisy i źródła

[1] Główny Urząd Statystyczny. *Sytuacja społeczno-gospodarcza kraju. Podstawowe dane, budownictwo mieszkaniowe w październiku 2026 r.; publikacja 25 listopada* (2026). Dostęp online

[2] Główny Urząd Statystyczny. *Sytuacja społeczno-gospodarcza kraju. Rynek wewnętrzny. Dane za październik 2026 r.; publikacja 25 listopada* (2026). Dostęp online

[3] Jagodziński A., Polski Fundusz Rozwoju. *Kompendium polskie meble. Lipiec 2026* (2026). Dostęp online

[4] Statistisches Bundesamt (Destatis). *Baugenehmigungen für Wohnungen im September 2026: −14,8 % zum Vorjahresmonat. Pressemitteilung Nr. 402 vom 18. November* (2026). Dostęp online

[5] Hyndman R. J., Athanasopoulos G. *Forecasting: Principles and Practice, wyd. 3, rozdz. 5, The forecaster’s toolbox. OTexts* (2021). Dostęp online

[6] Cezary Rułka DREWNOLIT. *Cyfrowe narzędzia GOZ w operacjach przemysłowych. Wystąpienie konferencyjne, Lublin, 18 czerwca 2026 r., wersja publiczna, slajdy 24 do 27* (2026). Dostęp online

[7] Makridakis S., Spiliotis E., Assimakopoulos V. *M5 accuracy competition: Results, findings, and conclusions. International Journal of Forecasting, 38(4), s. 1346–1364* (2022). Dostęp online

[8] Babai M. Z., Syntetos A., Teunter R. *Intermittent demand forecasting: An empirical study on accuracy and the risk of obsolescence. International Journal of Production Economics, 157, s. 212–219* (2014). Dostęp online

Efektywność energetyczna suszenia biomasy. Studium przypadku DREWNOLIT

Bilans prądu i ciepła dla tony odparowanej wody oraz próg utrzymania celu 360 MWh

Abstrakt. W zakładzie w Cezarynie porównano dotychczasowe suszenie drewna litego z przygotowaniem wilgotnych pozostałości tartacznych na nowej linii. Przy wspólnym zadaniu odparowania 3 000 t wody modelowy nakład energii maleje z 1 533,45 do 1 408,10 kWh na tonę wody. Oznacza to spadek o 8,17% i obliczony wzrost efektywności energetycznej P5 równy 376,04 MWh. Przewaga nad celem wynosi 16,04 MWh. Jej ocenę ograniczają brak odrębnego pomiaru prądu linii w próbie oraz nieustalone zużycie poza pracą produkcyjną. [1]

Słowa kluczowe. suszenie biomasy, bilans energii, tony odparowanej wody, energochłonność jednostkowa, linia bazowa

Jak porównać komorę do drewna z linią do suszenia biomasy?

Przed modernizacją komora suszyła drewno przeznaczone do dalszej obróbki. Część suchego materiału stawała się później pozostałością stolarską. Nowa linia przyjmuje bezpośrednio wilgotne pozostałości, rozdrabnia je, transportuje i suszy w bębnie. Z perspektywy tartaku zmieniają się więc surowiec i funkcja urządzenia. Pytanie badawcze brzmi: jaki nakład energii przypada na wykonanie porównywalnego zadania fizycznego w obu wariantach? Audyt przyjmuje tonę odparowanej wody i zamyka granicę nowego procesu przy odbiorze suchej biomasy, przed dodaniem oleju, granulowaniem, chłodzeniem i pakowaniem. [1]

Porównanie ma charakter znormalizowany. ISO 50006 zaleca dobieranie wskaźników i energetycznej linii bazowej odpowiednio do celu oceny oraz uwzględnianie zmiennych wpływających na zużycie. Wspólna jednostka pozwala tu przeliczyć dwa wsady o innej wilgotności. Pozostaje różnica jakościowa: proces komorowy dostarcza również tarcicę o wymaganych cechach, a bębnowy przygotowuje sypki surowiec. Wyniku P5 można zatem użyć do oceny energochłonności usuwania wody w granicach audytu. Roczna oszczędność zakładu wymaga osobnego bilansu rzeczywistych przerobów i produktów. [1] [2]

