

UNIwersytet
TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY



WYDZIAŁ
INŻYNIERII
MECHANICZNEJ



ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Krzysztof Nowak

UTRZYMANIE MASZYN I URZĄDZEŃ
BRANŻY SŁODOWNICZEJ
W STANIE ZDATNOŚCI TECHNICZNEJ
PRZY DUŻEJ ZMIENNOŚCI
OBCIĄŻEŃ TECHNOLOGICZNYCH

PROMOTOR

PROF. DR HAB. INŻ. STANISŁAW BORKOWSKI

BYDGOSZCZ
2016

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	6
2. EKSPLOATACJA MASZYN I URZĄDZEŃ WARUNKIEM WYSOKIEJ JAKOŚCI PRODUKTU	11
2.1. Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń	11
2.2. Podstawy kompleksowego utrzymania maszyn i urządzeń (TPM)	18
2.3. Ocena efektywności eksploatacji maszyn i urządzeń	21
2.4. Diagnostyka eksploatacji maszyn i urządzeń	23
3. PROBLEMATYKA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ	31
3.1. Hipotezy pracy	31
3.2. Cel pracy	31
3.3. Problemy badawcze	32
3.4. Problem naukowy w doktoracie	32
3.5. Metody diagnostyki technicznej realizowane w śłodowni	33
3.6. Ocena jakości słodu jęczmiennego	34
4. UWARUNKOWANIA PRODUKCJI JAKOŚCIOWEGO SŁODU JĘCZMIENNEGO	39
4.1. Przeznaczenie słodu jęczmiennego	39
4.2. Wymagania jakościowe stawiane surowcowi do produkcji słodu jęczmiennego	40
4.3. Portfel technologii produkcji słodu jęczmiennego	46
4.4. Parametry słodu jęczmiennego decydujące o jego jakości i metodyki jej kontroli	56

4.5. Zmienność obciążeń technologicznych występująca podczas produkcji słodu	60
5. METODY DIAGNOZOWANIA MASZYN I URZĄDZEŃ STOSOWANYCH DO PRODUKCJI SŁODU	63
5.1. Charakterystyka i wykorzystanie termowizji w badaniach	63
5.2. Identyfikacja źródeł awarii maszyn i urządzeń wskutek badań wibrodiagnostycznych	65
5.3. Badania z zakresu jakości olejów przekładniowych	68
5.4. Metody pomiaru jakości słodu jęczmiennego w słodowni	71
5.5. Ocena ilościowa maszyn i urządzeń technologicznych mogących ulec awarii	76
6. METODYKA BADAŃ	83
6.1. Obiekt badań	83
6.2. Stanowiska badawcze i aparatura	85
6.3. Metody i warunki badań	88
6.4. Podstawy analizy korelacji i regresji	93
7. WYNIKI BADAŃ Z ZAKRESU EKSPLOATACJI MASZYN I URZĄDZEŃ SŁODOWNI	99
7.1. Zestawienie awarii części maszyn i urządzeń w okresie od 2011 do 2014 roku	99
7.2. Zestawienie zmienności obciążeń technologicznych maszyn i urządzeń w latach 2011 – 2014	110
7.3. Skuteczność działań zapobiegawczych	112
7.4. Ocena efektywności eksploatacji	131
8. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW	134
8.1. Identyfikacja czynników gwarantujących jakość słodu	134

8.2. Stosowane działania zapobiegawcze i korygujące w słodowni w zakresie parametrów technologicznych	136
8.3. Analiza korelacji i regresji	137
8.4 Budowa algorytmu sterowania	146
9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	156
ZAŁĄCZNIKI	168
LITERATURA	175

1. WSTĘP

Ciągły wzrost popytu na słód jęczmienny zmusza słodownie do uzyskania stabilnej produkcji słodu o wysokim poziomie jakości, przy dużej zmienności obciążeń technologicznych. Aby być konkurencyjnym na rynku, zakłady produkcyjne muszą szukać obniżki wszystkich kosztów wytworzenia słodu.

W ostatnich latach bardzo dużo zrobiono w kwestii cen zakupu i zużycia wszystkich surowców oraz mediów wprowadzanych do systemu produkcji słodu. W słodowniach, kolejnym koniecznym krokiem jest rozpoznanie wydatków w grupie kosztów związanych z eksploatacją maszyn oraz urządzeń technologicznych. W tym celu, w słodowniach, należy pilnie przeprowadzić analizę wszelkich zaistniałych zdarzeń awaryjnych, aby móc później stworzyć oraz wdrożyć system eksploatacji, wzbogacony o działania diagnostyczne dedykowane dla zaobserwowanych usterek maszyn i urządzeń. Zazwyczaj, diagnostyka techniczna pozwala na znaczną redukcję kosztów związanych z eksploatacją posiadanych obiektów technicznych.

Można przypuszczać, że zapewnienie poprawności procesu technologicznego produkcji słodu jest możliwe poprzez racjonalną organizację systemu utrzymania zdolności technicznej maszyn i urządzeń oraz sterowanie procesem technologicznym. Dlatego głównym celem pracy było opracowanie narzędzia zapewniającego utrzymanie zdolności technicznej maszyn i urządzeń do realizacji procesu technologicznego produkcji słodu. Inaczej mówiąc - zapewnienie dyspozycyjności maszyn i urządzeń do podjęcia pracy lub jej ograniczenia.

Przedmiotem pracy jest zakład produkcyjny branży browarniczej, który produkuje słód jęczmienny będący jednym z podstawowych czynników decydujących o jakości piwa. Roczna produkcja zakładu to średnio około 110 tysięcy ton słodu. W słodowni istnieją dwie grupy problemów mających wpływ na poziom jakości produkowanego słodu - jeden jest związany z techniką (diagnostyka), a drugi ma związek z technologią produkcji słodu.

Ogólnie mówiąc, jakość produkowanego słodu jest głównie uzależniona od:

- jakości jęczmienia browarnego używanego w produkcji,
- właściwego procesu technologicznego słodowania jęczmienia, który został specjalnie ułożony dla danego gatunku jęczmienia browarnego,
- zdolności technicznej maszyn i urządzeń stosowanych w słodowni.

W pracy doktorskiej został poruszony głównie problem jakości słodu wynikający z braku zdolności technicznej maszyn i urządzeń słodowni. Jednakże dla potrzeb przeprowadzenia pełnej analizy zmian jakości produkowanego słodu, dokonano także badań związanych z jakością jęczmienia wprowadzonego do produkcji oraz wyprodukowanego słodu.

Branża słodownicza jest szczególna, gdyż każda dysfunkcja jakości surowca oraz maszyn i urządzeń technologicznych ostatecznie ujemnie wpływa

na jakość produkowanego słoðu. Wszystkie awarie obiektów technicznych zawsze jednoznacznie przekładają się na wydłużenie czasu trwania procesu technologicznego i tym samym mają duże znaczenie dla jakości produkowanego słoðu. W tym przypadku, bardzo istotny jest czas trwania oraz lokalizacja każdej dysfunkcji technicznej maszyn oraz urządzeń zakładu.

Należy nadmienić, że proces suszenia słoðu jest zasilany ziarnem jęczmienia pochodzącym ze skrzyń Saladina, gdzie kiełkuje ziarno wcześniej namoczone w wodzie w zamaczalnikach. Jęczmień skierowany do zamaczalników podlega uprzednio procesowi segregacji i czyszczenia na urządzeniach zlokalizowanych w wieży operacyjnej. Problem naukowy sprowadzał się do opracowania takiego algorytmu, który, głównie w oparciu o istniejący stan elementów maszyn i urządzeń będących w ruchu, zapewni im planowaną eksploatację uwarunkowaną wydajnością słodowni.

Jakość słoðu, zgodnie z praktyką, zapewniona jest poprzez dotrzymanie parametrów technologicznych. W pracy zostały określone odpowiednie współczynniki charakteryzujące parametry ziarna oraz porę roku. Wielkością stałą jest współczynnik *CEU* i program musi być na tyle elastyczny, aby dać odpowiedź na pytanie jak należy prowadzić proces, aby uzyskać wymaganą jakość, jeżeli zmieni się jeden z parametrów, np. czas suszenia. Fakt ten musi być przełożony na parametry technologiczne procesu i warunki eksploatacji maszyn. Jakość słoðu jest określona wieloma parametrami. Do najważniejszych z nich należą: odmiana jęczmienia browarnego, wilgotność, rozluźnienie, barwa, barwa po gotowaniu, białko ogółem, białko rozpuszczalne, beta glukany, lepkość, pH oraz kruchość.

Wynikiem pracy jest algorytm decyzyjny umożliwiający podejmowanie stosownej nastawy parametrów technologicznych.

Wymagania jakościowe i zmienność obciążeń technologicznych wymagają utrzymania maszyn i urządzeń według sprawdzonego systemu eksploatacji, który to system zagwarantuje ich właściwy stan techniczny i pełną dyspozycyjność w wymaganym czasie. Wypracowanie racjonalnej organizacji systemu utrzymania zdolności technicznej maszyn i urządzeń oraz sterowanie procesem technologicznym przyczynia się do tego, że proces technologiczny może być prowadzony poprawnie.

Okresy trwania badań:

- analiza awarii maszyn i urządzeń wykonana za okres 36 miesięcy od lipca 2011 roku do końca czerwca 2014 roku,
- działania związane z diagnostyką i wdrożonymi działaniami naprawczymi od lipca 2011 roku do grudnia 2015 roku.

Większość słodowni posiada indywidualny, niepowtarzalny projekt techniczno-technologiczny. Głównym wyróżnikiem dla każdej słodowni jest czas trwania procesu produkcyjnego odbywającego się w suszarni, a tym samym mającym zdecydowany wpływ dla wszystkich wcześniejszych oraz późniejszych etapów procesu słodowania jęczmienia. Zazwyczaj suszarnie

słodu wyznaczają rytm procesu produkcyjnego każdej słodowni, przez co wywierają istotny wpływ na system organizacji produkcji.

W słodowniach najczęściej zdarzeń awaryjnych ma miejsce podczas przetransportowywaniu ziarna z jednego miejsca do drugiego w celu kontynuacji procesu technologicznego. Jeżeli operacje te są zawsze o tej samej porze dnia, to wówczas są także stałe godziny, kiedy maszyny i urządzenia do transportu ziarna muszą być w stanie zdadności technicznej. Z reguły operacje te przypadają na godziny poranne i wczesnopopłudniowe. Sytuacja taka umożliwia stosowanie tylko jednej zmiany roboczej z liczną obsługą. Po zakończeniu transportu ziarna odbywają się operacje technologiczne, które są głównie związane z wentylacją lub magazynowaniem ziarna w silosach. Operacje te są realizowane automatycznie przez układy sterujące i nie wymagają obecności licznego personelu w celu ich wykonania.

Słodownia pracująca z dwudziestoczterogodzinnym cyklem produkcyjnym suszarni jest dużym ułatwieniem dla organizacji produkcji słodu. Obecnie, nowe słodownie są projektowane i budowane właśnie w ten sposób. Jednak kilkadziesiąt lat temu takie zakłady były rzadkością z wielu powodów. Zazwyczaj słodownia i browar były budowane obok siebie w ramach jednego zakładu i z tego względu ten sam personel jednocześnie prowadził proces produkcji słodu oraz produkował piwo. Wówczas, to projektowanie zakładu z koniecznością obsługi przez trzy zmiany było na porządku dziennym i nie było niczym wyjątkowym.

Omawiany zakład posiada suszarnię słodu, zaprojektowaną i zbudowaną dla szesnastogodzinnego cyklu suszenia słodu, który powoduje ciągłą zmianę godzin transportu ziarna z suszarni. W konsekwencji ma to także wpływ na inne operacje transportu ziarna występujące podczas procesu słodowania, zarówno jęczmienia jak i słodu. Cykl taki wymusza posiadanie stałego licznego personelu oraz stałej zdadności technicznej maszyn i urządzeń, szczególnie tych które realizują proces słodowania.

W rozprawie został zaprezentowany sposób w jaki można dostosować do warunków rynkowych zakład, który funkcjonuje od kilkadziesiąt lat i był w dodatku projektowany dla odmiennych warunków ekonomicznych (gospodarka planowa). Ogólny tok prac badawczych doktoranta przebiegał następująco:

- wykonanie specyfikacji używanych maszyn i urządzeń oraz wyodrębnienia w nich elementów ruchomych,
- analiza występujących w zakładzie zmienności obciążeń technologicznych spowodowanych maszynami i urządzeniami, a także obciążeń wynikających z pór roku, warunków atmosferycznych oraz z właściwości surowca (jęczmień browarny) i używanego procesu technologicznego,
- wykonanie rejestracji oraz analiz zaistniałych awarii maszyn i urządzeń słodowni w kluczowych dla danej technologii obszarach oraz w możliwie długim okresie badawczym (trzy lata),

- zaplanowanie i wdrożenie skutecznych działań diagnostycznych w celu nadzorowania oraz prognozowania krytycznych elementów maszyn i urządzeń z uwzględnieniem zidentyfikowanych zmienności obciążeń technologicznych,
- ciągle doskonalenie istniejącego w ślodowni systemu utrzymania maszyn oraz urządzeń w stanie zdatności technicznej.

Układ treści rozprawy

Rozdział pierwszy przedstawia wstęp opisujący problematykę pracy doktorskiej oraz krótkie omówienie każdego rozdziału.

Rozdział drugi zawiera podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń, koncepcję kompleksowego utrzymania maszyn i urządzeń (TPM), a także najważniejsze wskaźniki efektywności eksploatacji maszyn i urządzeń. Ponadto rozdział ten przedstawia najczęściej stosowane metody diagnostyki eksploatacyjnej maszyn urządzeń.

Rozdział trzeci prezentuje omówienie problematyki pracy doktorskiej.

Rozdział czwarty przedstawia uwarunkowania produkcji jakościowego słoju jęczmiennego, ze szczególnym rozwinięciem przeznaczenia słoju jęczmiennego oraz wymagań jakie są stawiane surowcom do jego produkcji.

Rozdział ten ponadto omawia portfel technologii produkcji słoju, parametry słoju jęczmiennego istotne dla jego poziomu jakości oraz metodyki jej kontroli, a także występującą zmienność obciążeń technologicznych podczas produkcji słoju jęczmiennego.

Rozdział piąty zawiera metody diagnozowania maszyn i urządzeń służących do produkcji słoju jęczmiennego, ze szczególnym omówieniem termowizji, badań wibrodiagnostycznych oraz badań z zakresu jakości olejów przekładniowych. W rozdziale tym omówiono również metody pomiaru jakości słoju jęczmiennego. Rozdział ten przedstawia także ocenę ilościową maszyn oraz urządzeń technologicznych, mogących ulec awarii.

Rozdział szósty przedstawia obiekty badań, stanowiska badawcze oraz aparaturę, a także warunki prowadzonych badań. W rozdziale tym są ponadto omówione podstawy z zakresu statystyki matematycznej analizy korelacji oraz regresji.

Rozdział siódmy prezentuje wyniki i ich opracowanie z zakresu eksploatacji maszyn i urządzeń używanych do produkcji słoju jęczmiennego, analiz zaistniałych awarii oraz zmienności obciążeń technologicznych w latach 2011 – 2014. Rozdział przedstawia także skuteczność działań zapobiegawczych oraz analizę oceny efektywności eksploatacji maszyn i urządzeń.

Rozdział ósmy prezentuje zarówno identyfikację czynników gwarantujących jakość słoju jak i omawia stosowane w ślodowni działania zapobiegawcze oraz korygujące w zakresie parametrów technologicznych. Rozdział ten przedstawia ponadto analizę statystyczną wyników, a także wyniki analiz korelacji oraz regresji będących podstawą budowy modeli matematycznych. W rozdziale tym zaprezentowano algorytm główny oraz

algorytmy pomocnicze, które są przydatne przy uruchamianiu kolejnej partii produkcyjnej o wymaganym poziomie jakości słołu.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie i wnioski pracy doktorskiej. Szczegółowe dane na podstawie których zbudowano rysunki znajdują się w archiwum dysertacji. Zamieszczenie ich w pracy w formie załączników zwiększyłoby objętość pracy o minimum 80 stron.

2. EKSPLOATACJA MASZYN I URZĄDZEŃ WARUNKIEM WYSOKIEJ JAKOŚCI PRODUKTU

2.1. PODSTAWY EKSPLOATACJI MASZYN I URZĄDZEŃ

W ostatnich czasach poprawne działanie maszyn i urządzeń technicznych stało się poważnym problemem technicznym i ekonomicznym dla wszystkich przedsiębiorstw. Każda dysfunkcja używanych obiektów technicznych powoduje wzrost kosztów wytworzenia gotowego wyrobu. Powszechne stosowanie środków technicznych w procesie produkcji oraz wzrost intensywności zagrożeń spowodowanych ich nieprzewidywanymi uszkodzeniami zmuszają producentów maszyn i urządzeń technicznych do znalezienia sposobu do skutecznego rozwiązania tego problemu [1; 23; 70].

Obecnie przyjmuje się, że rozwój wszelkich obiektów technicznych odbywa się w pięciu podstawowych fazach: sformułowanie potrzeby, konstruowanie, wytwarzanie, eksploatacja oraz likwidacja wraz z powtórным przetwarzaniem (recykling) [25; 57; 108].

Najważniejszą z faz istnienia obiektów technicznych jest faza eksploatacji, w której to obiekt techniczny wykonuje zadania, do których został zaprojektowany i wytworzony. Eksploatacja maszyn i urządzeń technicznych ma olbrzymie znaczenie jako dziedzina praktyki gospodarczej, ponieważ obejmuje ona wszystkie problemy, które dotyczą użytkowania i obsługiwanego pojedynczego urządzenia oraz grupy maszyn, zarówno z obszarów techniki jak i organizacji. Faza ta, w przypadku maszyn i urządzeń, obejmuje przedział czasu od chwili zakończenia ich produkcji (wytwarzania), zgodnie z zatwierdzonym projektem konstrukcyjnym i technologicznym, do chwili zakończenia eksploatacji, czyli likwidacji urządzenia w ustalony sposób. Podczas eksploatacji ujawniają się błędy popełnione w fazach poprzednich, będące przyczynami uszkodzeń obniżających niezawodność i gotowość maszyn i urządzeń, a także utrudniające usuwanie tych uszkodzeń. Do przyczyn powstawania uszkodzeń należy również zaliczyć zachodzące procesy: zużywania, korozji oraz starzenia, którym zawsze podlegają elementy maszyn w fazie ich eksploatacji, a także wyróżnić można błędy wynikające z niewłaściwego współdziałania człowieka z urządzeniem podczas ich użytkowania i obsługiwanego [58; 89].

W procesie eksploatacji wyróżnić można cztery rodzaje działań:

- użytkowanie - wykorzystywanie maszyn i urządzeń technicznych zgodnie z jego przeznaczeniem i właściwościami funkcjonalnymi,
- obsługiwanie - utrzymywanie obiektu w stanie zdatności oraz przywracanie obiektowi technicznemu wymaganych właściwości funkcjonalnych poprzez przeglądy, regulacje, konserwację, naprawy i remonty,

- zasilanie (zaopatrzenia), czyli dostarczanie do maszyn i urządzeń materiałów (masy), energii a niekiedy, zwłaszcza w odniesieniu do urządzeń sterowanych numerycznie, także informacji,
- zarządzanie - są to procesy planistyczno-decyzyjne oraz planistyczno-sprawozdawcze [11; 56; 79].

Eksploatowane maszyny oraz urządzenia zmieniają swoje właściwości w całym okresie ich istnienia, samorzutnie lub wskutek zewnętrznych oddziaływań. Stąd użytkownik maszyn i urządzeń musi mieć możliwość oceny skali zachodzących zmian, aby mógł podjąć racjonalną decyzję co do dalszej ich eksploatacji. Rozwiązaniem tego problemu staje się możliwe, jeżeli określi się stan obiektu technicznego maszyny lub urządzenia. Stan ten informuje Użytkownika o obecnych wartościach cech danej maszyny lub urządzenia.

Podczas wykonywania oceny stanu maszyny lub urządzenia mówimy o dwóch stanach: stanie technicznym i stanie eksploatacyjnym. Stan techniczny maszyny lub urządzenia zmienia się w sposób ciągły, co skutkuje istnieniem nieskończenie wielu stanów. W praktyce eksploatacyjnej najważniejsze są dwa stany - stan zdatności oraz stan niezdatności [80].

Wyróżniamy trzy kategorie zmian stanu technicznego maszyn i urządzeń:

- krytyczne - są to zmiany bardzo istotne, które zagrażają zdrowiu i życiu ludzi oraz także środowisku naturalnemu,
- graniczne, czyli zmiany istotne zagrażające zmniejszeniu wydajności pracy maszyn i urządzeń,
- dopuszczalne - mamy na myśli wówczas zmiany mniej istotne, które zagrażają racjonalnemu sposobowi używania maszyn i urządzeń.

Maszyny i urządzenia możemy określić mianem sprawnych technicznie, jeżeli żadna z ich cech stanu technicznego nie ma wartości dopuszczalnej. Stan eksploatacyjny maszyn i urządzeń natomiast mówi o tym co się z nimi aktualnie dzieje w czasie ich eksploatacji. Można tutaj wyróżnić następujące stany eksploatacyjne:

- użytkowania aktywnego,
- przechowywania długookresowe,
- przechowywania krótkookresowe,
- przekazania,
- naprawy głównej,
- naprawy średniej,
- naprawy bieżącej,
- obsługi,
- likwidacji,
- transportu.

W pierwszych trzech stanach eksploatacyjnych maszyny i urządzenia muszą być technicznie zdadne. W kolejnych pięciu wymienionych stanach, czyli od przekazania do obsługi, znajdować się będą tylko te maszyny i urządzenia, którym przywracana jest właśnie zdadność techniczna.

Powyższa klasyfikacja zakłada, że zmiany stanów technicznych i zmiany stanów eksploatacyjnych są od siebie wzajemnie zależne. Na tej podstawie można stwierdzić, że proces eksploatacji maszyn i urządzeń jest procesem jednoczesnych zmian stanów technicznych i stanów eksploatacyjnych.

