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