Odtworzenie bazy i sześciogodzinnej próby

W cyklu referencyjnym komora mieści 40 m³ drewna, objętościowo 80% sosny i 20% dębu. Przy wyliczonej suchej masie 18 080 kg oraz zmianie wilgotności z 60% do 11% względem suchej masy ubywa 8,8592 t wody. Średnia moc 8 kW przez 480 godzin daje 3 840 kWh. Dwadzieścia dni to czas pełnego cyklu sosny, zastosowany w modelu także do wsadu mieszanego. Przy pracy przez cały rok jedna taka komora mogłaby modelowo odparować około 162 t wody. Wolumen 3 000 t jest skalą porównania technologii. Jego przypisanie do historycznej produkcji jednej komory wielokrotnie zawyżyłoby jej wydajność. [1]

Podczas próby 30 czerwca 2026 r. od 8:30 do 14:30 zakład wykazał rozchód 1 500 kg paliwa i przypisał do próby partię 4 000 kg gotowego pelletu. Bilans masy daje 5 964,69 kg wsadu i 2 004,69 kg odparowanej wody. Rekonstrukcja uwzględnia recepturowy udział oleju 2%, wskazanie wilgotności gotowego pelletu 11,5%, oszacowany ubytek po suszeniu i założenie o braku dalszego odparowania.

Otrzymana wilgotność biomasy na wyjściu, 11,73%, odnosi się do masy wilgotnej. Podawanie podstawy procentowej jest istotne, bo dla drewna w komorze przyjęto inną konwencję. W pomiarach kontrolnych biomasy punktem odniesienia może być metoda suszarkowa ISO 18134-1. [1] [3]

Licznik rozliczeniowy obejmował cały zakład. Zużycie 400 kWh przypisane nowej linii oszacowano z mocy i czasu pracy 22 odbiorników. Sam wentylator pyłowy i główny napęd rębaka odpowiadają w tym rachunku za 252,5 kWh, czyli ponad 63%. Oddzielny pomiar tych dwóch napędów oraz całej linii pozwoliłby skontrolować największe składniki szacunku. [1]

Bilans roczny i branżowy punkt odniesienia

Plan zakłada wsad o średniej wilgotności 46,20% masy wilgotnej i wyjście na poziomie 11,73%. Usunięcie 3 000 t wody wymaga wtedy 7 682,97 t wsadu i około 3 841,49 godzin przerobu przy 2 t/h. W rachunku połączono średnią moc elektryczną z próby, 66,67 kW, z rozchodem paliwa 350 kg/h z planu produkcyjnego. Próba rozruchowa dała odpowiednio około 0,994 t wsadu na godzinę i 250 kg paliwa na godzinę. Jednoczesną osiągalność docelowego przerobu, mocy i rozchodu paliwa trzeba jeszcze sprawdzić podczas ustalonej pracy. [1]

Wariant bębnowy obniża pobór prądu o 1 044,24 MWh, ale potrzebuje dodatkowo 668,20 MWh ciepła użytecznego. Ciepło policzono z masy paliwa, jego założonej wartości opałowej 12,5 MJ/kg i sprawności źródła 85%. Suma w tabeli łączy prąd z ciepłem przekazanym do procesu. Przy ocenie kosztów trzeba oddzielnie wycenić oba nośniki i przeliczyć ciepło na paliwo z uwzględnieniem sprawności. Równoczesne dodanie energii paliwa i otrzymanego z niego ciepła liczyłoby ten sam strumień dwukrotnie. [1]