W systemie eksploatacji maszyn i urządzeń podsystemy użytkowania oraz obsługiwań technicznych wymagają szczególnej uwagi ze strony ich użytkowników. W podsystemie użytkowania powinny być tylko maszyny i urządzenia zdadne, które są wykorzystywane intensywnie lub wyczekująco, czyli wówczas kiedy trwa postój na zapotrzebowanie do użycia. Podsystem obsługiwań technicznych obejmuje grupę maszyn i urządzeń, będących w stanie niezdatności. Istotą tego podsystemu jest likwidacja powstałej niezdatności maszyn i urządzeń lub zrealizowanie niezbędnych koniecznych czynności obsługowych wskazanych przez ich wytwórcę [97].

Podwyższenie poziomu użytkowania i obsługiwań urządzeń nie jest możliwe bez rozwoju nauki i badań eksploatacyjnych. Użytkowanie jest podstawowym procesem w systemie eksploatacji urządzeń i jego efektywność zależy głównie od następujących czynników:

- racjonalnego wykorzystania maszyn i urządzeń,
- stopnia realizacji zasady ich oszczędnego zużycia,
- wydajności pracy żywej i uprzedmiotowionej,
- organizacji procesu użytkowania,
- właściwości technicznych urządzeń.

Natomiast o procesie użytkowania decydują następujące właściwości techniczne maszyn i urządzeń:

- funkcjonalność (zdolność do spełnienia założonych funkcji),
- efektywność (wydajność),
- elastyczność (zdolność do pełnienia wielu funkcji),
- stopień gotowości (trwałość i niezawodność),
- jakość.

Obsługiwanie, a w szczególności naprawa i związana z nią regeneracja, przywracają urządzeniu zdadność i niezawodność. Zakłada się, że po remoncie niezawodność urządzenia powinna być również możliwie duża, i to niezależnie od tego, jaka jest optymalnie podyktowana trwałość po odnowie. Wysoka niezawodność maszyn i urządzeń zmniejsza zakres oraz koszt ich odnowy.

Podsystem obsługiwań maszyn i urządzeń obejmuje:

- zabiegi profilaktyczne: obsługiwanie w dniu użytkowania (OU), obsługiwanie po określonym przebiegu pracy (OT), obsługiwanie sezonowe (OS), obsługiwanie powypadkowe (OA), obsługiwanie sprzedające (OP), okresowe docieranie (OD),
- rozpoznanie stanu oraz pomocy technicznej: diagnostyka techniczna (DT), rozpoznanie i pomoc techniczna (PT),
- naprawy: naprawa bieżąca (NB), naprawa średnia(NS), naprawa główna (NG), naprawa poawaryjna (NA),

- konserwację: krótkoterminową (KK), średnioterminową (KS) oraz długoterminową (KD) [55; 80].

Optymalizacja odnowy urządzeń jest uzależniona od występowania uzasadnionych (organizacyjnie, technicznie i ekonomicznie) systemów napraw, a w szczególności metod regeneracji części oraz metod diagnostyki. W procesie obsługi istotne znaczenie ma prawidłowa organizacja zaopatrywania w części zamienne oraz organizacja serwisu obsługowo-remontowego.

Ogólnie można przyjąć, że eksploatacja to ciąg działań, procesów oraz zjawisk związanych z wykorzystaniem obiektów technicznych przez człowieka. Miejsce człowieka w procesie eksploatacji jest szczególne. Człowiek zamawia urządzenia z uwzględnieniem własnych lub grupowych potrzeb oraz upodobań, a także je projektuje, wykonuje, użytkuje sam lub korzysta z nich przy pomocy innego człowieka, obsługuje sam lub powierza do obsługi innemu człowiekowi. Sprawy ludzkie w eksploatacji wiążą się bardzo ściśle z edukacją eksploatacyjną oraz z wartością obiektów i materiałów, używanych w procesach eksploatacyjnych.

Zarządzanie eksploatacją obejmuje: planowanie i podejmowanie decyzji, organizowanie, kierowanie i kontrolowanie. Działania takie są realizowane z zamiarem osiągnięcia celów globalnych i częściowych w wyniku racjonalnego wykorzystania zasobów systemu eksploatacji (ludzkich, finansowych, rzeczowych oraz informacyjnych) [59; 98]. Istotą eksploatacji obiektów technicznych są następujące cele :

- racjonalne użytkowanie obiektów technicznych,
- utrzymanie obiektów technicznych w stanie zdatności funkcjonalnej oraz zadaniowej.

Do działań eksploatacyjnych należą: stabilizacja warunków eksploatacji, stabilizacja cieplna, optymalizacja obciążeń, badania kontrolne, prognozowanie uszkodzeń (nadzorowanie), regeneracja oraz wprowadzenie nadmiaru eksploatacyjnego maszyn i urządzeń [57].

Strategia eksploatacyjna to racjonalne wykorzystanie maszyn i urządzeń zgodnie z przyjętymi sposobami ich użytkowania i obsługiowania oraz relacjami zachodzącymi między nimi. W badaniach eksploatacyjnych decydującym parametrem jest czas eksploatacji maszyn, który znacząco wpływa na strategię eksploatacji powodując jej modyfikację lub wręcz zmianę.

Wykonanie obsługiwań maszyn i urządzeń wyłącznie po uszkodzeniu pewnych ich elementów nie jest uzasadnione ekonomicznie, gdyż prowadzi do wzrostu kosztów ekonomicznych. Aby temu zapobiec, opracowano różne strategie prowadzenia obsług profilaktycznych: działania prewencyjne, gdy obiekt techniczny jest sprawny oraz działania korekcyjne, kiedy mamy do czynienia z awarią maszyn i urządzeń. Obecnie wyróżnia się dwie główne grupy strategii eksploatacji maszyn oraz urządzeń :

- a) po wykryciu błędu - reaktywne (korekcyjne) działania mające na celu przywracanie stanu używalności,
- b) przed wykryciem błędu działania prewencyjne:

- planowe według resursu lub upływu czasu - działania mające na celu zapobieżeniu degradacji,
- prognostyczne oparte na stanie technicznym - działania związane z monitorowaniem (diagnostyka) [102].

Strategie reaktywne utrzymania ruchu zakładają możliwość wystąpienia usterki, lecz nie są podejmowane żadne specjalne działania mające na celu kontrolowanie i przeciwdziałanie jej wystąpieniu. Obiekty techniczne użytkuje się aż do wystąpienia uszkodzenia, a następnie wymienia się na nowe. Strategia tolerowanych uszkodzeń bazuje na użytkowaniu maszyn i urządzeń do momentu zaistnienia uszkodzenia, bez podejmowania jakichkolwiek czynności prewencyjnych. W strategii tej, decyzje i działania eksploatacyjne odbywają się wyłącznie dla usunięcia skutków zaistniałych zdarzeń. Jest ona stosowana wówczas, kiedy częstotliwość i zakres mających miejsce uszkodzeń nie powoduje zagrożeń bezpieczeństwa pracy oraz nie powoduje wzrostu kosztów działalności przedsiębiorstwa z tytułu ponoszonych strat.

Strategie prewencyjne utrzymania ruchu oparte są na zapobieganiu awariom i uszkodzeniom maszyn i urządzeń. Bazą tych strategii jest założenie dotyczące cyklu życia maszyn i urządzeń oraz możliwego ryzyka wystąpienia uszkodzenia [29; 50]. Profilaktyka obsługowa może być realizowana jako:

- okresowa (planowa według upływu określonego czasu),
- rewersowa (planowa według wykonania określonej pracy),
- diagnostyczna (uwarunkowana rzeczywistym stanem technicznym).

Strategia według upływu określonego czasu oraz ilości wykonanej pracy polega na zapobieganiu uszkodzeniom dzięki realizacji planowej gospodarki remontowej maszyn i urządzeń, niezależnie od ich stanu technicznego. Strategia ta jest mało efektywna, gdyż bazuje ona na ekstremalnych warunkach pracy i dla tej teoretycznej wartości podaje ściśle określony dopuszczalny przebieg godzin pracy maszyn i urządzeń. Co do zasady, czynności eksploatacyjne są realizowane zanim maszyny i urządzenia osiągną graniczne poziomy zużycia. Pomimo przytoczonych wad, strategia ta posiada pewne zalety. Obsługa maszyn i urządzeń jest zapewniona przez uporządkowaną, stabilną i przejrzystą organizację służb utrzymania ruchu zakładu,

Strategia diagnostyczna, stosowana w zależności od stanu technicznego, polega ona na okresowym (strategia resursu diagnostycznego) lub ciągłym (strategia z monitoringiem) kontrolowaniu stanu technicznego obiektów technicznych i opracowywaniu na tej podstawie informacji diagnostycznych, umożliwiających podejmowanie racjonalnych decyzji. W systemie tym nie przewiduje się stałych terminów obsług. Decyzje w tej sprawie są podejmowane na podstawie posiadanych informacji diagnostycznych. Eksploatacja bazuje na aktualnym stanie urządzenia. Wadą tej strategii są wysokie koszty projektowania i budowy podsystemów diagnostycznych (o wysokim poziomie niezawodności działania) oraz systemów informatycznych (indywidualnie dedykowanych do danego zakładu) [67; 88].

Ponadto, można wymienić pochodne strategie utrzymania ruchu:

- strategię mieszaną, polegającą na wyposażeniu systemów eksploatacyjnych, realizujących strategię według ilości wykonanej pracy, w podsystemy diagnostyczne wspierające eksploatację maszyn i urządzeń,
- strategię autoryzowaną istnienia obiektów technicznych, utworzoną wskutek modernizacji strategii eksploatacji według stanu technicznego. Wysoka konkurencja między producentami maszyn i urządzeń spowodowała konieczność wprowadzenia nowoczesnej autoryzowanej strategii wytwarzania i eksploatacji urządzeń. Strategia ta nie traci dotychczasowych dokonań strategii eksploatacji według stanu technicznego, lecz twórczo modernizuje oraz rozszerza ją o inne aspekty. Podstawą tej strategii jest wykorzystanie pętli jakości, uzupełnionej elementami teorii eksploatacji (fazy istnienia maszyny, serwis) oraz diagnostyki technicznej. Producent ponosi pełną odpowiedzialność za wyrób, począwszy od pomysłu, poprzez projektowanie, wytwarzanie i eksploatację, aż do utylizacji po likwidacji obiektu. Producent konstruuje oraz wytwarza wyroby na podstawie najnowszych osiągnięć myśli technicznej, gwarantuje własny serwis w czasie eksploatacji, a także wyposaża obiekt w środki diagnostyczne (najlepiej automatyczne).

Należy podkreślić, że strategia diagnostyczna (według stanu technicznego) jest najbardziej skuteczną strategią ze względów technicznych i tym samym zapewnia zwiększenie trwałości oraz niezawodności eksploatowanych maszyn oraz urządzeń. Jeszcze lepsze efekty można uzyskać, jeżeli powiąże się działania służb technicznych zakładu z działem produkcji, który podejmuje decyzje eksploatacyjne używanych maszyn i urządzeń [35;103].

Wprowadzenie systemu eksploatacji opartego o stan techniczny maszyn i urządzeń ma wiele zalet. Do najważniejszych z nich należą:

- uzyskanie znacznej obniżki kosztów eksploatacji poprzez: zwiększenie okresu między remontami, remontowanie tylko części uszkodzonych, redukcję czasu i kosztu remontu, zmniejszenie się prawdopodobieństwa konieczności wydłużania remontu oraz wydłużenie „czasu życia” urządzenia.
- zwiększenie bezpieczeństwa personelu poprzez ograniczenie poważnych awarii,
- poprawa warunków bezpieczeństwa zakładów o dużym zagrożeniu dla ludzi i środowiska,
- zmniejszenie opłat na ubezpieczenie.

Naukowa działalność w dziedzinie eksploatacji została zapoczątkowana w Polsce po roku 1950, kiedy to uzmysłowiono sobie wyraźnie sens i potrzebę prowadzenia działalności naukowej w zakresie eksploatacji. Początkowa zasada „usuwania skutków zużycia po uszkodzeniu” została zastąpiona zasadą „profilaktyki remontowej”. Dopiero po roku 1960 rozwinęła się szersza zorganizowana działalność w dziedzinie naukowych badań eksploatacyjnych

i ich zastosowań. Prowadzono wówczas prace nad trwałością urządzeń i ich niezawodnością. Obecnie w Polsce ponad 200 placówek naukowych zajmuje się problemami budowy i eksploatacji oraz bezpieczeństwa systemów [108].

Zakładowe służby utrzymania ruchu są odpowiedzialne za sprawną eksploatację maszyn i urządzeń przedsiębiorstwa. Jaki sposób utrzymania ruchu zostanie wybrany zależy w dużej mierze od charakterystyki konstrukcyjnej urządzeń i ich roli, jaką odgrywają w procesie produkcyjnym. Urządzenia skomplikowane, kosztowne i pracujące w zautomatyzowanych liniach technologicznych powinny być utrzymywane bardzo starannie. Każda awaria powoduje bowiem przestój całej linii. Strategię eksploatacyjną należy więc dostosować do konkretnych urządzeń i maszyn oraz warunków ich eksploatacji.

Współczesna koncepcja utrzymania ruchu, która jest oparta o inspekcje zapobiegawcze, charakteryzuje się głównie :

- unikaniem, redukowaniem lub eliminowaniem uszkodzeń elementów maszyn, a nie tylko zapobieganiem im,
- uwzględnieniem, w ramach utrzymania ruchu bezpieczeństwa ludzi i ochrony środowiska naturalnego, jakości produktu i poziomu obsługi klientów, a nie tylko kosztów,
- odejściem od poglądu wiążącego wiek urządzeń i maszyn z intensywnością ich uszkodzeń,
- określeniem częstości działań utrzymania ruchu na podstawie symptomów uszkodzeń, a nie na podstawie wskaźników awaryjności maszyn i urządzeń,
- opracowywaniem wspólnych metod utrzymania ruchu tylko dla maszyn identycznych, których zasady eksploatacji, funkcje i oczekiwane standardy wykonania są również identyczne,
- samodzielnym opracowywaniem przez przedsiębiorstwa programów utrzymywania ruchu, z rozsądnym uwzględnieniem zaleceń producenta, a nie traktowaniem producenta jako jedyne uprawnionego do ich opracowania,
- opracowywaniem programów utrzymania ruchu przez służbę utrzymania ruchu i operatorów (a nie tylko przez służbę utrzymania ruchu),
- uznaniem za kluczowy czynnik sukcesu nie tylko działań technicznych służby utrzymania ruchu, ale także zaangażowania pracowników wszystkich poziomów zarządzania w działania na rzecz utrzymania ruchu,
- uznaniem utrzymania ruchu za strategiczny obszar przedsiębiorstwa, a nie tylko za gospodarkę pomocniczą [36; 45; 89].

Zakładowe służby utrzymania ruchu są zespolone z wysiłkami przedsiębiorstwa produkcyjnego mającymi na celu wytworzenie produktu wysokiej jakości. Jakość środków produkcji (a więc maszyn i urządzeń), która decydująco wpływa na jakość produkowanych wyrobów, jest zależna od jakości

i rodzajów czynności wykonywanych przez pracowników działów utrzymania ruchu zakładu [80].

2.2. PODSTAWY KOMPLEKSOWEGO UTRZYMANIA MASZYN (TPM)

Koncepcja Kompleksowego Utrzymania Maszyn (Total Productive Maintenance – TPM) obejmuje pełen cykl życia maszyn i urządzeń technicznych i dąży do zwiększenia ich efektywności, aby zapewnić ekonomiczne koszty ich utrzymania w całym okresie eksploatacji.

TPM to specyficzny program utrzymania maszyn, który pozwala zdefiniować właściwe rozwiązanie dla utrzymania maszyn w stanie zdolności technicznej dla uzyskania wzrostu produkcji przy jednoczesnym wzroście zadowolenia z pracy pracowników. Inaczej mówiąc, jest to całościowe utrzymanie ruchu ukierunkowane na produktywność. Koncepcja TPM nie służy do oceny służb utrzymania ruchu zakładu, lecz wskazuje źródła zaistniałych awarii maszyn i urządzeń. Wdrożenie działań zapobiegawczych ukierunkowanych na źródła powstawania awarii pozwala osiągnąć wyższy poziom bezawaryjnej eksploatacji obiektów technicznych zakładu [16].

Koncepcja TPM po raz pierwszy była wprowadzona w Japonii w latach 60. ubiegłego wieku w branży motoryzacyjnej. Firma Nippon Denso z grupy Toyota uzyskała jako pierwsza certyfikat TPM od Japońskiego Instytutu Inżynierii Przemysłowej (JIPE). Obecnie, TPM jest z powodzeniem stosowany w niemal wszystkich sektorach gospodarki .

Podstawowym narzędziem wspomagającym kompleksowe utrzymanie maszyn TPM jest zasada 5S. Narzędzie to dotyczy obszaru organizacji miejsca pracy, a w szczególności porządku na stanowisku pracy. Każdy problem może być łatwiej zauważony tam, gdzie panuje ład i porządek.

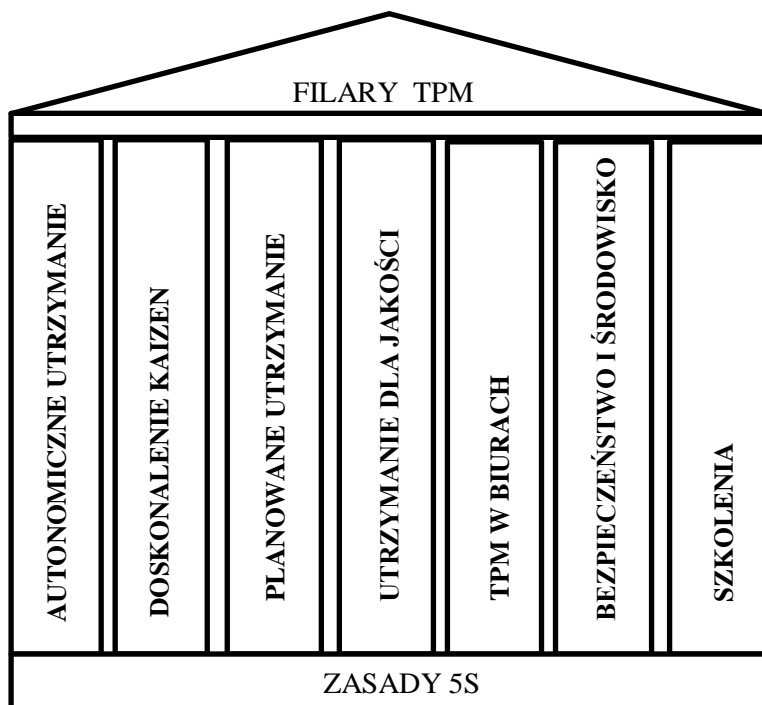
Nazwa 5S pochodzi z języka japońskiego od pierwszych liter wyrazów, opisujących sposób postępowania dla osiągnięcia i utrzymania porządku na stanowisku pracy.

Znaczenie poszczególnych **zasad 5S** jest następujące:

- 1S oznacza **Selekcję**, czyli wysortowanie niepotrzebnych rzeczy będących na stanowisku pracy, a następnie ich likwidację,
- 2S oznacza **Systematykę**, czyli ułożenie niezbędnych przedmiotów w należytym porządku, w taki sposób, aby możliwie łatwo było ich użyć,
- 3S oznacza **Sprzątanie**, czyli uporządkowanie swojego miejsca pracy na tyle dokładnie, aby nie było kurzu na podłodze i obiektach technicznych,
- 4S oznacza **Standaryzację**, czyli wzorowe zorganizowanie miejsca pracy z precyzyjnym wyznaczeniem miejsca dla wyposażenia,

- 5S oznacza **Szkolenie**, czyli wpojenie wszystkim pracownikom zasady, że system dobrego gospodarowania jest rzeczą naturalną [3; 14].

Teoria TPM określa siedem filarów, na których wspiera się system, natomiast podstawą dobrze wdrożonego systemu jest zasada 5S. Zostało to graficznie przedstawione na rys. 2.1 [8].



Rys. 2.1. Filary TPM

Źródło: opracowano na podstawie TPM Collected Practices and Cases

TPM nie jest uniwersalnym rozwiązaniem dla wszystkich przedsiębiorstw. Sposób oraz program wdrożeniowy tej koncepcji musi być dostosowany do indywidualnych możliwości przedsiębiorstwa. W związku z tym, każdy zakład chcący wdrożyć TPM powinien opracować swój własny plan działania, który weźmie pod uwagę wymagania i problemy typowe dla jego branży, metody produkcji oraz aktualny stan techniczny zainstalowanego parku maszynowego realizującego proces technologiczny [48; 57; 90].

Koncepcja TPM obejmuje swoją aktywnością następujące obszary:

- ukierunkowaną poprawę,
- autonomiczne utrzymanie ruchu,
- planowaną konserwację,
- szkolenie i trening,
- wczesne zarządzanie nowymi narzędziami,
- zarządzanie jakością,

- bezpieczeństwo i ochrona środowiska,
- efektywność procesów wspomagających.

Wydajność funkcjonujących systemów wytwarzania obniżana jest przez sześć głównych strat dotyczących: czasu, tempa i jakości. Główne przyczyny będące źródłem ww. strat są następujące:

- nieplanowane przestoje,
- przezbieranie i ustawianie,
- planowane przestoje,
- spadek tempa pracy,
- błędy wytwarzania,
- błędy przy rozruchu.

Wymienione powyżej straty w dwóch pierwszych punktach zaliczane są do strat czasu, z kolei kolejne dwie straty zaliczane są do strat tempa, zaś dwie ostatnie straty są zaliczane do strat jakości. Straty te generują poważny problem w zakresie wydajności obiektu technicznego, a wyeliminowanie ich lub ograniczenie przyczynia się skutecznie do zwiększenia wydajności obiektu technicznego [13; 20].

Kompleksowe Utrzymanie Maszyn (TPM) polega przede wszystkim na:

- wytworzeniu u każdego pracownika firmy świadomości kosztów obsługi,
- podniesieniu efektywności wyposażenia poprzez uczestnictwo całej firmy w praktykach 5S,
- eliminowaniu „sześciu głównych strat”,
- rozwinięciu zdolności wszystkich pracowników,
- wsparciu działalności obsługowej przez obsługę autonomiczną (tzn. wykonywaną przez operatora).

Celem TPM jest włączenie wszystkich pracowników przedsiębiorstwa w działania usprawniające funkcjonowanie maszyn i urządzeń zakładu w celu osiągnięcia podstawowych efektów tej koncepcji, czyli:

- ZERO usterek maszyn i urządzeń,
- ZERO wad produkcji,
- ZERO wypadków przy pracy [51].