Modelowe zapotrzebowanie linii na samo ciepło to 1 322,73 kWh/t odparowanej wody, czyli 4,76 MJ/kg wody. Havlík i Dlouhý podają w przeglądzie przedział od 4,0 do 6,0 MJ/kg dla suszarek bezpośrednich. We własnym doświadczeniu z pośrednio ogrzewaną suszarką obrotową, zrębkami i korą o wilgotności od 50% do 65% oraz parą o temperaturze 136°C otrzymali od 3,2 do 3,6 MJ/kg. Takie zestawienie pomaga ocenić rząd wielkości. Konstrukcja urządzeń, granulacja, wilgotność początkowa i sposób pomiaru ciepła ograniczają możliwość przenoszenia wyniku pomiędzy zakładami. [1] [4]

Bilans przy wspólnym wolumenie 3 000 t odparowanej wody w modelowym roku pracy produkcyjnej. Znak ujemny oznacza wzrost zapotrzebowania. Źródło: audyt, część 3.1. [1]

Pozycja [MWh]	Komora	Linia bębnowa	Zmniejszenie nakładu
Energia elektryczna	1 300,34	256,10	+1 044,24
Ciepło użyteczne	3 300,00	3 968,20	−668,20
Łączna energia procesu	4 600,34	4 224,30	+376,04

Ile energii może przypadać na rozruchy i postoje?

Cel z tabeli P5 wynosi 360 MWh. Dodatkowy pobór netto pominięty w bilansie może zatem wynieść około 16,04 MWh rocznie, czyli 5,35 kWh/t wody, przy pozostałych założeniach bez zmian. Skorygowany wynik to 376,04 MWh pomniejszone o dodatkową energię netto. Średnią moc elektryczną nowej linii wyprowadzono z pełnych sześciu godzin próby, a bazowa komora obejmuje pełny cykl. Doliczeniu podlega wyłącznie ta część energii rozgrzewania, przerw i wygaszania nowej linii, której jeszcze nie uwzględniają parametry modelu. [1]

Audyt nie podaje liczby rocznych kampanii produkcyjnych. Można jednak policzyć próg dla różnych harmonogramów. Przy 20 kampaniach dopuszczalna średnia dodatkowa energia wynosi około 802 kWh na kampanię, przy 40 około 401 kWh, a przy 80 około 200,5 kWh. Kampania oznacza tu okres od uruchomienia do wygaszenia wraz z przypisanymi przerwami. Są to przykłady progów, przy założeniu że całą dodatkową energię można przypisać kampaniom. Im częściej linia pracuje w krótkich seriach, tym ważniejsze staje się ustalenie rzeczywistego kosztu energetycznego każdego wznowienia. [1]

Co powinien rejestrować zakład po rozruchu?

Dla każdej kampanii proponujemy odnotować godzinę rozpoczęcia grzania, pierwszego i ostatniego podania materiału, przerw oraz wyłączenia. Z tym samym identyfikatorem należy połączyć odczyty podlicznika linii, ważenia wsadu i paliwa oraz próbki wilgotności przed suszeniem i po nim. Próba referencyjna oznaczona metodą suszarkową ułatwi ocenę powtarzalności miernika ruchowego. Pomiar i weryfikację warto zaplanować przed serią prób, zgodnie z ogólnym podejściem ISO 50015 i IPMVP, które wymaga jawnego określenia granicy pomiarowej oraz podstawy odniesienia. [3] [5] [6]

Najbardziej rozstrzygające będzie równoczesne potwierdzenie wydajności, poboru prądu i paliwa dla kilku pełnych kampanii przy odmiennych wilgotnościach wsadu. Zestawienie zużycia z ilością rzeczywiście usuniętej wody pokaże, czy zakład utrzymuje poprawę również po doliczeniu faz przejściowych. Do tego czasu 376,04 MWh pozostaje audytowym wynikiem pracy produkcyjnej dla stanu technicznego z 30 czerwca 2026 r., a 16,04 MWh wyznacza wielkość korekty, którą warto w pierwszej kolejności sprawdzić w eksploatacji. [1] [2] [5]

Przypisy i źródła

[1] Cezary Rułka DREWNOLIT, dokumentacja przedsięwzięcia KPOD.01.13-IW.01-0230/24. *Końcowy audyt parametrów przedsięwzięcia wraz z raportem końcowym z oceny osiągnięcia rezultatów projektu GOZ. Część 3. Uzasadnienie wyniku energetycznego, rozdziały 3.1–3.6, stan na 30.06.2026 r.* (2026).