Współczesna koncepcja TPM mówi, że:

- celem TPM jest maksymalne zwiększenie efektywności funkcjonowania obiektów technicznych,
- utrzymywanie obiektów technicznych musi się odbywać w całym okresie eksploatacji,
- TPM realizowane jest przez wszystkich pracowników firmy, poczynając od kierownictwa a na operatorach kończąc,
- za pomyślne funkcjonowanie systemu TPM odpowiedzialne są wszystkie komórki organizacji,
- koncepcja TPM bazuje na promocji wydajności obiektów technicznych poprzez odpowiednie zarządzanie stymulujące i motywujące.

Dobrze funkcjonujący w zakładzie system Kompleksowego Utrzymania Maszyn (TPM) scala załogę, likwiduje podziały między działami oraz ukierunkowuje wszystkich pracowników na cel, którym jest wzrost efektywności obiektów technicznych zakładu. To właśnie system TPM zapewnia prawidłową realizację technologii poprzez odpowiednie warunki eksploatacji maszyn i urządzeń oraz wskazuje użytkownikowi informacje o poziomie efektywności ich wykorzystania. System ten, przy wsparciu informatycznym, stwarza warunki do budowy optymalnych warunków pracy, zarówno dla ludzi jak i obiektów technicznych, przy jednoczesnej poprawie jakości stanowisk pracy [64; 73; 109].

2.3. OCENA EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACJI MASZYN I URZĄDZEŃ

Postęp w koncepcji TPM mierzy się głównie poprzez obliczanie **Calkowitej Efektywności Wyposażenia OEE** (Overall Equipment Effectiveness), która jest wskaźnikiem łączącym efektywność pracy, niezawodność maszyn i jakość procesu wytwarzania. Wskaźnik OEE jest przydatnym narzędziem obrazującym w jakim stopniu efektywnie pracują maszyny i urządzenia, czyli jak efektywnie są one wykorzystywane. Oblicza się go według następującego wzoru [20; 44]:

$$OEE = WD \cdot WW \cdot WJ \cdot 100 [\%] \quad (2.1)$$

gdzie:

- WD – współczynnik dostępności,
- WW – współczynnik wykorzystania,
- WJ – współczynnik jakości.

Natomiast **współczynnik dostępności (WD)** opisuje zależność [26]:

$$WD = \frac{TZ - TP}{TZ - PP} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

gdzie:

- TZ – czas zmiany,
- TP – czas wszystkich postojów, jest to łączny czas wszystkich przerw, takich jak: awarie (TA), zmiana oprzyrządowania (ZO), regulacje (RE), wymiana ostrzy (WO), inne postoje (IP), itp.

$$TP = TA + ZO + RE + WO + IP \quad (2.3)$$

PP - planowany czas postoju - jest to czas przeznaczony na standardowe przestoje, takie jak: przeglądy, przerwy technologiczne, czas przeznaczony na konserwację itp.,

Współczynnik wykorzystania (WW) można obliczyć ze wzoru [13]:

$$WW = WPD \cdot UCD \quad (2.4)$$

przy czym współczynnik prędkości działania (WPD) obliczany jest ze wzoru:

$$WPD = \frac{ICJ}{RCJ} \cdot 100 [\%] \quad (2.5)$$

a współczynnik użytecznego czasu działania (UCD) opisuje wzór:

$$UCD = \frac{P \cdot RCJ}{TZ - TP} \cdot 100 [\%] \quad (2.6)$$

gdzie:

ICJ – projektowany lub idealny czas jednostkowy obróbki wyrobu - jest to teoretyczny czas potrzebny do wytworzenia jednej sztuki wyrobu,

RCJ – rzeczywisty czas jednostkowy obróbki wyrobu - jest to rzeczywisty czas potrzebny do wytworzenia jednej sztuki wyrobu,

P– liczba przetworzonych lub wyprodukowanych w danym okresie, wszystkich wyrobów zarówno dobrych jak i wadliwych.

Z kolei **współczynnik jakości (WJ)** opisuje zależność [13]:

$$WJ = 100 - PJ [\%] \quad (2.7)$$

gdzie:

PJ – jest to procent wyrobów niezgodnych, wybrakowanych.

Należy dodać, że po wykonanej analizie uzyskanych wartości wskaźników OEE dla poszczególnych maszyn i urządzeń, można się dowiedzieć jaki jest rzeczywisty poziom odchylenia wartości OEE zakładu od standardów światowych oraz jakie maszyny i urządzenia są „wąskim gardłem” w badanym zakładzie. Kolejne analizy wskaźników OEE pokazują użytkownikom trend zmian ich wartości. Zalecane standardowe wartości wskaźnika OEE powinny być zamierzonym celem do osiągnięcia, jednak podobnie ważne jest uzyskanie stałego wzrostu jego wartości. Pewne branże z łatwością uzyskują wartości przekraczające standardy światowe, a inne mogą się do nich co najwyżej tylko przybliżyć. Porównanie uzyskanych wartości OEE w dwóch zakładach produkcyjnych o podobnym profilu produkcji daje tylko informację przybliżoną, ponieważ zbieranie danych mogło odbywać się z wykorzystaniem różnych technik i dlatego powstały błąd nie pozwala na bardzo kategoryczną ocenę uzyskanych wskaźników OEE [3; 20].

Światowe standardy wartości wskaźników TPM wynoszą odpowiednio:

- wskaźnik ogólny OEE od 85 do 100%,
- współczynnik dostępności WD od 90 do 100%,
- współczynnik wykorzystania WW od 95 do 100%,
- współczynnik jakości WJ od 99,9 do 100%.

Aktualnie, przyjmuje się, że jeżeli podczas analizy wskaźnika OEE uzyskano wynik powyżej 85% to potwierdza on fakt wyboru właściwej strategii eksploatacji maszyn i urządzeń analizowanego zakładu. Każdy wynik poniżej światowych standardów dobitnie ukazuje lokalizację i kierunki koniecznych działań naprawczych i korygujących dla eksploatowanych maszyn i urządzeń badanego zakładu. Obecnie wiele zakładów produkcyjnych prowadzi systematyczne rejestracje wskaźników OEE, przez co poprawiają swoją efektywność produkcji, a także umacniają swoją wysoką pozycję na rynku. Wskaźniki OEE dzięki prostej budowie są zrozumiałe dla całego personelu i tym samym potwierdza się ich wyjątkowy wpływ na kształtowanie funkcjonowania zakładu, bez względu na rodzaj branży [8; 14; 48].

2.4. DIAGNOSTYKA EKSPLOATACJI MASZYN I URZĄDZEŃ

Słowo diagnostyka pochodzi od greckiego słowa *diagnosis* oznaczającego: rozpoznanie, rozróżnianie, osądzanie; natomiast słowo greckie *diagnostike techne* jest tłumaczone jako sztuka rozróżniania, sztuka stawiania diagnozy.

Diagnostyka techniczna zajmuje się oceną stanu technicznego maszyn i urządzeń poprzez badanie własności procesów roboczych i towarzyszących im pracy, a także na podstawie wykonanych badań własności wytworów maszyn i urządzeń [30; 91; 104]. Istota diagnostyki technicznej bazuje na pośrednim i bezdemontażowym sposobie określania stanu maszyny lub urządzenia, na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów generowanych sygnałów (symptomów) diagnostycznych i porównaniu ich z wartościami nominalnymi. Należy dodać, że wartość sygnału (symptomu) diagnostycznego musi być związana znaną zależnością z diagnozowaną cechą stanu maszyny lub urządzenia, która charakteryzuje ich stan techniczny [54].

Potrzeba wykonania oceny stanu technicznego eksploatowanych obiektów technicznych wynika z konieczności podejmowania decyzji mających skutek dla poziomu jakości wyrobów oraz dla uzyskania wiedzy jak należy z obiektami technicznymi postępować w przyszłości. Na podstawie tak uzyskanej oceny można podjąć decyzję o dalszym użytkowaniu obiektu technicznego lub konieczności wprowadzenia działań profilaktycznych, bądź, w ostateczności, dokonaniu zmian w konstrukcji, technologii, a także w ich eksploatacji.

Diagnozę uzyskuje się w wyniku procesu diagnostycznego. Proces diagnostyczny jest to ciąg czynności zmierzających do określenia bieżącego stanu obiektu technicznego oraz oceny przeszłych i przyszłych jego stanów, z uwzględnieniem oddziaływań operatora i otoczenia, w którym obiekt działa. Ogólnie mówiąc, diagnostyka techniczna to nauka o rozpoznawaniu stanów technicznych obiektów. Pojęcie „rozpoznanie stanów technicznych” dotyczy dowolnej chwili istnienia obiektów technicznych, czyli przeszłości, teraźniejszości i przyszłości. Badania i ocena stanów technicznych umożliwiają ustalenie przyczyn, a także przewidywanie zmian tych stanów.

Obiektem badań (przedmiotem diagnozy) może być cały obiekt, zespół, pojedyncza część, a nawet cały system, np. system eksploatacji majątku trwałego przedsiębiorstwa przemysłowego.

Potrzebę diagnozowania stanu urządzeń technicznych najwcześniej dostrzeżono w inżynierii elektronicznej przy produkcji i eksploatacji komputerów. Rozwój tej dziedziny wiedzy doprowadził do opracowania i wdrożenia urządzeń oraz procedur samodiagnostujących, wskazujących miejsce i rodzaj uszkodzenia w złożonych systemach komputerowych. Natomiast w inżynierii mechanicznej (w konstrukcji, wytwarzaniu i eksploatacji maszyn i urządzeń), czynnikiem bezpośrednio stymulującym rozwój diagnostyki jest odpowiedzialność realizowanej funkcji. Odpowiedzialność ta może być definiowana w trudno wymiernych kategoriach bezpieczeństwa ludzi, lub też w kategoriach ekonomicznych: wydajności oraz efektywności produkcji [22; 92].

Diagnostyka mechaniczna powstała najwcześniej w środkach transportu powietrznego i morskiego oraz w energetyce. Obecnie, jesteśmy świadkami adaptacji i opracowywania nowych metod i środków do oceny stanu technicznego w pozostałych gałęziach przemysłu i gospodarki narodowej.

Czynnikami stymulującymi rozwój diagnostyki technicznej są:

- złożoność systemów produkcyjnych, gdzie wystąpienie awarii jednego obiektu technicznego unieruchamia cały ciąg technologicznych, dając w efekcie niewspółmiernie duże straty ekonomiczne,
- duża liczba maszyn będących jednocześnie w ruchu ciągłym, i to bez żadnego nadzoru. Przykładowo duży zakład przemysłowy eksploatuje jednocześnie kilkaset małych i średnich silników elektrycznych. Konserwacja i remont tak liczego parku maszynowego powoduje wiele problemów, jeżeli nie potrafimy właściwie przewidzieć terminu remontu,
- wysoki poziom niezawodności wymagany dla pewnych maszyn i urządzeń jednorazowego lub sezonowego (kampanijnego) użytkowania. Tego typu niezawodności wymagamy od pojazdów specjalnych, np. kosmicznych, sprzętu wojskowego a także rolniczego [101].

Diagnostyka maszyn i urządzeń cechuje się jednak swoistą odmiennością w porównaniu z diagnostyką techniki komputerowej. Działanie i proces zużywania się maszyn i urządzeń mają charakter ciągły, który nie daje przesłanek do naturalnego rozgraniczenia stanów. Ponadto, elementy mechaniczne, a co za tym idzie - maszyny i urządzenia, cechują się większym niż elementy elektroniczne rozrzutem własności nabytych w etapie ich wytwarzania. Ta nieoznaczoność i ciągłość procesu stwarza odmienne problemy w kontroli własności i stanu urządzeń mechanicznych, głównie z tego powodu, że są to systemy otwarte z przepływem masy, energii i informacji.

Obiekty techniczne są to układy, które zawsze przekształcają energię wraz z nieodłącznym rozproszeniem wewnętrznym i zewnętrznym. Wejściowy strumień jest przetwarzany na dwa strumienie wyjściowe:

- energia użyteczna lub produkt,
- energia rozpraszana - częściowo do środowiska, a częściowo gromadzona w obiekcie jako wynik różnych procesów zużycia [47; 54].

Obserwacja strumieni wejścia i wyjścia umożliwia nam określenie stanu technicznego obiektu. Analizując strumienie wyjściowe możemy diagnozować stan techniczny obiektu. Możemy tego dokonać na trzy sposoby, poprzez wykorzystanie informacji z:

- parametrów procesów roboczych maszyny, takich jak moc, maksymalna prędkość, itp. Ten sposób diagnostyki wymaga okresowego wyłączenia maszyny z ruchu i poddania jej określonej sekwencji specjalnych badań testowych,
- pomiaru parametrów i charakterystyk będących bezpośrednimi objawami zużycia. Mamy na myśli głównie badanie odchyłek kształtu i wymiarów w stosunku do wzorca maszyny sprawnej. Przyjmuje się, że im lepsza jakość produkcji, tym lepszy stan techniczny maszyny. Ten rodzaj badań połączony jest zwykle z okresową odnową, remontem, gdyż poza wyłączeniem z ruchu wymaga ona także demontażu elementów maszyny,
- badania procesów resztkowych, które zawsze, w sposób niezamierzony, ale także nieodłącznie, towarzyszą funkcjonowaniu maszyn. Są to procesy termiczne, tarciove, elektryczne, a przede wszystkim wibroakustyczne w postaci drgań, hałasu i pulsacji medium roboczego w maszynie. Procesy te są w wielu przypadkach objawem zużycia (np. produkty ścierania) lub determinantą zużycia, jak np. drgania dające zmęczenie materiału. Wykorzystanie ich w diagnostyce stwarza szansę bezdemontażowej oceny stanu technicznego maszyny, bez potrzeby wyłączania jej z ruchu, a nawet bezkontaktowo, jak w przypadku badań termograficznych, hałasu czy laserowego pomiaru drgań [92].

Niestety, niezależnie od tego jak dobrze przygotujemy operatorów i służby techniczne do obserwowania bieżącej pracy maszyn i urządzeń w celu raportowania zaistniałych różnic w ich funkcjonowaniu od założonych warunków standardowych, awarie wyposażenia będą się nadal zdarzały. Powstałe awarie zawsze zagrażają płynności i jakości produkcji oraz potencjalnie mogą przyczynić się do degradacji środowiska naturalnego, jak i zagrozić bezpieczeństwu i zdrowiu ludzi. Dlatego też w fazie eksploatacji maszyn i urządzeń zachodzi konieczność poznania powodów zaistniałych awarii i na tej podstawie dokonanie doboru właściwych operacji obsługowych oraz systemu monitorowania stanu posiadanego parku maszynowego [77; 105].

Możemy wyróżnić następujące rodzaje badań diagnostycznych:

- diagnozowanie stanu,
- monitorowanie stanu (ciągłe diagnozowanie, dozоровanie),

- ustalenie genezy stanów,
- prognozowanie stanów [54; 106].

Diagnoza jest to informacja o stanie obiektu technicznego, która jest potrzebna użytkownikowi (decydentowi) do podjęcia właściwej decyzji dotyczącej użytkowania lub obsługiwanego obiektu (np. dalszego użytkowania, wykonania remontu bieżącego lub kapitalnego, albo likwidacji). Diagnoza może dotyczyć: oceny stanu stwierdzonego, prognozy rozwoju zmian stanu, przyczyn rozwoju zmian stanu oraz łącznie wszystkich wymienionych elementów.

Diagnozowanie jest to ustalenie stanu obiektu technicznego w chwili t_o , w której jest wykonywane jego badanie diagnostyczne.

Monitorowanie (ciągłe diagnozowanie, dozorowanie) - jest ciągłą lub dyskretną bieżącą obserwacją stanu obiektu. Dostarcza ono istotnej informacji o aktualnym stanie obiektu, a zwłaszcza o każdej zmianie stanu, z niewielką zwłoką czasową.

Ustalenie genezy - jest to ustalenie przyczyn stanu w chwili t_g poprzedzającej chwilę t_o badania obiektu ($t_g < t_o$). Czyli jest to odtworzenie kolejności zaistniałych w przeszłości stanów obiektu. Ustalenie genezy jest szczególnie ważne podczas określenia pierwotnych oraz wtórnych uszkodzeń elementów maszyn. Wiarygodność genezy w dużym stopniu zależy od znajomości stanów wcześniejszych. Podstawą ustalenia genezy są:

- diagnoza stanu obiektu w chwili t_o ,
- znajomość przynajmniej niektórych różnych stanów analizowanego obiektu technicznego w chwilach poprzedzających chwilę t_o ,
- znajomość czynników wymuszających działających na obiekt oraz skali ich oddziaływania w chwilach poprzedzających chwilę t_o ,
- znajomość rozkładu prawdopodobieństwa zmian stanów obiektu technicznego
- w rozpatrywanym przedziale czasu Δt , poprzedzającym chwilę t_o .

Prognozowanie - jest to wyznaczanie stanów przyszłych, następujących po chwili t_o na podstawie:

- diagnozy stanu obiektu w chwili t_o ,
- znajomości przynajmniej niektórych różnych stanów obiektu w chwilach poprzedzających chwilę t_o ,
- znajomości rozkładów prawdopodobieństwa oddziaływania na maszyny oraz urządzenia czynników wymuszających w przedziale czasu ($t_o + \Delta t$),
- znajomości rozkładów prawdopodobieństwa zmienności stanów obiektów technicznych, w zależności od rodzaju realizowanych zadań i oddziaływania otoczenia [30; 91].

Ustalenia prognozy są tym bardziej wiarygodne, gdy dokładniejsze są informacje, na podstawie których została ona opracowana oraz im krótszy jest czas prognozowania. Wymienione rodzaje badań diagnostycznych są ze sobą ściśle powiązane. Każde z tych badań stanowi element tzw. pełnej diagnozy.

Istnieje jeszcze jeden podział diagnostyki uzależniony od fazy życia obiektu technicznego:

- diagnostyka konstrukcyjna - ustala jaki jest prototyp urządzenia,
- diagnostyka kontrolna - ustala jakie jest urządzenie po jego wytworzeniu,
- diagnostyka eksploatacyjna - ustala jakie jest urządzenie podczas realizowanej eksploatacji,
- diagnostyka procesów technologicznych - ustala w jaki sposób przebiega analizowany proces technologiczny realizowany przez urządzenie [102; 104].

Z punktu widzenia zakładowych służb utrzymania ruchu, najistotniejsza jest diagnostyka eksploatacyjna, ponieważ podczas eksploatacji obiektów technicznych następuje rozwój uszkodzenia oraz degradacja stanu technicznego w miarę upływu czasu życia obiektów technicznych.

Rozważając czas niezawodnej i bezawaryjnej pracy urządzenia możemy zauważyć, że mamy do czynienia z dwoma różnymi sytuacjami:

- istnieje grupa urządzeń, dla których czas bezawaryjnej pracy jest znacznie krótszy od normatywnego,
- remonty wykonywane w czasie normatywnym danej grupy urządzeń dla części z nich nie znajdują uzasadnienia w ich dobrym stanie technicznym, przy czym, taki remont z reguły pogarsza ich stan [105].

Można wymienić następujące przyczyny tak dużego przypadkowego rozrzutu w bezawaryjnym czasie pracy urządzeń:

- przypadkowe zróżnicowanie własności mechanicznych i rozrzut wymiarów różnych egzemplarzy tej samej partii wyrobów uzyskanych na etapie wytwarzania,
- zróżnicowanie obciążeń roboczych,
- zróżnicowane oddziaływania z otoczeniem (montaż, posadowienie), między poszczególnymi egzemplarzami urządzeń,
- zróżnicowanie w jakości kolejnych napraw.

Diagnostyka eksploatacyjna urządzeń pracujących w ruchu ciągłym może przyjmować różne formy obserwacji obiektu:

- nadzór stały (dozorowanie) - realizowany głównie dla unikalnych obiektów technicznych o dużej odpowiedzialności zadań,
- inspekcja diagnostyczna - stosowana dla urządzeń mniej odpowiedzialnych, o małej intensywności zużywania się (rzędu lat), wystarczy wówczas wykonać pomiar okresowo - co kilka tygodni [22; 91].

Specyfika zadań zakładu przemysłowego, charakterystyki eksploatacyjne i niezawodnościowe poszczególnych grup maszyn i urządzeń, stanowią istotne czynniki warunkujące ostateczny kształt systemu diagnostyki w zakładzie. Przez system diagnostyczny rozumie się układ złożony z:

- diagnozowanych obiektów,

- środków diagnostycznych - przyrządy oraz ludzie (jeśli dany system nie działa automatycznie),
- procedur diagnozowania, zapewniających sposób wzajemnego oddziaływania środków i obiektów dla wypełnienia zadań obiektywnej znajomości stanu technicznego lub jakości obiektu.

Bardzo istotne jest zaplanowanie właściwego algorytmu (procedury) diagnostycznego, będącego sekwencyjną odpowiedzią na pytania użytkowników:

- co i gdzie mierzyć? (w jakim procesie?, w jakim miejscu i kierunku?),
- jak mierzyć? (jaki wybrać parametr lub symptom?, z jaką częstotliwością?),
- jakie wyciągać wnioski? (dla opisu stanów granicznych lub klas stanów, bądź dla koniecznych działań zapobiegawczych).

W celu wdrożenia systemu diagnostyki zalecane jest stosowanie się do poniższych wytycznych:

- wybór celu i obiektu diagnostyki: obiektywna analiza niezawodnościowo-ekonomiczna parku maszynowego zakładu oraz taka sama analiza dla wyboru podzespołów lub elementów maszyn wymagających obiektywnej oceny stanu technicznego,
- wybór miejsca i wielkości pomiarowej, tj. należy przeanalizować wszystkie procesy zużyciowe, które powodują uszkodzenia,
- wybór miary odwzorowującej krzywe życia uszkodzenia (utworzenie bazy danych z wykonanych pomiarów obiektu),
- określenie relacji symptom – stan: dla wybranych symptomów stanu należy ustalić wartości graniczne stanu zdatnego, przy pomocy istniejących i sprawdzonych norm lub też statystycznej teorii decyzji. Tak ustalone wartości graniczne należy co pewien czas korygować wg świeżych obserwacji eksploatowanych maszyn,
- organizacja diagnostyki i decyzji eksploatacyjnych - należy zawsze określić instrumentalnie i operacyjnie (przyrządy i ludzie) sposób uzyskiwania, przetwarzania i przechowywania sygnałów, symptomów i innych informacji diagnostycznych. Z drugiej strony, z taką samą precyzją należy określić sposób podejmowania, przekazywania oraz egzekwowania decyzji eksploatacyjnych w złożonych strukturach zarządzania eksploatacją maszyn oraz urządzeń zakładu [104; 106].

Realizacja powyższych pięciu punktów powinna zapewnić posiadanie i funkcjonowanie systemu diagnostycznego o dużym poziomie wiarygodności decyzji diagnostycznych i dużej efektywności operacyjnej.

Podczas przeprowadzania wyboru punktów krytycznych, analizie poddany musi być istniejący układ technologiczny pod kątem rezerwowania maszyn oraz urządzeń. Linie technologiczne i instalacje pomocnicze są przeważnie budowane zgodnie ze strukturą szeregowo-równoległą.

Tam, gdzie jest struktura szeregową, wprowadza się system pozwalający podnieść naprawialność urządzeń. Uzyskuje się to poprzez właściwy zestaw części zamiennych i całych podzespołów. Pozwala to na wykonanie napraw w krótkim czasie i z niską pracochłonnością. Natomiast struktura równoległa tworzy nadmiar eksploatacyjny maszyn i urządzeń [30; 54].

Metody badań stanu maszyn, konstrukcji i ich elementów można podzielić na dwie kategorie:

- metody stymulacyjne, które dla uzyskania oceny wymagają zastosowania specjalnego bodźca-stymulatora, np. źródła światła, fali ultradźwiękowej, pola magnetycznego oraz promieniowania rentgenowskiego. Metody te są zwane nieniszczącymi; w większości, można stosować je jedynie do oddzielnych elementów maszyn i konstrukcji,
- bierne metody diagnostyczne bazujące na obserwacji procesów resztkowych towarzyszących funkcjonowaniu maszyn. Najprostszy rodzaj tych badań to analiza produktów zużycia zawartych w olejach smarnych lub hydraulicznych.

Ważniejsze metody badań stanu maszyn i urządzeń:

- **metody stymulacyjne - badania nieniszczące:**
 - a) badania wizualne:
 - endoskopowe - ogląd optyczny poprzez układ soczewek lub włókno światłowodowe,
 - holograficzne - rekonstrukcja frontu falowego z trzeciego wymiaru frakcyjnego,
 - penetracyjne barwne lub fluoroscencyjne - wnikanie w wady widzialnych lub fluoryzujących chemikaliów,
 - b) badania magnetyczne:
 - proszkowe - koncentracja proszku ferromagnetycznego w okolicach wad oraz uszkodzeń,
 - wiroprądowe - zmiana amplitudy i fazy prądu w okolicy wady,
 - c) radiografia:
 - rentgenowska - tłumienie, odbicie, rozpraszanie wnikażącej radiacji,
 - izotopowa - tłumienie, odbicie, rozpraszanie wnikażącej radiacji,
 - neutronowa - tłumienie, odbicie i rozpraszanie wnikażącego strumienia neutronów,
 - d) badania ultradźwiękowe - tłumienie, odbicie, rozproszenie, zmiana fazy, rezonansu, padającej fali akustycznej.
 - e) emisja akustyczna - wymuszony rozwój mikrouszkodzeń (np. polem naprężeń) jest źródłem emisji akustycznej fal wysokiej częstotliwości,
- **bierne metody diagnostyczne:**
 - a) badania produktów zużycia:
 - wkłady filtracyjne - olej smarny (ciecz robocza odfiltrowana, odwirowana) daje produkty zużycia do badań ilościowych,

- korki magnetyczne - przechwytywanie dużych magnetycznych cząstek zużycia w oleju,
 - ferrografia - przechwytywanie wszystkich dużych cząstek zużycia w oleju,
 - analiza spektralna oleju SOA - analiza spektrograficzna małych cząstek po spaleniu,
 - zliczanie cząstek - bieżące zliczanie cząstek w układzie smarowania (hydrauliki); bardzo droga i kłopotliwa instalacja,
 - diagnostyka termiczna:
 - termografia - analiza obrazu w podczerwieni,
 - termometria - punktowy pomiar temperatury, np. termoparą,
- b) diagnostyka wibroakustyczna:
- drgania - analiza drgań związanych z funkcjonowaniem maszyny,
 - hałasu - analiza hałasu związanego z funkcjonowaniem maszyny,
 - pulsacja medium - analiza pulsacji medium w przestrzeniach roboczych maszyn,
 - emisja akustyczna - odbiór i analiza fal akustycznych w materiale, generowanych przez naturalny rozwój mikrouszkodzeń [91; 101; 105].

Celem procesów utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie jest zwiększenie rentowności eksploatacji i obniżenie całkowitego kosztu cyklu życia obiektów technicznych zakładu, bez uszczerbku dla bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Wprowadzenie koncepcji TPM oraz dokonanie analizy wskaźnika OEE umożliwia zbudowanie systemu eksploatacji z wyszczególnieniem miejsc krytycznych, zakresu i częstotliwości kontroli, metod tej kontroli i systemu raportowania zrealizowanych czynności serwisowych. Dzięki takim działaniom systemowym staje się możliwe utrzymanie maszyn i urządzeń zakładu w stanie zdatności technicznej.

3. PROBLEMATYKA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

3.1. HIPOTEZY PRACY

Temat pracy:

Utrzymanie maszyn i urządzeń branży słodowniczej w stanie zdolności technicznej przy dużej zmienności obciążeń technologicznych.

Hipoteza główna:

Zapewnienie poprawności realizacji procesu technologicznego produkcji słodu gwarantowane jest przez racjonalną organizację systemu utrzymania zdolności technicznej maszyn i urządzeń oraz sterowanie procesem technologicznym.

Hipotezy pomocnicze:

- 1. Sterowanie procesem suszenia skielkowanego jęczmienia jest tożsame z zapewnieniem jakości słodu.**
- 2. Zdolność techniczna maszyn i urządzeń słodowni gwarantuje dotrzymanie parametrów czasowych i temperaturowych procesu słodowania.**

3.2. CEL PRACY

Cel główny:

Głównym celem pracy jest opracowanie narzędzia zapewniającego utrzymanie zdolności technicznej maszyn i urządzeń do realizacji procesu technologicznego produkcji słodu. Innymi słowy, zapewnienie dyspozycyjności maszyn i urządzeń do podjęcia pracy lub jej ograniczenia.

Cele pomocnicze:

- dobór metod diagnostycznych maszyn i urządzeń pracujących przy specyficznej produkcji słodu,**
- optymalizacja parametrów procesu technologicznego w sensie sterowania ich utrzymaniem w stanie zdolności technicznej,**
- powiązanie systemu technicznego z procesem technologicznym wytwarzania słodu dla potrzeb zapewnienia jakości słodu,**
- dobór strategii eksploatacyjnej sterującej racjonalnym wykorzystaniem maszyn i urządzeń.**

3.3. PROBLEMY BADAWCZE

Problem badawczy:

Identyfikacja znaczenia eksploatacji maszyn i urządzeń w realizacji procesu technologicznego, która limituje przepływ zasobów materiałowych w procesie produkcji słodu.

Głównym celem słodowni jest zapewnienie akceptowalnego poziomu jakości słodu. Odbywa się to dzięki technologii realizowanej przez maszyny oraz urządzenia.

W słodowni istnieją dwa problemy - jeden jest związany z techniką, tj. diagnostyką, drugi zaś z technologią produkcji. Należy nadmienić, że jakość produkowanego słodu jest głównie uzależniona od:

- jakości używanego w produkcji jęczmienia browarnego,
- właściwego procesu technologicznego słodowania ułożonego dla danego gatunku jęczmienia browarnego,
- zdatności technicznej zainstalowanych maszyn i urządzeń zakładu.

3.4. PROBLEM NAUKOWY W DOKTORACIE

Problem naukowy sprowadza się do opracowania takiego algorytmu, który głównie, w oparciu o istniejący stan elementów będących w ruchu, zapewni planowaną eksploatację maszyn i urządzeń uwarunkowaną wydajnością słodowni.

Zakładając, że współczynnik ten powinien być stały, co gwarantuje stabilność efektów ekonomicznych, to wówczas poziom jakości uwarunkowany jest parametrami technologicznymi, zawierającymi współczynniki eksploatacji oraz wykorzystania. Z tego też względu wprowadzono pojęcie *częściowa efektywność urządzenia CEU*, która wynosi:

$$CEU = WE \cdot WW. \quad (3.1)$$

w efekcie uzyskano następującą zależność:

$$CEU = \frac{ICJ \cdot P}{TZ - PP} \cdot 100 \% \quad (3.2)$$

Idealny czas jednostkowy w analizowanych warunkach limitowany jest przez powierzchnię, czas i temperaturę procesu. Uwzględniając jednak fakt, że jednym ze wskaźników prawidłowo przeprowadzanego procesu suszenia jest wilgotność, wówczas brane są pod uwagę trzy istotne czynniki: czas, temperaturę i wilgotność.

Wnioskujemy, że sterowanie tymi trzema czynnikami jest utrudnione, dlatego należy zastanowić się nad sensowną redukcją zmiennych. Innym problemem badawczym jest identyfikacja procesu, który limituje przepływ

zasobów materiałowych w procesie produkcji słodu. Na podstawie analizy poszczególnych fragmentów procesu produkcyjnego w ujęciu technologicznym stwierdzamy, że procesem takim jest proces suszenia oznaczony na rysunku 5.2 jako 32. Proces ten wyznacza dynamikę przepływu. Na jego potrzeby pracują wcześniejsze operacje, limituje on również dynamikę przepływu materiałów po procesie. **Można zatem postawić pierwszą tezę pomocniczą, że sterowanie procesem suszenia jest tożsame z zapewnieniem jakości słodu.** Wymagania klientów mówią głównie o wilgotności, rozluźnieniu, barwie, białku, beta-glukanach, lepkości i kruchości .

Prace konserwacyjne i naprawcze planowane są głównie w przerwach technologicznych, których czas trwania jest zmienny w zależności od aktualnego obciążenia technologicznego zakładu.

3.5. METODY DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ REALIZOWANE W SŁODOWNI

Diagnostyka techniczna maszyn i urządzeń słodowni ma dać odpowiedź na następujące pytanie: czy stan zdatności technicznej maszyn i urządzeń jest wystarczający, aby uruchomić kolejną partię produkcyjną?

W badanym zakładzie wcześniejsza praktyka utrzymania maszyn oraz urządzeń sprowadzała się głównie do likwidacji zaistniałych awarii. Obecnie, w słodowni zachodzi pilna potrzeba wprowadzenia zmian w zakresie eksploatacji zainstalowanych maszyn i urządzeń.

W słodowni prowadzone są różnego typu działania zapobiegające, które wyrażają się różną formą nadzoru nad przebiegiem procesu technologicznego produkcji słodu. W warunkach przedsiębiorstwa wdrożono następujące techniki diagnostyczne: badania wizualne, termowizję, wibrodiagnostyki i badanie oleju przekładniowego. Analizowany proces technologiczny może być zakłócony poprzez:

- brak dopływu prądu i gazu,
- niewłaściwy stan łożysk, silników, przekładni,
- niesprawne czujniki ciśnienia lub temperatury oraz cały osprzęt elektryczny.

Z punktu badawczego, interesująca jest liczba elementów maszyn i urządzeń będących w ruchu, które wymagają smarowania, mogą drgać i wydzielać ciepło. Jak wskazuje praktyka, elementy te generują awarie. Liczba takich elementów z napędem elektrycznym wynosi 2843 sztuki, które są w 273 maszynach i urządzeniach.

Warunki eksploatacji maszyn i urządzeń realizujących technologię naturalną (produkcja słodu jęczmiennego) wspierane będą przez działania zapobiegawcze, charakterystyczne dla podmiotowej technologii oraz wypracowane przez obiekt badawczy.

Na podstawie analizy poszczególnych fragmentów procesu produkcyjnego w ujęciu technologicznym stwierdzono, że procesem takim jest proces suszenia słodu. Proces ten wyznacza dynamikę przepływu dla całego badanego zakładu.

W przypadku produkcji słodu, problem badawczy sprowadza się do identyfikacji czynników gwarantujących niezawodną eksploatację palników gazowych i wentylatorów jako urządzeń limitujących przepływ produkcji w słodowni. Praktyka znalazła rozwiązanie co do redukcji parametrów, którymi należy sterować, aby otrzymać sład o wymaganej jakości. W przypadku procesu słodowania takim szczególnym parametrem jest wilgotność ziarna. Wilgotność słodu jest wynikiem temperatury i czasu trwania procesu suszenia namoczonego i skielkowanego jęczmienia.

Zważywszy na fakt, iż na proces wytwarzania słodu nałożony jest określony plan produkcyjny, to suszenie musi odbywać się w jednakowym czasie, dlatego jakością słodu można sterować tylko jednym parametrem, mianowicie temperaturą. Zatem w słodowni proces suszenia słodu jest regulowany temperaturą oraz natężeniem przepływu gorącego powietrza. Parametry te mogą być zapewnione poprzez właściwą wydajność wentylatorów i palników gazowych suszarni słodu.

W dysertacji określoną rolę odegrają następujące techniki diagnostyczne: termowizja, drgania i badanie oleju przekładniowego. Zostanie to także zrealizowane poprzez ciągły pomiar temperatury i drgań łożysk wentylatorów oraz pomiar ciśnienia na wymiennikach powietrza.

Problem naukowy (badawczy) sprowadza się do opracowania takiego algorytmu decyzyjnego, który, głównie w oparciu o istniejący stan elementów będących w ruchu, zapewni planowaną eksploatację maszyn i urządzeń uwarunkowaną wydajnością słodowni, a tym samym zagwarantuje uzyskanie wymaganej jakości słodu.

3.6. OCENA JAKOŚCI SŁODU JĘCZMIENNEGO

W niniejszej pracy głównie został poruszony problem jakości produkowanego słodu, wynikający z braku zdolności technicznej maszyn i urządzeń słodowni. Jednakże, dla potrzeb przeprowadzenia pełnej analizy zmian jakości produkowanego słodu, dokonano również badań związanych z jakością jęczmienia zakupionego do jego produkcji oraz z jakością wyprodukowanego słodu. Każda dysfunkcja jakości surowca oraz maszyn i urządzeń technologicznych ostatecznie ujemnie wpływa na jakość produkowanego słodu. Wszystkie awarie obiektów technicznych zawsze jednoznacznie przekładają się na wydłużenie czasu trwania procesu technologicznego i tym samym mają duże znaczenie dla jakości produkowanego słodu. Bardzo istotny jest czas trwania, etap procesu słodowania oraz lokalizacja każdej dysfunkcji technicznej maszyn i urządzeń zakładu.

Jakość słoðu, zgodnie z praktykã, zapewniona jest poprzez dotrzymywanie parametrów technologicznych. W pracy zostały określone odpowiednie współczynniki charakteryzujące parametry ziarna - porę roku.

Jakość słoðu warunkowana jest czasem realizacji procesów, które wpływają na efektywność eksploatacji maszyn i urządzeń (OEE). Wielkością stałą jest współczynnik OEE i program musi być na tyle elastyczny, aby dać odpowiedź na pytanie: jak należy prowadzić proces, aby uzyskać wymaganã jakość, jeżeli zmieni się jeden z parametrów, np. czas suszenia? Fakt ten musi być przełożony na parametry technologiczne procesu słodowania oraz na warunki eksploatacji maszyn i urządzeń.

Wynikiem pracy jest algorytm decyzyjny umożliwiający podejmowanie stosownej nastawy parametrów technologicznych maszyn i urządzeń realizujących proces słodowania, która zagwarantuje wymaganã jakość produkcji słoðu i prowadzona będzie wyłącznie na zdalnych technicznie maszynach i urządzeniach zakładu. Uruchomienie kolejnej partii produkcyjnej będzie możliwie wyłącznie przy zapewnieniu, że obiekty techniczne (zwłaszcza realizujące proces słodowania) będą zdalne techniczne od startu do końca wymaganego czasu trwania danego cyklu produkcyjnego.

Dane dotyczące przyjętego do zakładu jęczmienia browarnego (tabela 3.1) wykazują, że w badanym okresie zidentyfikowano siedem niezgodności.

Tabela 3.1. Wykaz liczby niezgodności jakościowej w danej grupie przyjętego jęczmienia do produkcji w latach 2011 - 2014

Okres badawczy	zanieczyszczenia	wilgotność	wyrównanie	białko	energia	uszkodzone ziarna	spleśniałe	rocznie
2011 - 2012	11	220	1	32	241	15	39	559
2012 - 2013	1	17	2	0	118	0	55	193
2013 - 2014	0	13	10	107	73	22	0	225
Suma	12	250	13	139	432	37	94	977

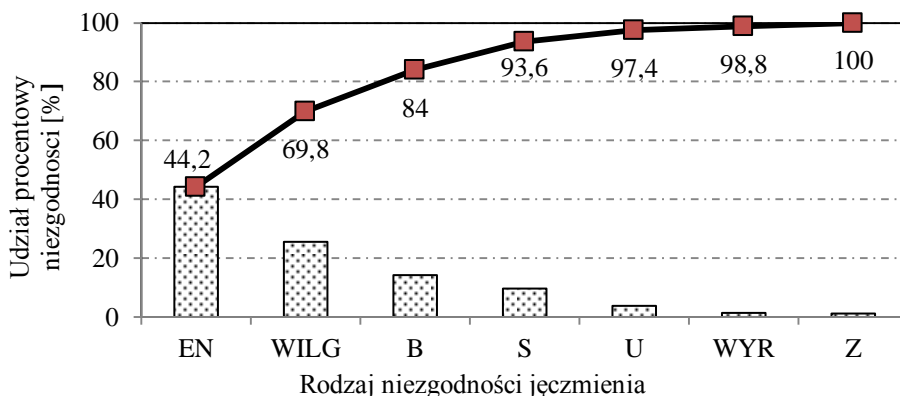
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników analiz laboratoryjnych słodowni

Z ostatniej kolumny wnioskujemy, że w ciągu okresu badawczego liczba przyczyn niezgodności jęczmienia nie była jednakowa. W pierwszym okresie badawczym wynosiła 559 przypadków, a w trzecim roku badawczym odnotowano 225 przypadków.

Mając na uwadze, że suma przyczyn niezgodności jest różna, do szczegółowej analizy wykorzystano diagram Pareto-Lorenza (rysunek 3.1). Przyjęto następujące symbole wspomnianych niezgodności jęczmienia: energia (EN), wilgotność (WILG), białko (B), spleśniałe (S), uszkodzone ziarna (U),

wyrównanie (W) oraz zanieczyszczenia (Z). Możemy stwierdzić, iż energia ziarna i jego wilgotność oraz poziom białka w sumie stanowią 84% przyczyn niezgodności. Z danych zaprezentowanych na rysunku 3.1 wynika duża dysproporcja pomiędzy przyczynami niezgodności - energia ziarna posiada udział procentowy 44,2%, wilgotność ziarna wynosi 25,6%, natomiast piąta przyczyna niezgodności, uszkodzone ziarna, posiada udział już tylko 3,8%.

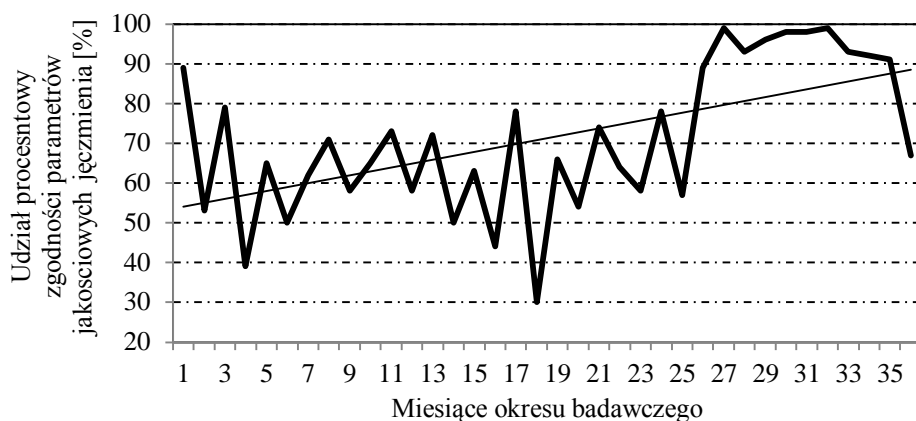
Praktyczną wytyczną wyników jest fakt, że niektóre partie dostarczanego jęczmienia posiadają słabą zdolność do kiełkowania. W tym przypadku, proces kiełkowania jęczmienia przebiega według specjalnego programu, który znacznie komplikuje cały proces słodowania. Do realizacji takiego procesu szczególnie ważne są maszyny i urządzenia technologiczne.



Rys. 3.1. Diagram Pareto-Lorenza z niezgodności jęczmienia w zależności od kontrolowanego parametru na podstawie badań z lat 2011 – 2014

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników analiz laboratoryjnych słodowni

Z naukowego i praktycznego punktu widzenia są wymagane jednak bardziej szczegółowe informacje o jakości jęczmienia. Stosowne wyniki zawiera rysunek 3.2. Z przebiegu krzywej (mającej charakter tzw. grzebienia) zauważamy, że udział procentowy zgodności w pierwszych miesiącach badań malał, następnie w systematyczny sposób rósł, by w dalszych miesiącach osiągnąć minimalny poziom udziału zgodności. Taki przebieg krzywej związany jest z okresem biologicznym ziarna, bowiem 4 i 18 są to miesiące, w których kupowano głównie jęczmień z ubiegłorocznych zbiorów o długim okresie przechowywania i miało to wpływ na znaczne obniżenie energii jęczmienia. Należy dodać, że okres jesienno-skupu ma jeszcze inne istotne zagrożenie. Jest ono związane z niedojrzałością fizjologiczną jęczmienia zebranego podczas żniw, która to przeciętnie przemija po dwóch – trzech miesiącach składowania ziarna w silosach i dopiero wówczas umożliwia skierowanie go do produkcji słodu.