[2] International Organization for Standardization. *ISO 50006:2023. Energy management systems — Evaluating energy performance using energy performance indicators and energy baselines* (2023). Dostęp online

[3] International Organization for Standardization. *ISO 18134-1:2022. Solid biofuels — Determination of moisture content — Part 1: Reference method* (2022). Dostęp online

[4] Havlík J., Dlouhý T. *Indirect Dryers for Biomass Drying—Comparison of Experimental Characteristics for Drum and Rotary Configurations. ChemEngineering, 4(1), 18. DOI: 10.3390/chemengineering4010018* (2020). Dostęp online

[5] International Organization for Standardization. *ISO 50015:2014. Energy management systems — Measurement and verification of energy performance of organizations — General principles and guidance* (2014). Dostęp online

[6] Efficiency Valuation Organization. *International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP). Core Concepts, wydanie 2022* (2022). Dostęp online

Drewno jako trwały magazyn CO_2

Od fotosyntezy w lesie do karbonatyzacji w zakładzie. Bilans jednego metra sześciennego wyrobu

Abstrakt. Drewniany blat, słup w winnicy i pal w marinie przechowują węgiel, który drzewo pobrało z atmosfery. DREWNOLIT proponuje drugi sposób związania węgla w wyrobie: wytworzenie węglanu wapnia w strukturze sosny. Na przykładzie 1 m³ pokazujemy, skąd pochodzi każdy składnik, jak obliczyć jego masę i co dzieje się z nim po latach. Opinia Politechniki Lubelskiej pozwala oszacować udział mineralizacji. Do ustalenia wyniku konkretnej partii potrzebne są pomiary. [1] [2] [9]

Słowa kluczowe. węgiel biogeniczny, karbonatyzacja, węglan wapnia, czas użytkowania, drewno sosnowe

Jak atmosferyczny CO_2 trafia do drewna?

Drzewo pobiera dwutlenek węgla przez liście lub igły, a wodę przez korzenie. Przy udziale światła powstają cukry. Uproszczony zapis fotosyntezy ma postać: $6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$. Część węgla z cukrów roślina wbudowuje w celulozę i ligninę, główne składniki ścian komórkowych drewna. Po pozyskaniu i przetarciu pnia węgiel pozostaje w materiale jako część związków organicznych. [1] [10] [11]

Zgodnie z PN-EN 16449 do obliczeń można przyjąć 50% węgla w absolutnie suchej masie drewna. Przelicznik 44/12 wynika z masy molowej CO_2 i masy molowej zawartego w nim węgla. Jeśli 1 m³ gotowego wyrobu zawiera przykładowo 500 kg suchego drewna, to jego organiczna część zawiera 250 kg węgla. Odpowiada to 916,7 kg CO_2 wcześniej pobranego z atmosfery. Wartość 500 kg przyjęto do ilustracji. W konkretnej partii trzeba wyznaczyć suchą masę samego drewna, po wyłączeniu wody, spoiw i dodatków mineralnych. [1]

Ile wnosi karbonatyzacja w technologii DREWNOLIT?