Rys. 3.2. Udział procentowy zgodności parametrów jakościowych zakupionego jęczmienia browarnego z wymaganiami [%] z 36 miesięcy z lat 2011 – 2014
 Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników analiz laboratoryjnych słodowni

Każda partia słodu wysyłana ze słodowni posiada Atest wystawiony przez laboratorium, jednak klient odbierający sód dokonuje również swojej oceny jakościowej i dane z tego zakresu przedstawiają tabele 3.3 i 3.4.

W liczbowym ujęciu reklamacji i z ich podziałem na klientów wynika, że klient B był w każdym okresie badawczym niezadowolony z jakości słodu. Jego niezadowolenie kształtowało się następująco: w pierwszym roku odnotowano dwie reklamacje, w drugim roku jedną, a w ostatnim okresie badawczym także dwie. Zareklamowany sód podlegał przeklasyfikowaniu lub zwrotowi.

Tabela 3.3 Wykaz rocznych liczb reklamacji złożonych przez klientów w latach badań 2011 - 2014

Rok	Liczba reklamacji mieszanek słodu z powodu braku zgodności ze specyfikacją [szt.]			
	SUMA	Klient A	Klient B	Klient C
2011 - 2012	5	3	2	
2012 - 2013	2	1	1	
2013 - 2014	3		2	1
Razem	10	4	5	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników analiz laboratoryjnych słodowni

Takie działania klienta negatywnie wpływają na wynik ekonomiczny działalności słodowni, jak również na wizerunek firmy. Zjawiska takie są więc niekorzystne i podkreślają znaczącą rolę poprawności realizacji procesu słodowania, szczególnie w przypadkach nieodpowiedniej jakości używanego do produkcji jęczmienia. Po wnikliwej obserwacji ww. przypadków następuje analiza historii procesu produkcji słodu, a uzyskane informacje są wykorzystywane w praktyce.

Kadra zarządzająca procesami technologicznymi potrzebuje jednak bardziej szczegółowych informacji dotyczących konkretnych przyczyn reklamacji (patrz tabela 3.4).

Stwierdzono, że w pierwszym okresie badawczym suma rodzajów wad (4 przyczyny) wynosiła 7, a w drugim roku badawczym 3 (3 przyczyny wad) oraz w trzecim roku 5 (4 przyczyny wad).

Tabela 3.4. Liczba zareklamowanych parametrów złożonych przez klientów podczas reklamacji w ujęciu rocznym z lat 2011 – 2014 w podziale na grupy tematyczne wad słodu

Rok badań	Opis reklamacji w grupach tematycznych wad słodu [szt.]							
	SUMA	Pleśń	Wilgotność	Ekstrakt wss	Ziarna szkliste	PUG	Kruchość	Pestycydy
2011 - 2012	7	2	3	1	1			
2012 - 2013	3		1		1	1		
2013 - 2014	5				1	1	2	1
Razem	15	2	4	1	3	2	2	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników analiz laboratoryjnych słodowni

Z analizy danych tej tabeli stwierdzamy, że w wyniku działań prowadzonych przez doktoranta całkowicie zostały zlikwidowane trzy przyczyny reklamacji (pleśń, wilgotność i ekstrakt w suchej substancji). Jedną z przyczyn reklamacji - ziarna szkliste - występuje we wszystkich okresach badawczych. Wspomniana wada generowana jest przeważnie przez sam jęczmień i problem ten jest trudny do usunięcia. Ziarna szkliste mogą być także spowodowane przez niewłaściwe postępowanie technologiczne w czasie procesu suszenia słodu.

W trzecim okresie badawczym wśród przyczyn pojawiły się dwie nowe (kruchość oraz pestycydy). W dalszym doskonaleniu jakości słodu należy zwrócić szczególną uwagę na proces technologiczny i na maszyny i urządzenia, dzięki którym mogą być zlikwidowane te przyczyny reklamacji. Wada kruchość i PUG (częściowo zmodyfikowane ziarno) powstają w procesie słodowania, najczęściej podczas kiełkowania jęczmienia. Przyczyną powstawania wymienionych wad może być mała dokładność doboru nastaw technologicznych. Jeśli chodzi o pestycydy, pochodzą one głównie z nawozu (podczas nawożenia gleby) oraz z oprysków jęczmienia, który jest realizowany w trakcie przechowywania ziarna w silosach. W celu jej likwidacji, słodownie zawierają zapisy w umowach zakupu jęczmienia mówiące o zakazie stosowania takich środków podczas upraw oraz w trakcie magazynowania jęczmienia.

4. UWARUNKOWANIA PRODUKCJI JAKOŚCIOWEGO SŁODU JĘCZMIENNEGO

4.1. PRZEZNACZENIE SŁODU JĘCZMIENNEGO

Przemysł browarniczy produkuje piwo, które jest popularnym napojem niskoalkoholowym. W ramach tej branży działają dwa nierozłączne przemysły - słodowniczy i piwowarski. Pierwszy z nich produkuje słód zbożowy, który jest podstawowym surowcem dla drugiego z nich, czyli dla przemysłu piwowarskiego.

Przemysł browarniczy jest jedną z najstarszych dziedzin przetwórstwa jaką opanował człowiek. Piwo wywodzi się z prastarego gospodarstwa domowego i zaczęto je wytwarzać prawdopodobnie w tym samym czasie co chleb. Produkcja piwa jest znana od kilku tysięcy lat. Pierwsze oficjalne wzmianki o jego produkcji są zawarte w Kodeksie Hammurabiego, który obowiązywał w królestwie Babilońskim w XVIII wieku p.n.e. Zawarto w nim wiele paragrafów dotyczących piwa, które świadczą o tym, że było ono artykułem powszechnego użytku, a jego wyszynk był koncesjonowany. Intensywny rozwój branży browarniczej zanotowano w XVIII wieku, głównie dzięki zastosowaniu pasteryzacji piwa i rozwojowi badań nad drożdżami [37; 65; 72]. W ostatnich latach obserwuje się kolejny burzliwy wzrost produkcji oraz konsumpcji piwa. Na całym świecie branża browarnicza jest jedną z najszybciej rozwijającą się gałęzią przemysłu i mającą w dodatku jeszcze wielkie prognozy na przyszłość.

Piwo jest niskoalkoholowym napojem nasyconym w sposób naturalny dwutlenkiem węgla. Do jego wyprodukowania trzeba użyć słodu zbożowego, wody, chmielu oraz drożdży piwowarskich. Jakość piwa uzależniona jest od jakości tychże surowców. Piwo składa się z około: 90% wody, 1,5 - 6% alkoholu, 4 - 9% ekstraktu i z około 0,4% CO₂. Natomiast ekstrakt zawiera najwięcej węglowodanów, a następnie białka i jego produktów rozpadu. Wzajemny stosunek ilościowy powyższych składników w ekstrakcie ma istotny wpływ na charakter smakowy piwa [4; 19; 52].

Zboża są dla piwa bardzo ważnym składnikiem, głównie z powodu zawartości w nich cukru oraz białka. Składniki te umożliwiają przeprowadzenie procesu fermentacji, który jest konieczny dla uzyskania piwa. Słód ma także wpływ na smak, nasycenie, gęstość i kolor piwa. Jęczmień, ryż, żyto, pszenica, owies, sorgo, kukurydza i orkisz to niektóre z gatunków zbóż stosowanych obecnie w browarnictwie.

Niemniej jednak, mówiąc o zbożach używanych do produkcji piwa zazwyczaj mamy na myśli jęczmień browarny. Jest on znany z wartości odżywczych i odporności na pleśń, niskiej zawartości tłuszczu i białka oraz zawiera łatwą do wyekstrahowania skrobię. Kolejną zaletą jęczmienia jest specyficzna łuska bardzo dobrze chroniąca energię kiełkowania i polepszająca

filtrację brzezki powstałej w procesie warzenia piwa. Jęczmień nadaje piwu czystego, świeżego i delikatnego słodowego charakteru. Jest on obecnie uprawiany w ponad stu krajach, przede wszystkim na półkuli północnej, między 45 a 55 stopniem szerokości geograficznej [63; 72].

W słodownictwie rozróżniamy około 20 typów i kilkadziesiąt różnorodnych gatunków sładów, które są dostosowane do poszczególnego typu i gatunku piwa oraz do innych celów przetwórczych. Różnią się one między sobą cechami organoleptycznymi: barwą, smakiem, wyglądem, zapachem oraz składem chemicznym. Pod względem barwy rozróżnia się zazwyczaj sład jasny i sład ciemny. Ze względu na przeznaczenie, słody dzielimy na typowe i specjalne. Do sładów typowych zaliczamy sład typu pilzneńskiego (jasny), monachijskiego (ciemny), wiedeńskiego i dortmundzkiego. Do sładów specjalnych należą natomiast: sład pszenny, karmelowy, barwiący, dekstrynowy, kawowy, diastatyczny, gorzelniczy oraz słody do produkcji drożdży i octu, odżywek, cukrów i przetworów chemiczno-farmaceutycznych. Pierwsze cztery typy sładów specjalnych stosowane są w produkcji browarniczej.

Jednym z najbardziej popularnych sładów jest sład typu pilzneńskiego, który jest sładem jasnym, stosowanym wyłącznie do produkcji piwa. Sład ten jest szczególnie używany do produkcji piw jasnych. Otrzymuje się go głównie z jęczmienia browarnego jarego dwurzędowego o niskiej lub średniej zawartości białka. Jęczmień używany do produkcji sładów powinien być czysty, bez domieszek innych zbóż i ziaren spleśniałych, szkodników zbożowo-mącznych, kielków oraz pyłu. Wymagana jest barwa jednolita i jasnożółta, o wyglądzie zdrowego ziarna jęczmienia browarnego, bez przyciemnionych końców. Sład pilzneński charakteryzuje się lekko aromatycznym zapachem i słodkawym, przyjemnym posmakiem, bez wyczuwalnych obcych smaków (kwaśnego lub gorzkiego) [52; 76].

4.2. WYMAGANIA JAKOŚCIOWE STAWIANE SUROWCOWI DO PRODUKCJI SŁODU JĘCZMIENNEGO

Aby sprostać wymaganiom Klienta kupującego sład jęczmienny, konieczne jest wprowadzenie wymagań, które będą stawiane surowcom kupowanym do wyprodukowania sładów. Zazwyczaj kontrakty na zakup sładów są zawierane jesienią na następny rok, gdyż wówczas jest czas na zakontraktowanie właściwej ilości i gatunków jęczmienia jakie są potrzebne do wyprodukowania zamówionego sładów. W tym samym czasie ustalane są wymagania jakościowe dla planowanych zakupów jęczmienia.

Jęczmień browarny klasyfikuje się w zależności od jego:

- odmiany,
- wilgotności,
- gęstości w stanie zasypowym,
- energii kiełkowania,

- zdolności kiełkowania,
- zawartości białka ogólnego,
- wyrównania ziaren,
- zawartości zanieczyszczeń.

Głównie wyróżnia się następujące typy jęczmienia browarnego:

- dwurzędowy jęczmień jary,
- dwurzędowy jęczmień ozimy,
- sześciorzędowy jęczmień jary,
- sześciorzędowy jęczmień ozimy [27; 52].

Najbardziej rozpowszechniony jest jęczmień dwurzędowy jary. Ma on cienką łuskę i zawiera dużą ilość skrobi, co zapewnia wysoką wydajność słodu. Jęczmień dwurzędowy ma wszystkie ziarna wyrównane pod względem wielkości, o kształcie wydłużonym lub barylkwatym. Drugim, najczęściej stosowanym, jest jęczmień dwurzędowy ozimy, który jest wysiewany już jesienią.

Każdy zakład skupujący jęczmień posiada laboratorium, w którym jest zobowiązany dokonywać jego odbioru i oceny w oparciu o obowiązujące zakładowe wymagania jakościowe. Przy odbiorze jęczmienia, jeszcze przed wyładunkiem u odbiorcy, wstępnie określa się jego zapach, stopień uszkodzenia ziaren przez szkodniki zbożowe oraz wilgotność. Dalszej oceny jakości na podstawie pobranych prób dokonuje się laboratoryjnie.

Badania laboratoryjne jęczmienia dzielą się na trzy podstawowe fazy:

- ocena wstępna jakości ziarna,
- badanie stanu fizjologicznego,
- określenie składu chemicznego [93].

Ocena wstępna jakości ziarna jęczmienia obejmuje:

- wyrównanie ziarna pod względem wielkości - ziarnem wyrównanym nazywamy ziarno o jednakowej wielkości. Wyrównanie ziarna jęczmienia pod względem wielkości ma w procesie słodowania duże znaczenie. Ziarno niejednolite niejednakowo nasiąka wodą i nierówno kiełkuje, wskutek czego otrzymuje się niejednolity sód. Ziarna drobne i chude szybko nasiągają wodą, podczas gdy ziarna duże i pełne wymagają dłuższego okresu moczenia. W efekcie powstają straty ekstraktu słodu i trudność w uzyskaniu właściwego czasu scukrzenia. Badanie wyrównania ziarna ma także poważne znaczenie ekonomiczne, ponieważ określa stan zanieczyszczenia jęczmienia, co w słodowni znacznie rzutuje na koszty produkcji,
- stopień zanieczyszczenia - zanieczyszczeniem jęczmienia nazywamy obecność w partii ziarna odpadków powstałych przy młóceniu, jak na przykład: kawałki słomy, kłosa, plewy, ości oraz ziarna obce takie jak: groch, kąkol, kukurydza, a nawet piasek, żwir, itp. Obecność zanieczyszczeń jest niepożądana, gdyż obniża wartość użytkową jęczmienia i muszą one zostać oddzielone w specjalnych maszynach

- czyszczących. Przy oczyszczaniu jęczmienia powstają straty na ciężarze i tym samym podwyższa się koszt jęczmienia oczyszczonego,
- c) badanie przekroju bielma pozwalające określić w sposób ogólny mączystość i pośrednio wysokobiałkowość ziarna. Przekrój ziarna jęczmienia wykazuje ilość ziaren mączystych i szklistych. Ziarna szkliste charakteryzują się zgrubiałymi błonami komórkowymi i dowodzą nadmiernego nawożenia gleby związkami azotowymi, a tym samym są wysokobiałkowe. Dopuszczalną szklistość określa odbiorca słodu. Wskaźnik szklistości mówi o wartości technologicznej, gdyż ziarna wysokobiałkowe z trudem ulegają procesom cytolitycznym w czasie słodowania, dając w efekcie słabe rozluźnienie skrobiowe obniżające tym samym jakość słodu [4; 7].

Badanie laboratoryjne stanu fizjologicznego ziarna jęczmienia jest wykonywane dla określenia:

- energii kiełkowania jako wskaźnik potencjału witalnego jęczmienia. Energia kiełkowania jest to wyrażona w procentach liczba ziaren skiełkowanych po 72 godzinach w warunkach ustalonych metodami Schönfelda, Aubry'ego lub piaskową,
- zdolności kiełkowania jako miernik żywotności ziarna jęczmienia. Zdolność kiełkowania określa stosunek liczby ziaren skiełkowanych po 120 godzinach do ziaren poddanych kiełkowaniu wyżej wymienionymi metodami, względnie określonymi za pomocą roztworów preparatów dających charakterystyczne reakcje barwne w obecności czynnych enzymów, obecnych w procesach oksydoredukcyjnych zachodzących w zarodku jęczmienia [6; 52].

Określenie składu chemicznego badanego ziarna jęczmienia obejmuje:

- oznaczenie wilgotności ziarna. Dokładne laboratoryjne ustalenie zawartości wody w ziarnie jest niezbędne do oznaczeń ekstraktu i białka, dokonuje się go przy użyciu specjalnego młynka i suszarki.
- oznaczenie ekstraktywności. Wskaźnik ekstraktywności jęczmienia jest to liczba określająca ilość ekstraktu, którą można uzyskać ze słodu wyprodukowanego z jęczmienia w optymalnych warunkach technologicznych. Wydajność ekstraktu z jęczmienia zależy od warunków uprawy i klimatycznych w okresie wegetacji, a także od właściwości odmianowych. Stwierdzono korelację ekstraktywności z zawartością białka oraz ciężaru ziarna.
- oznaczenie białka. Białko jest jednym ze wskaźników, które w sposób istotny decydują o przydatności jęczmienia do przerobu na sód. Zawartość białka w jęczmieniu związana jest z odmianą, jednak zmiany klimatyczne w okresie wegetacji i sposób uprawy wywierają także silny wpływ na kształtowanie się tego wskaźnika. Prawidłowy układ poszczególnych frakcji substancji białkowych zapewnia dostateczną ilość składników odżywczych dla drożdży w brzeczce, daje właściwą stabilność koloidalną piwa, a także pozwala otrzymać należytą

pienistość piwa. W zależności od zawartości ilości białka w jęczmieniu ustawia się odpowiednio proces technologiczny słodowania jęczmienia - moczenie i kiełkowanie.

- oznaczenie łuski. Im wyższa zawartość łuski w jęczmieniu, tym mniejsza jego ekstraktywność. Od jęczmienia browarnego wymaga się delikatnej i cienkiej łuski, a tym samym o ogólnej niskiej zawartości, gdyż substancje impregnujące łuskę nadają piwu niekorzystny smak i barwę [19; 27].

Do najczęściej spotykanych **wad ziarna jęczmienia** mających ujemny wpływ na wyniki słodowania należą [19; 52; 63]:

- słaba energia i zdolność kiełkowania. Jęczmień może wykazywać słabą energię i zdolność kiełkowania wskutek niesprzyjających warunków atmosferycznych, w czasie dojrzewania i żniw oraz wadliwego przechowywania w spichlerzach. Bardzo niebezpieczne dla ziarna są opady na jęczmień zżęty leżący na pokosach. Jęczmień zwieszony w stanie wilgotnym również traci na energii i zdolności kiełkowania. Z jęczmienia nierówno kiełkującego nie otrzyma się nigdy dobrego, jednolitego słodu. Podczas gdy jedno ziarno ma już w pełni wyrosnięty kielek liścieniowy lub nawet tzw. „huzary”, inne zaledwie kiełkują. Tak otrzymany sód nie daje dużej ilości ekstraktu, gdyż w jednych ziarnach występują duże straty wskutek nadmiernego liścienia, w drugich działalność pewnych składników ziarna zwanych enzymami, które przemieniają mączystą część ziarna tak, że staje się ona łatwo rozcierana (np. w palcach), nie jest jeszcze tak silna, aby przeprowadzić odpowiednie zmiany w ziarnie. Sód otrzymany z jęczmienia źle kiełkującego ma przeważnie dłuższy czas scukrzenia, a ponadto wykazuje zwykle stęchły zapach, który w następstwie udziela się piwu. Czasem scukrzenia nazywamy czasem, w którym enzymy znajdujące się w słodzie zamieniają skrobię w cukier,
- trwała szklistość ziarna. Ziarna jęczmienia o szklistości trwałej namakają w zamaczalnikach bardzo powoli i nawet po dłuższym czasie moczenia nie osiągają pożądanego stopnia namoczenia. Także w trakcie procesu kiełkowania w skrzyniach, ziarna szkliste kiełkują późno, a liścienie w nich rosną bardzo powoli. Ziarna takie po wykiełkowaniu są mało rozluźnione, co wpływa zdecydowanie na obniżenie ekstraktu w słodzie, a przede wszystkim przedłuża czas scukrzenia. Sód z jęczmienia trwale szklatego wykazuje gorszą jakość i jest powodem zmniejszenia wydajności browarów,
- niejednorodność ziarna jęczmienia pod względem odmianowym i wielkości. Ziarna niejednakowej wielkości (niejednolite) nierówno namakają. Takiej sytuacji należy unikać. Jednocześnie wiadomo, że ziarna o jednakowej wielkości (np. otrzymane z czyszczarki z jednego sita) i jednakowo moczone, mimo zachowania prawidłowości w produkcji, nierówno kiełkują. Ma to miejsce wtedy, gdy ziarna te

pochodzą z różnych odmian jęczmienia browarnianego. Ziarna z różnych odmian jęczmienia nie mogą być mieszane w partii produkcyjnej, gdyż każda z odmian ma inne właściwości i powoduje to, że określonych warunkach będzie zachowywać się odmiennie,

- stęchły zapach i obecność pleśni. Jęczmień stęchły ma niższą zdolność kiełkowania, co uniemożliwia wyprodukowanie właściwej jakości słodu. Stęchłego zapachu jęczmienia, pomimo stosowania wapna do zamaczalników, nie da się w całości usunąć podczas produkcji i ostatecznie zapach ten przechodzi do słodu. Ponieważ przyczyną zatechnięcia ziarna jest niewłaściwe przechowywanie jęczmienia o zbyt wysokiej wilgotności (w podwyższonej temperaturze bez dostępu powietrza), zatechnięciu towarzyszy często częściowe zapleśnienie ziarna oraz przyciemnienie łuski. Tych wad nie da się usunąć, a wpływają one bardzo niekorzystnie na wygląd zewnętrzny wyprodukowanego słodu,
- uszkodzenia mechaniczne ziaren, a zwłaszcza zarodka. Przyczyną uszkodzeń ziarna są zbyt wczesne omloty, kiedy ziarno nie jest jeszcze dostatecznie wysuszone i dojrzałe. Uszkodzenie ziaren ma również miejsce podczas doczyszczania. Uszkodzenia są tym większe, im więcej ziarno jest czyszczone. Uszkodzeniu ulega przeważnie sam zarodek ziarna. Ziarna posiadające uszkodzony zarodek kiełkują bardzo powoli lub nie kiełkują wcale. Ziarna, które wykiełkowały, np. gdy liścienie wyrosły do $\frac{1}{4}$ lub $\frac{1}{2}$ długości ziarna, a tym bardziej ziarna nie kiełkujące w ogóle, nie osiągają wewnętrznego rozluźnienia, które jest koniecznym warunkiem dla otrzymania dobrego słodu. Rozluźnienie wnętrza ziarna następuje podczas kiełkowania jęczmienia w wyniku zniszczenia pewnych części wnętrza ziarna przez specjalny enzym. Ponadto, wskutek oddychania część skrobi ulega zużyciu, co również ma wpływ na rozluźnienie wnętrza ziarna. Jęczmień źle kiełkujący daje słód o niskim ekstrakcie, długim czasie scukrzenia i słabym rozluźnieniu. Są to bardzo poważne wady słodu, które następnie wpływają ujemnie na przebieg produkcji piwa [19; 52; 93].

Bazą dla ustaleń jakościowych przyjmowanego jęczmienia jest Polska Norma (PN-R-74109: 1997 roku), która precyzyjnie opisuje wymagania organoleptyczne i fizykochemiczne dla jęczmienia przeznaczonego na słód do produkcji piwa. Należy pamiętać także o normie określającej metody badań stosowane do określenia jakości jęczmienia browarnego (PN-R-74110: 1998) dla oznaczania między innymi: wilgotności, wyrównania ziarna, zanieczyszczeń, energii i zdolności kiełkowania, szkodników, itd.

W tabeli 4.1 zamieszczono wykaz wymagań jakościowych dla jęczmienia browarnego wraz z podaniem numeru Polskiej Normy według której powinno to być badane.

Tabela 4.1. Wykaz wymagań fizykochemicznych jęczmienia browarnego wraz z numerem Polskiej Normy

Lp.	Cechy	Numer Polskiej Normy
1	Zapach	PN - R - 74013
2	Wilgotność, % (m/m), nie więcej niż	PN - 90 A - 74009
3	Wyrównanie, % (m/m), nie mniej niż	PN - R - 74110
4	Zanieczyszczenia, % (m/m), nie więcej niż. W tym:	PN - R - 74110
	ziarna innych zbóż	
	ziarna porośnięte i spleśniałe	
	nasiona szkodliwe i/lub toksyczne	
	materiał obcy nieorganiczny	
	sporysz	
	ziarna uszkodzone przez szkodniki zbożowo - mączne	
	żywe lub martwe szkodniki zbożowo - mączne	
5	Energia kiełkowania E_I , %, nie mniej niż	PN - R - 74110
6	Zdolność kiełkowania E_{II} , %, nie mniej niż	PN - R - 74110
7	Zawartość białka, % suchej masy, nie więcej niż	PN - 75/A - 04018
8	Zawartość ziaren jednej odmiany browarnych, % (m/m), nie mniej niż	PN - R - 65950
9	Zawartość ziaren odmian browarnych, % (m/m), nie mniej niż	PN - R - 65950
10	Zawartość ziaren ozimych w jęczmieniu jarym, % (m/m), nie więcej niż	PN - R - 65950

Źródło: opracowanie własne na podstawie Polskiej Normy PN – R - 74013

Natomiast tabela 4.2 przedstawia wartości liczbowe wymagań jakościowych jęczmienia browarnego dla I, II i III klasy jakości.

Informacje podane w obu tabelach mogą być podstawą do zawierania obustronnych umów handlowych pomiędzy producentami jęczmienia browarnego a słodowniami produkującymi słód jęczmienny. W przypadkach spornych, zapisy Polskiej Normy są podstawą do wykonania analiz kontrolnych reklamowanej dostawy jęczmienia browarnego.

Tabela 4.2. Wykaz wartości wymagań fizykochemicznych jęczmienia browarnego dla trzech klas jakości

Lp.	Cechy	PN - A - 79082:1997		
		I klasa	II klasa	III klasa
1	Zapach	swoisty, magazynowy; zapach stęchły lub obcy niedopuszczalny		
2	Wilgotność, % (m/m), nie więcej niż	15	15	16
3	Wyrównanie, % (m/m), nie mniej niż	90	85	75
4	Zanieczyszczenia, % (m/m), nie więcej niż. W tym:	3	6	9
	ziarna innych zbóż	0,5	1	1
	ziarna porośnięte i spleśniałe	0,5	1	1
	nasiona szkodliwe i/lub toksyczne	0,3	0,3	0,3
	materiał obcy nieorganiczny	0,3	0,3	0,3
	sporysz	niedopuszczalny		
	ziarna uszkodzone przez szkodniki zbożowo – mączne	niedopuszczalne		
żywe lub martwe szkodniki zbożowo – mączne	niedopuszczalne			
5	Energia kiełkowania E _I , %, nie mniej niż	95	90	90
6	Zdolność kiełkowania E _{II} , %, nie mniej niż	95	95	95
7	Zawartość białka, % suchej masy, nie więcej niż	11,5	12	12,5
8	Zawartość ziaren jednej odmiany browarnych, % (m/m), nie mniej niż	95	75	75
9	Zawartość ziaren odmian browarnych, % (m/m), nie mniej niż	75	75	30
10	Zawartość ziaren ozimych w jęczmieniu jarym, % (m/m), nie więcej niż	2		

Źródło: opracowanie własne na podstawie Polskiej Normy PN – A – 79082:1997

4.3. PORTFEL TECHNOLOGII PRODUKCJI SŁODU JĘCZMIENNEGO

Względem słodu jęczmiennego browary stawiają określone wymagania, które są stałe we wszystkich porach roku. Jęczmień, produkt wyjściowy do

produkcji słodu, jest wytworem natury i podlega prawom przyrody. Przenosząc to na proces produkcyjny słodu ziarno jęczmienia w zależności od pory roku różnie reaguje na nawilżanie, kiełkowanie i późniejsze suszenie.

Zadaniem technologa jest jednak takie prowadzenie procesów, aby uzyskiwać sład jęczmienny o wymaganej stałej jakości w ciągu całego roku. Wymusza to taką organizację produkcji, która musi się dostosować do zmiennych warunków klimatycznych jęczmienia [52; 61].

Słodem browarnianym nazywamy skiełkowane ziarno jęczmienne, wysuszone i pozbawione kielków (korzonków występujących na zewnątrz), które jest podstawowym surowcem do produkcji piwa. Zawiera on związki białkowe, tłuszczowe, dekstryny i cukry oraz substancje, m.in. enzymy amylolityczne, proteolityczne i cytolityczne.

Słodowaniem zaś nazywamy sztuczny proces kiełkowania ziarna, który wiąże się z oszukaniem zboża, że nadchodzi wiosna, i nakłonieniem go do wykiełkowania. Ciepłą pogodę zastępuje się zanurzeniem zboża w ciepłej wodzie, aż rozpocznie się proces kiełkowania. Celem kiełkowania jest nagromadzenie w ziarnie enzymów, a zwłaszcza diastazy oraz spowodowanie przemian struktury i składu chemicznego ziarna. Otrzymany produkt kiełkowania w stanie naturalnym i świeżym zwie się sładem mokrym (lub zielonym), a po wysuszeniu sładem suchym.

Proces słodowania jest wyjątkowym procesem, gdyż odbywa się w sposób ciągły i nie może być przerwany z uwagi na niekorzystne zmiany biochemiczne mogące wystąpić w kiełkującym ziarnie jęczmienia. Produkcja słodu jest procesem specjalnym, to znaczy nie ma 100 % powtarzalności wyników w tych samych warunkach wytwarzania. Właśnie dlatego, istniejące punkty pomiaru przebiegu procesu słodowania powinny dostarczać takich wyników, które zagwarantują zmianę procesów technologicznych w wymaganym kierunku. Zawsze trzeba korygować na bieżąco proces technologiczny na podstawie bieżących pomiarów reprezentatywnych parametrów [6; 19; 93].

Sład jęczmienny jest wymagającym produktem, a wyraża się to bezwzględną koniecznością uzyskania słodu o odpowiedniej jakości za pierwszym razem. Sład niezgodny z wymaganiami nie może być skorygowany żadnym innym późniejszym procesem technologicznym, może być tylko przeklasyfikowany. W słodowniach, na ogół, stosuje się odmiany ziarna jęczmienia, które są łatwe w słodowaniu. Sterowanie produkcją słodu opiera się na założeniu, że ziarno jęczmienia podczas słodowania zachowa się tak jak sobie tego życzymy. Z tego względu maszyny i urządzenia muszą dostosować się do charakterystyki ziarna jęczmienia. Muszą być one sprawne, aby można było je z dowolnym obciążeniem wykorzystywać podczas procesu słodowania jęczmienia. Zazwyczaj produkcja słodu odbywa się w systemie potokowym i dlatego sprawność maszyn i urządzeń technologicznych jest gwarantem ciągłości produkcji.

Raz namoczone ziarno musi przejść cały proces słodowania i musi być zakończone procesem suszenia słodu w zaplanowanym czasie. Po

zakończeniu cyklu suszenia, sód ma przeważnie około 4% wilgotności i może już być przechowywany w silosach przez wiele miesięcy, bez większych zagrożeń dla jego jakości [52; 19].

Dużym istotnym niebezpieczeństwem podczas produkcji siodu jest także fakt, że nie można zatrzymać rozpoczętego procesu kieikowania ziarna jęczmienia. Możliwe jest tylko jego nieznaczne wydłużenie w czasie. Każda zaistniała usterka maszyn i urządzeń przyczynia się do wydłużenia założonego czasu trwania procesu technologicznego i jest potencjalnym zagrożeniem dla uzyskania wymaganej jakości produkowanego siodu. Gdy maszyny i urządzenia technologiczne są sprawne, wówczas realizujemy proces technologiczny. Jeżeli nie są sprawne to wstrzymujemy lub ograniczamy produkcję.

Ziarno jęczmienia browarnego jest żywym organizmem, w którym zachodzą skomplikowane procesy chemiczne. Ziarno oddycha i jest narażone na działanie szkodliwych drobnoustrojów. W pewnych warunkach składniki ziarna ulegają rozkładowi. Wszystkie te procesy chemiczne są zależne od temperatury i wilgotności - im są one wyższe tym procesy są bardziej energiczne.

Wszelkie procesy chemiczne zachodzące w trakcie siodowania jęczmienia, nie mogłyby zaistnieć, gdyby nie było w wystarczającej ilości koniecznych enzymów. Do najważniejszych **enzymów** mających zasadnicze znaczenie w procesie produkcji siodu należy przede wszystkim zaliczyć: cytazę, amylazę (diastazę) i enzymy proteolityczne (rozszczepiające białko).

Enzymy są to substancje organiczne wytwarzane przez organizmy żywe roślinne i zwierzęce. Zasadnicze znaczenie i rola enzymów polega na tym, że przyspieszają one niektóre procesy chemiczne, które bez ich współdziałania przebiegają bardzo powoli, przy czym czynny enzym ani się nie zużywa, ani też nie ulega zmianom. Skrobię i cukry zalicza się do węglowodanów. Rozpuszczalność cukrów jest na ogół dobra. Skrobia natomiast jest w wodzie nierozpuszczalna. Skrobia jednak może ulec rozpuszczeniu, a następnie scukrzeniu (przemianie w cukier) przez działanie na nią w określonych warunkach enzymu diastazy. Scukrzenie można również przeprowadzić za pomocą kwasów. Przez działanie diastazy na skrobię, oprócz cukru, powstaje, zależnie od warunków, pewna ilość dekstryn. W piwowarstwie cukry oraz dekstryny mają duże znaczenie, gdyż są one głównym składnikiem ekstraktu brzeczki piwnej, który w czasie fermentacji w znacznym stopniu bywa przerabiany na alkohol i kwas węglowy [52; 93].

Zadaniem **enzymu cytazy** jest rozpuszczenie otoczki (błonki) komórek ziarna zawierających skrobię. W ten sposób, inne enzymy, których zadaniem jest ułatwienie przemian zachodzących w skrobi, a dla których otoczka z komórek jest nieprzenikliwa, mają możliwość bezpośredniego zetknięcia się ze skrobią.

Przy siodowaniu dąży się do wytworzenia w ziarnie jęczmienia **enzymu diastazy**, który jest niezbędny dla przetworzenia skrobi zawartej w ziarnie w rozpuszczalny i nadający się do fermentacji cukier siodowy (maltozę) oraz jest on konieczny do spulchnienia ziarna. Spulchnienie to następuje wskutek

rozpadu białka oraz innych substancji złożonych na bardziej proste. Przy kiełkowaniu ziarna w ziemi, silnie rozwija się część łodygowa zarodka, co zwiększa zużycie skrobi w ziarnie. Przy słodowaniu nie pozwalamy na rozwój części łodygowej zarodka ponad $\frac{3}{4}$ długości ziarna, gdyż dążymy do skiełkowania ziarna z najmniejszymi stratami skrobi, która jest cenną substancją dla otrzymania wysokogatunkowego słodu.

Rolą **enzymów proteolitycznych** jest spowodowanie rozpadu u ciał białkowych ziarna jęczmienia o złożonej cząsteczce na związki o prostszej budowie. Powstaje w ten sposób białko rozpuszczalne. Te przemiany białka wykorzystywane są w procesie warzenia piwa. Brzeczka piwna wzbogacona w odpowiednie rozpuszczalne składniki białkowe pochodzące ze słodu nadaje piwu pianistość, pełność smaku i podnosi jego wartość odżywczą. Od jakości rozpadu białka zależy dobra jakość słodu oraz trwałość piwa [6; 7; 60].

Kolejne ważne ograniczenie w produkcji słodu wiąże się z tym, że podczas tego typu produkcji mamy w słodowniach do czynienia z dużą zmiennością obciążeń technologicznych wynikających głównie z rodzaju używanego jęczmienia oraz zależny od warunków pogodowych [4; 63; 76].

Proces produkcji słodu obejmuje następujące zabiegi technologiczne:

- czyszczenie jęczmienia (wstępne i szczegółowe),
- zamaczanie jęczmienia,
- kiełkowanie namoczonego jęczmienia,
- suszenie zielonego słodu,
- odkiełkowanie i czyszczenie suchego słodu [4; 27; 93].

Czyszczenie jęczmienia. Bezpośrednio po dostawie ziarna do zakładu odbywa się jego czyszczenie wstępne i szczegółowe. Czyszczenie i sortowanie ziarna odbywa się na wialniach, tryjerach oraz, coraz rzadziej, na sortownikach. W efekcie otrzymujemy całe ziarna o tym samym żądanym wymiarze, które są pozbawione pyłu, kamieni, ziaren drobnych (pośląd) i połówek ziarna.

Zamaczanie jęczmienia odbywa się w kadziach zamaczalnikowych stalowych lub betonowych, kształtu okrągłego lub prostokątnego, z dnem stożkowym lub płaskim. U dołu kadzi znajduje się otwór do wyładunku namoczonego ziarna oraz zawory do przedmuchiwania powietrza i spuszczenia wody. Przyspieszenie nasiąkania wodą, a także i kiełkowania ziarna, uzyskuje się przez należyte jego napowietrzanie. Na rysunku 4.1 została przedstawiona zamaczalnia z widocznymi okrągłymi kadziami wraz z maszynami oraz urządzeniami technologicznymi, które mają za zadanie podanie i wyjęcie z nich jęczmienia.



Rys. 4.1. Zamaczalnia wraz z maszynami i urządzeniami realizującymi proces zamaczania jęczmienia

Źródło: M. Forecki – Folder słodowni

Podczas zamaczania ziarna woda jest dostarczana wewnątrz ziarna, co powoduje wzrost aktywności enzymów umożliwiając tym samym start procesów kiełkowania jęczmienia. Wzrasta zapotrzebowanie na tlen wskutek żywienia procesu oddychania samego ziarna. Podczas zamaczania jęczmień musi pobrać wodę z dodatkowym tlenem i musi się oczyścić. Między wodami jęczmień musi być zraszany i odsysany CO_2 . Około 90% konsumpcji wody podczas procesu słodowania jęczmienia przypada na proces zamaczania, który w rezultacie podnosi jego wilgotność z 12 - 13% do 43 - 46%.

Generalną zasadą moczenia jest zapewnienie wszystkim ziarnom jednakowych warunków wchłaniania wody, zbliżonych do naturalnych występujących w glebie. Ziarno zaczyna kiełkować już przy wilgotności 30% oraz optymalnym dostępie powietrza i odsysaniu CO_2 . Szybkość wchłaniania wody zależy od wielu czynników, takich jak :czas moczenia, temperatura wody, grubość ziaren, zawartość białka, ilość tlenu oraz stopień uszkodzenia ziaren. Temperatura wody zastosowanej do moczenia ziarna wpływa na szybkość jej wchłaniania. Im jest ona wyższa, tym czas krótszy. Optymalna temperatura wody to 13°C . Niekorzystna jest woda zbyt twarda i zawierająca dużo żelaza [8; 52].

Kiełkowanie jęczmienia jest to proces biologiczny, w czasie którego zarodek ziarna znajdujący się w stanie embrionalnym zaczyna się rozwijać kosztem materiałów zapasowych bielma. W tym celu, namoczony jęczmień transportuje się z zamaczalników do pomieszczenia o umiarkowanej temperaturze, gdzie poddawany jest systematycznemu przewracaniu oraz przewietrzaniu. Kiełkowanie namoczonego jęczmienia odbywa się przeważnie w okrężnych bębnach (system Gallanda) lub prostokątnych pomieszczeniach (system Saladina). Należy nadmienić, że system Gallanda jest systemem

o małej wydajności (ok. 20 t/ bęben), a więc wysokimi kosztami produkcji. Tylko kilka słodowni na świecie stosuje ten system. Powszechniejsze są prostokątne skrzynie do kiełkowania ziarna. Mogą one być w dwóch wersjach - z przewracaczami (system Saladina) lub z tzw. wędrującą grzędą (system Lausmanna).

Od kilkunastu lat rozpowszechniły się słodownie budowane jako kolistą wieża. Na każdym piętrze wieży realizowany jest inny etap procesu słodowania. Na najwyższym jest pierwszy i drugi dzień namaczania, potem kolejne dni kiełkowania i na końcu proces suszenia. Ziarno leży na sitach i jest przewracane przez spirale. Na koniec cyklu poziomy przenośnik ślimakowy transportuje ziarno do specjalnego centrum, które jest ulokowane w osi okrągłego pomieszczenia. Następnie ziarno spada grawitacyjnie na kolejny niższy poziom. Wydajność takiego systemu sięga do 600 ton słodu na cykl.

Warunkami zapewniającymi prawidłowy przebieg słodowania jest utrzymywanie właściwej wilgotności kiełkującego ziarna, odpowiednich temperatur w poszczególnych okresach kiełkowania oraz wystarczające natlenienie kiełkującego ziarna. Są to warunki niezbędne do prawidłowego procesu kiełkowania. Co pewien czas, kiełkujące ziarno jest przewracane w celu wyrównania wilgotności i temperatury, przewietrzania i odprowadzenia gromadzącego się dwutlenku węgla, wydzielanego podczas oddychania kiełkującego ziarna oraz niedopuszczenia do spleśnienia kiełkującego ziarna.

Rysunek 4.2 przedstawia skrzynię Saladina w układzie prostokątnym.



Rys. 4.2. Skrzynia Saladina wraz z maszynami i urządzeniami realizującymi proces kiełkowania jęczmienia

Źródło: M. Forecki – Folder słodowni

Podczas kiełkowania zachodzą bardzo ważne zmiany biochemiczne, wśród których wyróżnić można dwa zasadnicze okresy - tworzenie się enzymów i działanie wytworzonych enzymów (rozluźnienie skrobi, rozkład białka, tłuszcz i związki fosforowe) [7; 63].

Niezależnie od tego jaki system jest używany, takie same parametry muszą być utrzymywane podczas wykonywanego procesu kiełkowania jęczmienia:

- dwa razy dziennie przewracane ziarno,
- wilgotność ziarna utrzymywana na poziomie około 45% dzięki systemowi zraszania zimną wodą,
- ciągle dostarczanie tlenu i odprowadzanie CO₂ z wyraźnym osłabieniem w ostatnim dniu kiełkowania, o min. 20%,
- utrzymywanie temperatury ziarna ze słabym tempem wzrostu do maksymalnej wartości 17-18°C.

Względy technologiczne i ekonomiczne nakazują prowadzić proces słodowania powoli, z ograniczeniem nadmiernej intensyfikacji przemian biochemicznych i zwróceniem szczególnej uwagi na ich równomierność w całej partii.

Namoczone ziarno układa się w skrzyniach wykonanych ze zbrojonego betonu na metalowym sicie. Przestrzeń pod sitem służy do przepływu klimatyzowanego powietrza. Powietrze może być pobierane bezpośrednio z zewnątrz, mieszane z zawracanym powietrzem z nad ziarna lub wyłącznie powietrzem znad ziarna. Do zmiany kierunku przepływu służą klapy recykulacji. Pomieszczenia, w których znajdują się skrzynie Saladina wyposażone są w chłodnice powietrza. Wentylatory klimatyzacji zasysają powietrze z zewnątrz, które przechodzi przez chłodnicę powietrza i jest kierowane do kiełkującego jęczmienia [52; 61].

Warunki prawidłowego kiełkowania ziarna jęczmienia to:

- odpowiednia temperatura: powinna ona wzrastać równomiernie, począwszy od pierwszego do ostatniego dnia kiełkowania, nie więcej niż 1°C na dobę. Maksymalna temperatura powinna być utrzymana na jednakowym poziomie w każdej partii tego samego jęczmienia. Gwarantuje to utrzymanie stałego poziomu jakości słoðu,
- stopień namoczenia: wilgotność ziarna również powinna być utrzymywana na stałym poziomie przez cały okres kiełkowania,
- obecność tlenu: zależy od częstotliwości i intensywności przewietrzania ziarna. Regulacja dopływu powietrza powoduje odpowiednie odprowadzanie dwutlenku węgla. W początkowej fazie kiełkowania, natlenianie powinno być większe, W ostatnich dwóch dniach kiełkowania dopuszcza się większą zawartość CO₂ w powietrzu co spowalnia procesy oddychania i zmniejsza straty suchej masy.

Proces kiełkowania w warunkach słodowni jest podobny do początkowej fazy rozwoju ziarna jaki zachodzi w ziemi. W pierwszym stadium kiełkowania, do rozwoju zarodka niezbędna jest energia powstająca w wyniku enzymatycznego rozkładu substancji zapasowych nagromadzonych w ziarnie. Część produktów rozkładu ziarno zużywa do budowy nowych tkanek, część zaś wykorzystuje w procesie oddychania, niezbędnym do prowadzenia przemian biochemicznych. Niska temperatura procesu kiełkowania tj. 14 ÷ 18°C sprzyja syntezie enzymów, a szybkość reakcji enzymatycznych jest mała. Oznaką

przemian życiowych w ziarnie jest rozwój kielka korzonkowego, który przebija podstawę ziarna i daje się zauważyć jako tzw. oczko. Rozwój kielka korzonkowego jak i liścieniowego powinien być ograniczony do niezbędnego minimum.

Proces kiełkowania jest procesem egzotermicznym. Ziarno w określonych odstępach czasowych jest zraszane wodą, aby nie utraciło wilgotności uzyskanej w procesie namaczania [4; 10; 76].