DREWNOLIT opisuje nasycanie sosny preparatem na bazie wapnia w autoklawie i późniejszą karbonatyzację. Opinia o innowacyjności podaje reakcję: $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$. W odróżnieniu od fotosyntezy gaz staje się tu częścią związku nieorganicznego. Merk i współautorzy wykazali w badaniach laboratoryjnych, że odmienną metodą można osadzić $CaCO_3$ wewnątrz drewnianej tkanki. Ich wyniki dotyczą materiału badanego w laboratorium. [3] [4] [9]

W opinii Jerzego Szerafina oszacowano, że mineralizacja wiąże około 32 kg CO_2 na 1 m³ gotowego materiału. Gdyby całość powstała wyłącznie jako czysty $CaCO_3$, odpowiadałoby to około 72,8 kg nowego minerału (32 × 100,09/44,01). Opinia opisuje również udział związków magnezu. Przeliczenie na węglan wapnia służy więc do oceny rzędu wielkości. W pilotażu laboratorium powinno oznaczyć przyrost węgla nieorganicznego względem materiałów wyjściowych, uwzględniając węglany obecne wcześniej w drewnie i preparacie. [5] [9]

Przykładowy bilans brutto dla 1 m³ gotowego wyrobu. Pierwszy składnik zależy od hipotetycznej suchej masy drewna, drugi pochodzi z modelu technologii. [1] [9]

Składnik	Obliczenie lub założenie	Masa odpowiadającego CO_2
Węgiel organiczny drewna	500 kg × 0,50 × 44/12	916,7 kg
CO_2 związany w minerale	Oszacowanie dla 1 m³ z opinii, s. 13	około 32 kg
Łączny zasób w chwili wytworzenia	916,7 kg + około 32 kg	około 949 kg brutto

Jak długo wyrób przechowuje węgiel?

Jeżeli drewno w słupie lub blacie zachowuje masę, a związki mineralne pozostają w materiale, nasz przykładowy wyrób zawiera równowartość około 949 kg CO_2 w pierwszym, dziesiątym i trzydziestym roku. Założone trzydzieści lat ilustruje zasadę bilansu. Autor opinii szacuje dla opisywanej kantówki okres użytkowania do 90 lat. Przeniesienie tego szacunku na pal zanurzony w wodzie morskiej wymagałoby odrębnych danych o jego trwałości. Przez cały okres bez rozkładu emisja węgla organicznego zostaje odłożona w czasie. Wyniku z kolejnych lat nie sumuje się: w każdym roku jest to ten sam zasób. W skali zakładu jego roczną zmianę określa się z dopływu węgla do użytkowanych wyrobów oraz odpływu z tej puli. [2] [9] [10]

Po demontażu ponowne wykorzystanie elementu może przedłużyć przechowywanie. Rozkład biologiczny albo spalenie prowadzą do uwalniania węgla organicznego. Węgiel mineralny może pozostać w pozostałości, przejść do roztworu albo uwolnić się przy rozkładzie termicznym węglanu. W ocenie trwałości trzeba zatem uwzględnić zarówno stan drewna, jak i ubytek minerału w konkretnym środowisku użytkowania. [2] [5] [7]

Kiedy reakcja daje korzyść dla klimatu?

Około 949 kg CO_2 brutto obejmuje węgiel z dwóch źródeł. O wpływie na klimat rozstrzyga pełny cykl życia i porównanie z innym wyrobem pełniącym tę samą funkcję. Znaczenie ma m.in. źródło gazu. Związanie CO_2 pochodzącego ze spalania paliwa kopalnego może ograniczyć emisję względem jego wypuszczenia do atmosfery. Do wykazania usunięcia atmosferycznego CO_2 konieczne są udokumentowane pochodzenie atmosferyczne lub biogeniczne, odpowiednia trwałość i bilans emisji. Jeśli odczynnik wapniowy wytworzono poprzez wyprażenie wapienia, wcześniejszy rozkład $CaCO_3$ uwolnił CO_2 już u producenta wapna. [5] [6]

W opinii pojawia się również prognoza śladu netto wynoszącego minus 67 kg CO_2/m³. To osobny wynik modelowania. Dodanie jego wartości do 949 kg pomieszałoby ślad cyklu życia z ilością zgromadzoną w wyrobie. Weryfikacja prognozy w analizie cyklu życia (LCA) wymaga danych o odczynniku, gazie, suszeniu, pracy autoklawu, transporcie do odbiorcy, liczbie wymian oraz sposobie zagospodarowania wyrobu po demontażu. [7] [9]

Co sprawdzić w sadzie i marinie?