Suszenie słodu jest jednym z najważniejszych procesów w browarnictwie, ponieważ od sposobu prowadzenia procesu suszenia w znacznym stopniu zależne są właściwości nie tylko słodu, lecz także uwarzonego z niego piwa.

Na rysunku 4.3 widać suszarnię słodu wraz z maszyną za- i wyładowniczą podczas załadunku kolejnej grzędy zielonego słodu.



Rys. 4.3. Suszarnia słodu wraz z maszyną za- i wyładowniczą podczas załadunku kolejnej partii produkcyjnej

Źródło: M. Forecki – Folder słodowni

Proces kiełkowania ziarna jest gwałtownie przerwany przez suszenie aby powstrzymać dalszą transformację i straty. Mokry sólód, produkt uzyskany przez kiełkowanie jęczmienia, jest nietrwały i ulega szybkiemu zepsuciu. Aby sólód uczynić zdatnym do dłuższego przechowywania, trzeba pozbawić go znacznych ilości wody (maksymalnie do 5%), czyli wysuszyć. Dalszym celem suszenia jest pozbawienie go smaku i zapachu mokrego słodu oraz spowodowanie zmian fizyko-chemicznych, dzięki którym uzyskuje się odpowiedni aromat i barwę. Proces suszenia wydatnie zmniejsza siłę enzymatyczną słodu, przede wszystkim zaś jego siłę diastatyczną [19; 52].

Najważniejszymi przemianami zachodzącymi w procesie suszenia słodu są: obniżenie wilgotności, tworzenie związków melanoidynowych, aromatycznych, denaturacja białek oraz osłabienie kompleksu enzymatycznego.

Szybkość tych przemian zależy od następujących parametrów:

- a) temperatury suszenia,
- b) wilgotności słodu,
- c) czasu trwania procesu.

Proces suszenia słodu możemy podzielić na dwie fazy :

- fazę suszenia wstępnego (wiednięcia),
- fazę prażenia (dosuszanie) [4; 27; 63].

Faza suszenia wstępnego obejmuje okres redukcji zawartości wody w suszonym słodzie do poniżej 10%, zaś temperatura nie powinna przekroczyć $45 \div 50^{\circ}\text{C}$. W fazie tej, w dalszym ciągu zachodzi proces rozwoju korzonka, oddychania i rozluźnienia enzymatycznego. Intensywność oddychania oraz rozwoju korzonka maleje wraz ze wzrostem temperatury i spadkiem wilgotności. Regulując dopływem świeżego powietrza do suszonego słodu można w pewnym zakresie regulować powstawanie cukrów prostych oraz aminokwasów, a tym samym wpływać na zmianę barwy słodu. W tej fazie suszenia należy zwracać szczególną uwagę na łagodny i równomierny wzrost temperatury słodu, który powinien być odpowiedni do spadku zawartości wody w słodzie. Pod koniec fazy suszenia występuje ograniczenie i zanik funkcji życiowych zarodka oraz ograniczenie przemian enzymatycznych.

Faza prażenia (dosuszanie) obejmuje okres spadku wilgotności od 10% do około 5% końcowej zawartości wody w słodzie. Temperatura w tej fazie wzrasta do temperatury maksymalnej, a jej wartość zależy od gatunku produkowanego słodu. Dla słodu jasnego waha się w przedziale od 80 do 85°C .

W fazie prażenia zachodzą następujące zjawiska:

- zanikają prawie zupełnie funkcje życiowe zarodka ziarna jęczmienia. Miarą prawidłowego przebiegu suszenia słodu jasnego jest jego wysoka siła enzymatyczna przy prawie zerowej liczbie ziaren zdolnych do kiełkowania,
- przemiany enzymatyczne pod koniec fazy prażenia ulegają całkowitemu ograniczeniu. Część enzymów ulega większej lub mniejszej inaktywacji, głównie amylaza, endopeptydazy i glukanazy (nawet do 60%),
- tworzą się związki barwne (melanoidy) wpływające na barwę, aromat i smak słodu.

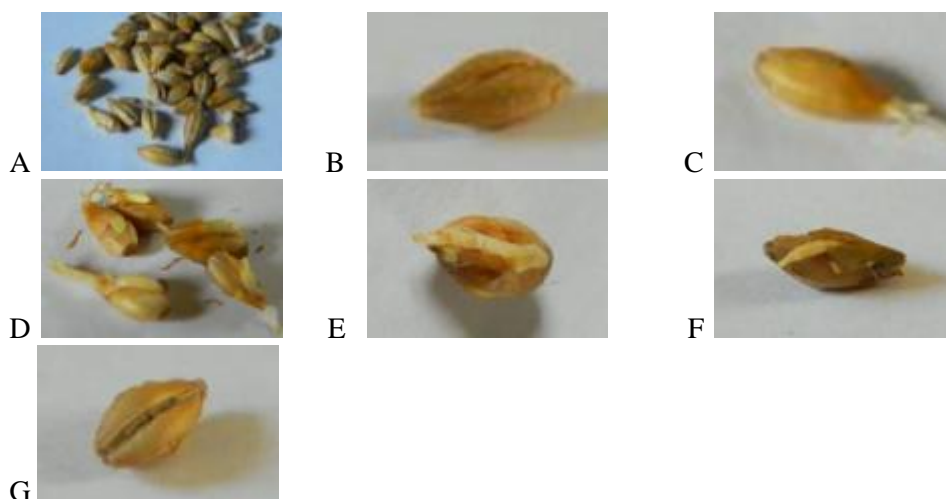
Sterowanie procesem suszenia polega przede wszystkim na kontroli kształtowania się temperatur i kontroli wilgotności w czasie suszenia. Czynnikiem warunkującym właściwy przebieg procesu suszenia jest równomierność temperatury na całej powierzchni siatki oraz sprawnie działające ciągi powietrza. Zasadniczym elementem prawidłowego suszenia jest odwadnianie słodu. W suszarni, przez regulowanie szybkości suszenia i wysokości temperatury otrzymuje się odpowiedni gatunek słodu. Kiełki po wysuszeniu dają się łatwo usunąć.

Spotykane są dwa rodzaje rozwiązań konstrukcyjnych suszarni:

- suszenie bezpośrednio gazami spalinowymi, dymowymi lub koksowniczymi,
- suszenie powietrzne.

Współcześnie, bardziej rozpowszechnione są suszarnie powietrzne, w których gazy spalinowe służą do ogrzania powietrza przez ściany wymiennika. Suszenie dokonuje się na specjalnych stalowych sitach ułożonych na konstrukcji stalowej [19; 52].

Rysunek 4.4 przedstawia ziarna jęczmienia, zielonego słodu oraz słodu podczas kolejnych etapów produkcji: od skupu jęczmienia, poprzez proces słodowania aż do wysyłki gotowego słodu dla klienta.



Rys. 4.4. Ziarna jęczmienia oraz słodu w różnych etapach procesu technologicznego zakładu

Źródło: badania własne

Legenda: A - przyjęcie jęczmienia – przed czyszczeniem i segregacją; B - jęczmień po czyszczeniu – zamoczek; C - jęczmień podczas wymoczkowania na skrzynię Saladina; D - jęczmień po 3 dniach kiełkowania; E - jęczmień po 5 dniach kiełkowania – zielony sól; F - sól po suszeniu; G - sól po czyszczeniu (polerowaniu) – przed wysyłką do klienta

Odkiełkowanie i czyszczenie suchego słodu

Po wysuszeniu, sól wyładowywany jest z suszarni i przetransportowany do silosów, pozbywając się po drodze kielków słodowych podczas odkiełkowania wysuszonego słodu. Odkiełkowanie jest procesem niezbędnym, ponieważ kielki zawierają duże ilości białka, łatwo wchłaniają wodę, posiadają gorzki smak oraz wpływają negatywnie na barwę piwa. Odbywa się to w urządzeniu zwanym odkiełkownicą, składającą się z sitowego cylindra oraz spiralnie ustawionych łopatek. Obracające się łopatki powodują wzajemne ocieranie się ziaren oraz przesuwanie się wzdłuż cylindra w stronę wylotu. Sól musi leżakować

(sezonować) w zbiornikach magazynowych ze względów technologicznych, ponieważ do zacierania należy stosować sład po 4 do 6 tygodniach dojrzewania. Zastosowanie świeżego słodu może powodować trudności w czasie filtrowania brzezki, ponieważ w czasie mielenia słodu powstaje zbyt dużo mąki i drobnej śruty, ponadto brzezka niezbyt dobrze ulega procesowi fermentacji, piwo zaś trudno klaruje, a trwałość produktu ulega skróceniu.

Czyszczenie słodu wykonywane jest z użyciem czyszczarek z sitami o oczkach podłużnych, które są zazwyczaj o szerokości ok. 2 mm. Operacja ta jest przeprowadzana podczas transportu słodu do silosu wysyłkowego. Ma ona na celu przygotowanie dla klienta słodu pozbawionego pyłu i drobnych frakcji oraz selekcji wielkości słodu powyżej 2 mm [6; 61; 63].

Powyższe czynności technologiczne, które przeprowadzane są w słodowni, ulegają modyfikacji w zależności od rodzaju używanego surowca, urządzeń technologicznych i typu produkowanego słodu.

4.4. PARAMETRY SŁODU JĘCZMIENNEGO DECYDUJĄCE O JEGO JAKOŚCI I METODYKI JEJ KONTROLI

Ocenę jakościową sładów jęczmiennych przeprowadza się na podstawie obowiązujących przepisów analitycznych ustalonych przez Polski Komitet Normalizacyjny w Warszawie. Ostatnia ogłoszona Polska Norma (PN-A-79082:1997 z 11 lutego 1997 roku) precyzuje jakim wymaganiom organoleptycznym i fizykochemicznym powinny odpowiadać słody: pilzneńskie, monachijskie, karmelowe i barwiące. Norma ta obowiązuje podczas produkcji i obrotu sładem na terenie kraju. Należy dodać, że norma ta zawiera parametry jakościowe wraz z podaniem obowiązujących metod badań, które są precyzyjnie określone w innej Polskiej Normie, oznaczonej symbolem PN-A-79083-1 ze stycznia 1998 roku. Obie, wyżej wymienione Polskie Normy, zawierają zapisy, które są rekomendowane przez Europejską Konwencję Piwowarską (EBC) i Środkowoeuropejski Analityczny Komitet Piwowarski (MEBAK). Niemniej jednak, wartości poszczególnych parametrów słodu każdy kraj dostosowuje do swoich potrzeb i możliwości technicznych zakładów produkcyjnych.

Polska Norma dotycząca słodu browarnego (PN-A-79082) zawiera wymagania jakościowe w ujęciu:

- ogólnym, pod nazwą cech organoleptycznych, takich jak: wygląd, barwa, zapach i smak,
- szczegółowym, pod nazwą cech fizykochemicznych, do których zaliczamy między innymi: wilgotność słodu, wydajność ekstraktu, stopień rozluźnienia, stopień zanieczyszczenia, czas scukrzenia, barwa brzezki, barwa po gotowaniu i klarowność.

Znaczenie technologiczne niektórych cech jakościowych słodu przedstawiono poniżej [4; 63]:

- stopień zanieczyszczeń ziarna słodu ogółem jest wskaźnikiem przeważnie ekonomicznym i uprzedza piwowara co do wydajności w procesie warzenia, a także wskazuje na kierunek postępowania technologicznego przy zwiększonym zapyleniu lub zanieczyszczeniu nasionami innych roślin,
- kruchość ziarna o niskiej wartości może powodować trudności w klarowaniu brzezki, może też utrudniać filtrację. Parametr ten oznacza się za pomocą specjalnego przyrządu friabilimetru,
- wilgotność słodu jest wskaźnikiem wybitnie ekonomicznym, który informuje piwowara co do możliwości uzyskania wydajności warzelnii oraz sposobu magazynowania. Wilgotność słodu w okolicy 4% skutecznie zapewnia trwałość ziarna, a zbyt niska zwiększa udział połamanych ziaren. Wilgotny sód stwarza możliwość wznowienia działalności enzymów; ponadto, słody takie tracą aromat oraz są bardziej narażone na rozwój pleśni,
- wydajność ekstraktu w mące mówi piwowarom o sposobie prowadzonego procesu słodowania, czyli o intensywności oddychania i o ewentualnym skróconym cyklu słodowania. Proporcjonalnie do zawartości ekstraktu układa się wydajność warzelnii. Cecha ta jest więc także miernikiem ekonomicznym. Wyraża się on w sumie ekstraktywnych substancji, które przeszły do roztworu podczas zacierania konwencjonalnego (infuzyjnego). Ekstraktywność słodu uzależniona jest od jakości użytego ziarna. Na podstawie ekstraktywności oblicza się wydajność warzelnii i ustala się wielkość zasypu słodu do kotła warzelnego. Sód jest tym lepszy, im wyższa jest jego ekstraktywność,
- lepkość słodu jest także sprawdzianem stopnia rozluźnienia słodu. Wykazuje ona współzależność od zawartości ekstraktu i odmiany jęczmienia. Przypisuje się jej związek z pienistością piwa. Wyższe wartości lepkości informują piwowara o niedostatecznym rozkładzie ścian komórkowych ziarna słodu, co może powodować trudności w czasie filtracji brzezki (etap produkcji piwa),
- czas scukrzenia, podobnie jak rozluźnienie, zawiera informacje o potencjale enzymatycznym i mówi piwowarowi, jakie stosować zacieranie słodu. Jest obrazem prawidłowego ustawienia procesu słodowania. Czas scukrzenia jest to czas potrzebny na zhydrolizowanie całej zawartej w słodzie skrobi do cukrów. Czas scukrzenia zależy od stopnia rozluźnienia skrobi i od zawartości aktywnych amylaz. Słody źle rozluźnione, suszone w wysokich temperaturach źle się scukrzają,
- barwa brzezki ma charakter informacyjny pod względem technologicznym, gdyż mówi o jakości prowadzonego procesu suszenia słodu, tj. odprowadzania wilgoci. Jest ona wskaźnikiem stopnia rozluźnienia i składu chemicznego słodu oraz pozwala przewidzieć kształtowanie się barwy piwa,

- barwa po gotowaniu - na jej podstawie można wnioskować o barwie gotowego piwa. Nie zawsze jednak to się potwierdza,
- pH brzeczki ma istotny wpływ na pienistość piwa (niska wartość pH wpływa korzystniej), a także na czas scukrzenia i barwę brzeczki; ogólna zawartość białka w słodzie ma znaczenie dla wydajności ekstraktu oraz zmętnienia piwa (im wyższa wartość białka, tym gorzej). Ma ona także wpływ na zawartość skrobi (niska zawartość białka odpowiada wysokiej zawartości skrobi),
- liczba Kolbacha oznacza stosunek azotu w brzeczce laboratoryjnej z mąki, czyli azotu rozpuszczalnego do ogólnej zawartości azotu w słodzie. Jest to wskaźnik modyfikacji proteolitycznej słodu, który mówi nam o procencie przechodzenia związków azotowych ze słodu do brzeczki kongresowej,
- zawartość azotu rozpuszczalnego jest to ilość azotu, która przechodzi do roztworu w czasie sporządzania brzeczki kongresowej. Liczba Hartonga HV 45°C informuje o zasobności enzymów amylolitycznych i o właściwym stopniu rozluźnienia białkowego. Dobry sód charakteryzuje się liczbą Hartonga HV45 w zakresie od 37 do 41%,
- siła diastatyczna mierzona wg Windisch-Kolbacha wskazuje na zawartość beta-amylazy, tj. enzymu odbudowującego skrobię rozpuszczalną do maltozy. Jej uaktywnienie następuje pod działaniem enzymów proteolitycznych, stąd też siła diastatyczna jest również miernikiem ogólnego potencjału enzymatycznego. Wyraża się ona w gramach maltozy powstałej przez działanie amylaz ze 100g słodu. Aktywność enzymatyczna oznacza zdolność do przeprowadzania przemian skrobi w cukry proste. Aktywność ta może być zahamowana między innymi przez wysoką temperaturę podczas prażenia słodu,
- FAN (zawartość wolnego azotu aminowego) - istotny parametr wskazujący ilość wolnego azotu aminokwasowego, który może być dostępny dla drożdży podczas fermentacji,
- barwa i charakter przekroju ziaren słodu informują między innymi o sposobie suszenia słodu. Wysoka szklistość słodu może się wiązać z dużą zawartością białka, niższą ekstraktywnością, słabszym rozluźnieniem i skłonnością do wywoływania zmętnień w piwie,
- stopień rozluźnienia słodu - jest to stopień zmiany struktury bielma i rozpadu wielkocząsteczkowych związków organicznych na związki prostsze. Parametr ten ma więc duże znaczenie technologiczne i mówi o potencjale enzymatycznym słodu. Słody o nadmiernym rozluźnieniu dają piwo o smaku pustym i słabej pienistości. Znajomość tego parametru pozwala na dobór metody zacierania lub umiarkowanego stosowania domieszki surowca słabiej rozluźnionego. Rozluźnienie słodu to różnica w ekstrakcie przemiału na mąkę i ekstraktu uzyskanego w brzeczce sporządzonej ze śruty,

- zawartość ziaren szklistych oznacza się przecinając ziarna wzdłuż. Ziaren całkowicie szklistych nie powinno być więcej niż 2%, a mącznych powinno być przynajmniej 95% [27; 52; 60].

Wymagania międzynarodowe zapisane jako EBC 18th STANDARD MALT zostały ogłoszone w listopadzie 2011 roku i są obowiązujące do dzisiaj. Powyższe wymagania jakościowe są badane zgodnie ze ściśle określonymi metodami opisanymi w Polskiej Normie lub podanymi przez EBC.

Tabela 4.3. Przykładowe wymagania jakościowe dla słodu browarnego pilzneńskiego wg PN i standardów EBC

Lp.	Cechy	PN - A - 79082:1997	EBC 18 th STANDARD MALT	
		I klasa	wartość	± tolerancja
1	Zanieczyszczenia ogółem, % (m/m) nie więcej niż; w tym ziaren spleśniałych, % (m/m), nie więcej niż	1,0 i 0,3		
2	Kruchość, % (m/m), nie mniej niż	75	88,5	1,17
3	Wilgotność, % (m/m), nie więcej niż	4,5	4,3	0,23
4	Zawartość ekstraktu w przeliczeniu na suchą substancję słodu, % (m/m), nie mniej niż	79,5	81,8	0,47
5	Lepkość brzezki laboratoryjnej, mPa*s, nie więcej niż	1,67	1,49	0,034
6	Czas scukrzania, min., nie dłużej niż	15		
7	Barwa brzezki laboratoryjnej, w [EBC], nie więcej niż	3,5	3,5	0,68
8	Barwa brzezki laboratoryjnej po gotowaniu, w jednostkach EBC, nie więcej niż	6	4,9	0,7
9	pH brzezki laboratoryjnej, nie więcej niż	5,9	5,97	0,074
10	Ogólna zawartość białka w suchej substancji słodu, % (m/m), nie więcej niż	11,3		
11	Liczba Kolbacha, % (m/m),	od 35 do 45	39	1,6
12	Zawartość azotu rozpuszczalnego w suchej substancji słodu, mg/100g	od 630 do 800	736	29,5
13	Siła diastatyczna, w [WK], nie mniej niż	240	304	30,9
14	FAN, mg/l		137	14,7
15	Ziarna szkliste %		0,4	0,34
16	Całkowity Beta glukan, mg/l		178	53,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie norm: PN-A-79082:1997 i EBC 18th STANDARD MALT

W tabeli 4.3 przedstawiono przykładowe wymagania jakościowe dla słodu browarnego pilzneńskiego wg PN i standardów EBC, które najczęściej używane są podczas obrotu tymże sładem. Dla porównania zestawiono wymagania dla dwóch klas sładów - krajowych i międzynarodowy wraz z wielkością tolerancji.

Należy nadmienić, że, podczas transakcji handlowych, zarówno sprzedający jak i kupujący mogą stosować dowolną liczbę wymagań jakościowych słodu oraz dowolne obustronnie ustalone ich wartości. Z reguły operuje się tymi wymaganiami, które są istotne z punktu widzenia technologii i możliwości technicznych kupującego sład, czyli zakładów piwowskich. Z drugiej strony, słodownia sprzedająca sład opracowuje swoją własną normę zakładową w taki sposób, aby spełniła ona wymagania wszystkich potencjalnych klientów oraz była dostosowana do posiadanej bazy surowcowej.

Wymagania jakościowe słodu narzucają w sposób zdecydowany wymagania jakościowe dla kontraktowanego jęczmienia browarnego i z tego powodu, w każdym roku, po zbiorach jęczmienia, konieczna jest rewizja zawartych umów w celu ich uaktualnienia pod względem nowych wymagań jakościowych słodu browarnego (określonych przez klientów słodowni).

Określone normą cechy jakościowe poszczególnych typów słodu spełniają dla browarów rolę wskaźników technologicznych. Technolog warzelnii (dział browaru) na podstawie otrzymanych wyników analiz słodu układa proces technologiczny zacierania i warzenia brzezki (pierwszych etapów produkcji piwa) [52; 61; 63].

4.5. ZMIENNOŚĆ OBCIĄŻEŃ TECHNOLOGICZNYCH WYSTĘPUJĄCA PODCZAS PRODUKCJI SŁODU

W każdym przedsiębiorstwie występuje sytuacja zmienności obciążeń technologicznych parku maszynowego, która jest zawsze inna. Znajomość charakteru tej zmienności jest warunkiem koniecznym dla zaplanowania skutecznego systemu eksploatacji maszyn i urządzeń technologicznych zakładu.

Podczas produkcji słodu bardzo ważne jest dotrzymanie reżimu czasowego procesu słodowania, ściśle określonego w harmonogramie produkcji, ponieważ gwarantuje on uzyskanie słodu o wymaganym poziomie jakości. Z uwagi na występowanie, podczas procesu słodowania, wielu czynników powodujących zmianę czasów trwania poszczególnych jego etapów, mamy wówczas do czynienia z sytuacją powodującą dużą zmienność obciążeń technologicznych. Obciążenia te głównie skutkują tym, że maszyny i urządzenia biorące udział w procesie słodowania, muszą być w stanie zdatności technicznej pomimo częstej zmienności długości trwania czasów przeznaczonych na wykonanie koniecznych czynności w podsystemie obsługiwanym [28; 52; 63].