W materiałach dla Turcji DREWNOLIT proponuje m.in. słupy sadownicze i winnicowe oraz elementy marin. Słup zagłębiony w ziemi pracuje w warunkach UC4. Pal stale lub regularnie zanurzony w słonej wodzie odpowiada UC5. Deskę pomostu pozostającą nad wodą trzeba ocenić według jej własnej ekspozycji. Klasa użytkowania w EN 335 opisuje środowisko pracy. Nie wyznacza okresu gwarancji. Materiały firmy przedstawiają propozycję pilotażu. Nie podają wyniku pomiaru związania CO_2 ani potwierdzonej żywotności partii. [3] [8]

W pilotażu warto zamontować w tym samym miejscu oznaczone elementy modyfikowane i porównawcze o tej samej geometrii, zarejestrować sposób zabezpieczenia cięć i ustalić z odbiorcą kryterium wymiany. W sadzie należy kontrolować m.in. odcinek przy powierzchni gruntu. W marinie osobno obserwować części zanurzone i znajdujące się nad wodą. Próbki kontrolne pobrane przed ekspozycją i po niej pozwolą zmierzyć, ile minerału pozostało, a kolejne oględziny pokażą, czy element nadal pełni swoją funkcję. [3] [8]

Dla nabywcy miarą opłacalności jest koszt jednego roku podparcia tej samej konstrukcji. Koszty zakupu, montażu, przeglądów i wymian trzeba porównać dla tego samego okresu i wymaganego obciążenia. W takim ujęciu droższa obróbka może się zwrócić, jeśli pozwala rzadziej wymieniać słupy. Do oceny klimatycznej należy użyć tej samej jednostki użytkowej i pokazać, po ilu latach użytkowania oraz przy jakiej liczbie wymian zmienia się wynik porównania. [7]

Przypisy i źródła

[1] Polski Komitet Normalizacyjny. *PN-EN 16449:2014-06. Drewno i materiały drewnopochodne. Obliczanie zawartości węgla biogenicznego w drewnie i przeliczanie na ilość dwutlenku węgla, pkt 4 i 5* (2014). Dostęp online

[2] IPCC. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, t. 4, rozdz. 12. Harvested Wood Products* (2019). Dostęp online

[3] Cezary Rułka DREWNOLIT. *DREWNOLIT UC5 Marine Use, s. 4, 6, 7, 9. DREWNOLIT UC4 Ground Contact, s. 3, 5, 6, 9. Materiały ofertowe dla rynku tureckiego* (bez daty).

[4] Merk V., Chanana M., Keplinger T., Gaan S., Burgert I. *Hybrid wood materials with improved fire retardance by bio-inspired mineralisation on the nano- and submicron level. Green Chemistry, 17, 1423–1428* (2015). Dostęp online

[5] IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, t. 3, rozdz. 2. Mineral Industry Emissions, część 2.3 o produkcji wapna* (2006). Dostęp online

[6] Hepburn C. i współautorzy. *The technological and economic prospects for CO_2 utilization and removal. Nature, 575, 87–97* (2019). Dostęp online

[7] International Organization for Standardization. *ISO 14040:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework* (2006). Dostęp online

[8] Europejski Komitet Normalizacyjny. *EN 335:2013. Durability of wood and wood-based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products* (2013). Dostęp online

[9] Szerafin J., Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury. *Opinia o innowacyjności, Lublin, 12 maja 2026 r., s. 5, 6, 13, 15, 19–21. Dokumentacja technologii mineralizacji DREWNOLIT* (2026).

[10] Bergman R., USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. *Life-Cycle Assessment of Harvested Wood Products. Minnesota Forest Resources Council, 24 maja 2022 r.* (2022). Dostęp online

[11] GLOBE Observer. *Photosynthesis. Background Information. Zapis sumaryczny fotosyntezy* (bez daty). Dostęp online