Znajomość możliwych zmienności obciążeń technologicznych, a zarazem wykazy koniecznych czynności obsługowych umożliwia opracowanie skutecznego systemu eksploatacji posiadanych maszyn i urządzeń. Zaletą takiego podejścia jest to, że realizowany jest system, który jest precyzyjnie

dopasowany do sytuacji występujących w konkretnym zakładzie. Jest to tym bardziej istotne, ponieważ, zgodnie z praktyką eksploatacji obiektów technicznych przemysłu spożywczego, przerwy technologiczne są często przeznaczone na wykonanie wszelakich czynności obsługowych służb utrzymania ruchu zakładu.

Obciążenie technologiczne maszyn i urządzeń przemysłu słodowniczego nie jest stałe w ciągu roku i zmienia się w zależności od wielu czynników, głównie poprzez zmianę następujących parametrów [4; 76]:

- wymagań klientów odnośnie jakości słodu,
- jakości zakupionego jęczmienia,
- rodzaju ziarna jęczmienia,
- wielkości zamówień,
- wielkości partii produkcyjnej ,
- pory roku, w której trwa proces słodowania (lato, zima),
- wilgotności powietrza zewnętrznego,
- liczby będących w dyspozycji maszyn i urządzeń.

W przemyśle słodowniczym zmienność obciążeń technologicznych najbardziej istotna jest podczas samego procesu słodowania, czyli: zamaczania, kielkowania oraz suszenia jęczmienia, i to właśnie na ten obszar należy zwrócić swoją uwagę. Skup, sortowanie i magazynowanie jęczmienia oraz sortowanie, magazynowanie i wysyłka gotowego słodu w mniejszym stopniu wpływają na powstanie istotnej zmienności obciążeń [63; 93].

Wymagania klientów, jakość i rodzaj zakupionego surowca powodują, że często zmieniają się programy technologiczne dla poszczególnych etapów procesu słodowania. Istotą tych programów jest utrzymanie zadanej temperatury w założonym czasie trwania procesów, co niesie za sobą występowanie zmiennych przerw pomiędzy kolejnymi partiami produkcyjnymi.

Pora roku, a także wilgotność powietrza zewnętrznego, mają również duży wpływ na czas trwania poszczególnych etapów produkcji słodu. Zmienne te są najbardziej przewidywalne i powtarzające się najczęściej, ze wszystkich wcześniej wymienionych. Doświadczenia z lat minionych skutkują lepszym dopasowaniem się z systemem eksploatacji maszyn i urządzeń do nadchodzących pór roku. Z kolei wysoka wilgotność powietrza zewnętrznego w znaczący sposób ma wpływ na wydłużenie trwania cyklu suszenia słodu oraz na ciągłą pracę instalacji chłodniczej obsługującej kielkujący jęczmień w skrzyniach Saladina [52].

Zmienna liczba maszyn i urządzeń znajdujących się w stanie zdadności technicznej jest sytuacją normalną, jeśli nie decydujemy się na postój całego zakładu, a chcemy tylko część z nich wyłączyć z ruchu. Sytuacje takie prowadzą do maksymalnego obciążenia używanego parku maszynowego, zwłaszcza wtedy, kiedy chcemy także znacząco nie zmniejszać wielkości produkcji. Przerwy technologiczne pomiędzy kolejnymi partiami produkcyjnymi są wyjątkowo krótkie i tylko w przypadku istotnych czynności eksploatacyjnych ulegają one wydłużeniu. Przy dobrej komunikacji pomiędzy

służbami technicznymi a produkcyjnymi zakładu, istnieje możliwość wypracowania takiego systemu eksploatacji maszyn i urządzeń, który z pozytywnym skutkiem zapewni utrzymanie tempa produkcji w takich przypadkach [15; 46; 74].

W poszczególnych latach występuje znaczne zróżnicowanie w nasileniu liczby wspomnianych zdarzeń powodujących wystąpienie zmienności obciążeń technologicznych, i dlatego właśnie badanie tych zmiennych jest istotne dla utrzymania zdolności technicznej maszyn i urządzeń zakładu. Coraz krótsze okresy trwania przerw przeznaczonych na wykonanie wymaganych czynności eksploatacyjnych obiektów technicznych śłodowni powodują rosnące zainteresowanie diagnostyką techniczną.

Wdrożenie działań diagnostycznych w systemie utrzymania ruchu śłodowni pozwala na zaplanowanie koniecznych napraw obiektów technicznych w momentach wystąpienia naturalnych, dłuższych przerw technologicznych między partiami produkcyjnymi, a tym samym osłabia ujemny wpływ zmienności obciążeń technologicznych na funkcjonowanie zakładowego systemu eksploatacji parku maszynowego [4; 24; 32].

5. METODY DIAGNOZOWANIA MASZYN I URZĄDZEŃ STOSOWANYCH DO PRODUKCJI SŁODU

5.1. CHARAKTERYSTYKA I WYKORZYSTANIE TERMOWIZJI W BADANIACH

Badania intensywności zjawisk cieplnych towarzyszących pracy maszyn oraz urządzeń dawno zostały uznane jako bardzo przydatne dla oceny poprawności ich działania. Analiza obrazów termalnych jest bogatym źródłem informacji o stanie technicznym maszyn i urządzeń, jakości wykonania oraz montażu par kinematycznych stanowiących obciążenie cieplne korpusów. Staje się ona także źródłem informacji o cechach maszyn i urządzeń, od których zależą ich funkcje użytkowe.

Termowizja służy głównie do pomiaru temperatury i wizualizacji rozkładu temperatury badanych obiektów. Każdy obiekt o temperaturze powyżej zera bezwzględnego (-273°C) emituje promieniowanie elektromagnetyczne, które możemy odczuć. Im wyższa temperatura obiektu, tym więcej energii będzie on emitował. Wartość wypromieniowanej energii rośnie ze wzrostem temperatury obiektu [68; 96; 99].

Termowizja to w rzeczywistości potoczna nazwa termografii, czyli dziedziny techniki zajmującej się detekcją i rejestracją, a ostatecznie przetwarzaniem i wizualizacją niewidzialnego promieniowania podczerwonego, emitowanego przez badane obiekty podczas ich normalnej pracy. Technologia termowizji stała się jednym z najcenniejszych narzędzi diagnostycznych dla przemysłowych zastosowań. Przykłady zastosowań przemysłowych kamery termowizyjnej są następujące:

- kontrola linii wysokiego napięcia,
- wszelkie instalacje niskiego i średniego napięcia,
- transformatory i szafy elektryczne,
- podejrzone łożyska i rolki przenośników,
- przegrzany silnik elektryczny,
- uszkodzenie izolacji.

Niewidzialne dla oka nieprawidłowości w działaniu maszyn i urządzeń zostają ujawnione przez termowizję. Umożliwia ona wprowadzenie działań korygujących zanim wydarzy się kosztowna awaria. Termografia umożliwia bowiem określanie w zupełnie bezpieczny sposób stanu różnych elementów, bez potrzeby wyłączania z ruchu maszyn i urządzeń. Wynika to z faktu, że, praktycznie we wszystkich miejscach, gdzie występują uszkodzenia lub pojawiają się zmiany właściwości materiałów, temperatura tych lokalizacji także ulega zmianie (na ogół zwiększa się) [39; 62].

Zastosowanie termografii w badaniu wszelkich maszyn i urządzeń odbywa się przy użyciu kamery termowizyjnej, która dokonuje pomiarów oraz zobrazowania promieniowania podczerwonego pochodzącego z badanych obiektów. Kamera termowizyjna jest unikalnym narzędziem do zdecydowania

kiedy i gdzie przegląd jest konieczny, które elektryczne i mechaniczne instalacje dogłądać należy natychmiast, przed ich przewidywanym uszkodzeniem. Na skutek odkrycia kamerą termowizyjną owych gorących miejsc, działania prewencyjne mogą zostać podjęte bezzwłocznie. Pozwala to na uniknięcie kosztownych przerw w produkcji lub nawet większych zagrożeń, takich jak pożar lub katastrofa techniczna.

Kamera termowizyjna jest wiarygodnym bezkontaktowym instrumentem, który umożliwia szybko i dokładnie przebadanie oraz zrobić wizualizację temperatury wydzielanej przez powierzchnię maszyn lub urządzeń. Kamera termowizyjna skupia energię promieniowania poprzez układ optyczny zainstalowany na detektorze. Pozwala to, po przejściu przez układ elektroniczny, na uzyskanie wyniku pomiaru w formie termogramu. Obserwacja termograficzna zmian zachodzących w urządzeniach jest łatwa do zrealizowania, a otrzymane wyniki charakteryzują się wystarczającą dokładnością [38; 95].

Należy zwrócić uwagę, że podczas termowizji istnieje możliwość kontroli i porównywania jednocześnie nawet kilkudziesięciu połączeń z bardzo szybką identyfikacją połączeń wadliwych. Oprócz identyfikacji nieprawidłowych połączeń, możliwe jest określenie różnicy temperatury między elementami wadliwymi a pracującymi prawidłowo, czy też pomiędzy sąsiednimi fragmentami linii. Na podstawie odczytanej różnicy temperatur można wnioskować o dalszym postępowaniu z badanym elementem. Porównując temperaturę uszkodzonego miejsca z temperaturą obszarów sąsiednich można ocenić stopień uszkodzenia i przeprowadzić naprawę w odpowiednim czasie.

Jeśli będziemy wiedzieć, kiedy urządzenia są blisko awarii, możemy właściwie wybrać najlepszy czas do realizacji działań naprawczych. Niestety, najczęściej te najgorsze problemy pozostają niewidoczne do czasu, kiedy jest już za późno. Kamera termowizyjna jest zatem wspaniałym narzędziem dla przewidywania uszkodzeń, ponieważ robi niewidzialne widzialnym. Żadna prewencyjna technologia utrzymania ruchu nie jest tak efektywna jak kontrola obiektów technicznych kamerą termowizyjną [39; 66; 96].

Koszty przeprowadzania okresowych badań diagnostycznych są znacznie mniejsze od ewentualnych kosztów napraw instalacji, powstałych w wyniku awarii, których nie można było przewidzieć tradycyjnymi metodami pracy.

W ślodowni diagnostyka kamerą termowizyjną urządzeń energetycznych oraz istotnych odbiorników energii elektrycznej jest ważnym elementem systemu utrzymania maszyn i urządzeń z następujących powodów:

- istnieje duże ryzyko powstania i wybuchu pożaru z powodu występującego pyłu jęczmiennego i słodowego,
- produkcja słodu (słodowanie) odbywa się w ruchu potokowym i ciągłym,
- terminowy odbiór dostarczonego jęczmienia transportem samochodowym lub kolejowym,
- terminowa wysyłka zamówionego słodu do klientów (browarów),

- niezawodność dostaw wszelkich mediów, począwszy od prądu, wody, gazu ziemnego, sprężonego powietrza i czynników chłodniczych,
- niezawodność wysyłki powstających podczas słodowania ścieków, produktów ubocznych oraz odpadów produkcyjnych. W toku produkcji jest wiele ton ziarna jęczmienia, które przez cały czas kiełkuje. W przypadku braku możliwości jego przeladunku do następnego cyklu produkcyjnego, istnieje zagrożenie „zabetonowania mokrym ziarnem komór technologicznych” co może spowodować zamknięcie zakładu na wiele tygodni w celu usunięcia powstałej awarii,
- zapewnienie na stanowiskach pracy bezpieczeństwa na właściwym poziomie zgodnie z istniejącym systemem ISO i wymaganiami prawnymi,
- spełnienie wymagań prawnych w zakresie ochrony środowiska oraz zgodności z Pozwoleniem Zintegrowanym i Zintegrowanym Systemem ISO,
- utrzymanie właściwych standardów jakości produkowanego siodu zgodnie z systemem ISO,
- redukcja kosztów remontów maszyn i urządzeń, a także skutków usuwania powstałych awarii,
- niezbyt liczny personel działu utrzymania ruchu, który pracuje w systemie pracy ciągłej [17].

5.2. IDENTYFIKACJA ŹRÓDEŁ AWARII MASZYN I URZĄDZEŃ WSKUTEK BADAŃ WIBRODIAGNOSTYCZNYCH

Diagnostyka drganiowa umożliwia ocenę stanu dynamicznego maszyn i urządzeń za pomocą generowanych przez nie procesów drganiowych, poprzez jednoznaczne skojarzenie parametrów funkcjonalnych (cech stanów) ocenianego obiektu ze zbiorem miar i ocen generowanych procesów drganiowych (parametrów diagnostycznych). Wibracje, inaczej drgania mechaniczne, to drgania akustyczne o niskiej częstotliwości. Diagnostyka drganiowa przyjmuje założenie, że wszystkie maszyny i urządzenia wykonujące ruch obrotowy są narażone na występowanie drgań. W miarę postępującego uszkodzenia maszyn, energia drgań rośnie i informuje tym samym użytkownika o utracie przez maszynę zdolności technicznej.

Podstawą wibroakustycznej oceny stanu dynamicznego maszyn i urządzeń jest intensywność drgań. Za miarę intensywności drgań można przyjąć każdą wielkość charakteryzującą stan drganiowy: przemieszczenie drgań, prędkość drgań lub przyśpieszenie drgań. Procesy wibroakustyczne cechują się złożoną strukturą czasową, amplitudową i częstotliwościową, co zapewnia im dużą informacyjność oraz umożliwia ocenę stanu całej maszyny lub urządzenia, a także ich pojedynczych elementów i zespołów [43; 107].

Do najważniejszych celów wykonywania badań wibrodiagnostycznych można zaliczyć:

- ocena stanu dynamicznego poszczególnych układów,
- ocena zużycia eksploatacyjnego łożysk,
- lokalizacja luzów spowodowanych zużyciem mechanicznym,
- ocena współosiowości sprzęgieł,
- ocena wyważenia dynamicznego maszyn [5; 34].

Stosowanie wibrodiaгностиyki przynosi wiele korzyści dla użytkownika, do najbardziej istotnych należą:

- ograniczenie możliwości wystąpienia awarii,
- wypracowanie dobrze przystosowanej strategii naprawczej,
- mniejsze zapotrzebowanie i zużycie części zamiennych,
- redukcja kosztów napraw,
- obniżenie zużycia energii elektrycznej,
- zwiększenie bezpieczeństwa [21; 43].

Dla pełnego ujęcia diagnostyki drganiowej wszystkich rodzajów obiektów technicznych sformułowano w normach sposób wykonania badania. Przyjmuje się, że poniższy podział jest najbardziej reprezentatywny:

- szczytowe amplitudy przemieszczeń dla maszyn wolnoobrotowych,
- szczytowe amplitudy prędkości drgań dla ogółu maszyn i urządzeń,
- szczytowe amplitudy przyspieszeń dla przekładni zębatych i łożysk tocznych.

Przy częstotliwościach drgań poniżej 10Hz uszkodzenia są powodowane przez duże wychylenia i wówczas, w diagnostyce, dominujące jest przesunięcie. Zmęczenie materiału ma miejsce, kiedy częstotliwość drgań obiektu jest w zakresie od 10Hz do 2kHz. Dokonujemy wtedy pomiaru prędkości z jaką drga badany element maszyny lub urządzenia. Powyżej wartości 2 kHz zaleca się mierzyć przyspieszenie drgań obiektu technicznego.

Do najważniejszych powodów powstania drgań w obiektach technicznych należy zaliczyć powody konstrukcyjne, wytwórcze i eksploatacyjne. Przyczyny konstrukcyjne wynikają z istoty funkcjonowania obiektów technicznych oraz ich pojedynczych elementów. Istotny jest mechanizm przenoszenia obciążeń spowodowany zmienną liczbą elementów tocznych będących w przyporze oraz wskutek ruchomych elementów występujących w styku punktowym lub liniowym. Z kolei przyczyny wytwórcze powstają z powodu odchyłek kształtu, wymiaru oraz błędów produkcyjno-montażowych stosowanych części maszyn i urządzeń. Odchyłki kształtu i wymiaru mogą występować w szerokim zakresie od najmniejszych do największych, czyli od chropowatości poprzez falistość, błędy punktowe, a na biciu i luzach kończąc. Jeśli chodzi zaś o eksploatacyjne przyczyny drgań, mają one podłoże w występujących procesach zużycia ciernego i zmęczeniowego. Procesy te powiększają istniejące odchyłki kształtu i wymiaru elementów części maszyn i urządzeń, a także powodują powstawanie nowych błędów punktowych i powierzchniowych [53; 107].

Realizacja wibrodiaгностиyki informuje użytkownika maszyn i urządzeń o ich aktualnym stanie dynamicznym i technicznym oraz o występujących procesach zużyciowych. W zależności od zmierzonych częstotliwości drgań

mamy do czynienia z pojawianiem się różnych zjawisk wibrodiagnostycznych, począwszy od emisji akustycznej w mikroobszarach poprzez drgania w subobszarach i na drganiach objętościowych kończąc. Emisja akustyczna najszybciej informuje użytkownika obiektu technicznego o istniejącym problemie mającym miejsce wskutek kawitacji lub tarcia w parach kinematycznych. Natomiast drgania pojawiające się w subobszarach to kolejna grupa informacji wibrodiagnostycznej mówiąca o problemach występujących w łożyskach tocznych i przekładniach zębatych. Z kolei drgania objętościowe mają miejsce na krótko przed pojawieniem się awarii maszyn lub urządzeń. Informacje te odnoszą się do drgań zmierzonych na konstrukcjach nośnych i kadłubach maszyn oraz na wałach, wirnikach i łożyskach ślizgowych [21; 34].

Mechanizm powstawania awarii maszyn i urządzeń można opisać zmieniającymi się częstotliwościami drgań. Pierwotne oddziaływania ruchowe elementów maszyn i urządzeń są przyczyną zaistnienia emisji akustycznej, która z kolei powoduje mikro uszkodzenia zmęczeniowe. Podczas eksploatacji uszkodzenia te kumulują się i są powodem zaistnienia uszkodzeń pośrednich, a w ostateczności także uszkodzeń makro. Wskutek tych zdarzeń powiększa się dalej poziom pierwotnych oddziaływań dynamicznych, które w wyniku sprzężenia zwrotnego powodują wzrost poziomu mikro uszkodzeń. Jeżeli taki stan rzeczy nie zostanie przerwany poprzez rozpoczęcie naprawy uszkodzeń, może doprowadzić to do przyspieszenia zużycia i powstania awarii maszyny lub urządzenia.

Zgodnie z ideą diagnostyki drganiowej maszyn i urządzeń prostych, dla oceny ogólnego stanu technicznego należy mierzyć szczytowe wartości prędkości drgań, a dla lokalizacji uszkodzenia i oceny jego zaawansowania wskazane jest poddać analizie cząstkowe krzywe odpowiednich składowych widmowych [53; 107].

W zależności od zmierzonych wartości poziomu drgań obiektów technicznych i zgodnie z normami ISO dokonuje się zaklasyfikowania do jednej z czterech stref. W ten sposób, zgodnie z normą ISO 7919, mamy podział na cztery strefy opisane w następujący sposób:

- strefa A: stan dobry - obejmuje drgania nowych maszyn i urządzeń oddanych do eksploatacji,
- strefa B: stan dopuszczalny, który dotyczy wyższych wartości drgań, lecz maszyny oraz urządzenia mogą pracować bez ograniczeń,
- strefa C: stan dopuszczalny przejściowo - maszyny i urządzenia nie nadają się do pracy długotrwałej i wymagają natychmiastowego wdrożenia odpowiednich działań zapobiegawczych,
- strefa D: stan awaryjny - bardzo wysokie wartości drgań maszyny sygnalizują o konieczności wyłączenia jej z eksploatacji i natychmiastowego rozpoczęcia prac naprawczych dla uniknięcia prawdopodobnej awarii.

Natomiast druga norma, ISO 10816, dokonuje podziału obiektów technicznych na cztery grupy pod względem ich typu, mocy znamionowej oraz wzniosu osi wału:

- grupa I - obejmuje maszyny o mocy znamionowej powyżej 300 kW oraz prędkości obrotowej od 120 do 15 000 [obr/min],
- grupa II - to maszyny średniej mocy znamionowej z zakresu 15 do 300 kW,
- grupa III - zawiera pompy z wirnikami wielołopatkowymi oraz z oddzielnym napędem o mocy przekraczającej 15kW,
- grupa IV - są to pompy z wirnikami wielołopatkowymi i wbudowanym napędem o mocy powyżej 15kW.

5.3. BADANIA Z ZAKRESU JAKOŚCI OLEJÓW PRZEKŁADNIOWYCH

Gospodarka smarownicza odgrywa ważną rolę w systemach utrzymania ruchu każdego zakładu i ma bezpośredni związek z procesami tarcia występującymi w układach napędowych maszyn i urządzeń. Wszelkie zagadnienia naukowe i techniczne związane z tarcie, a także z procesami towarzyszącymi tarcu, są podstawą działania nowej dyscypliny nauki - tribologii. Nazwa ta funkcjonuje od 1964 roku i pochodzi od dwóch greckich słów *tribos* - tarcie i *logos* - nauka [9; 42].

Procesy tribologiczne występują powszechnie w przyrodzie i dzięki nim istnieją życie i ruch, mogą funkcjonować organizmy żywe oraz mogą przemieszczać się wszelkie pojazdy (lądowe, wodne i powietrzne). Niestety tarcie jest także odpowiedzialne za zużywanie materiałów w obszarach tarcia. W celu zmniejszenia tego negatywnego zjawiska stosuje się smarowanie i chłodzenie obszarów tarcia smarami stałymi, plastycznymi i płynnymi (ciecze i gazy). Przekładnie maszyn i urządzeń muszą być smarowane olejami, które posiadają właściwości redukujące do minimum opory tarcia i zużywanie tribologiczne.

Należy dodać, że ponad 50% energii produkowanej na świecie jest tracona na pokonywanie oporów tarcia. Procesy tribologiczne są ponadto odpowiedzialne za coroczne likwidacje z systemów eksploatacji milionów sztuk wszelakich obiektów technicznych.

Gospodarka smarownicza zakładu musi być tak zaplanowana aby stan zdadności technicznej maszyn i urządzeń był zapewniony na oczekiwanym poziomie bezpieczeństwa produkcji, z zachowaniem oczekiwanego poziomu jakości produkowanych dóbr [49; 84; 100].

W związku z powyższym, każdy zakład opracowuje swój oryginalny system skutecznego działania gospodarki smarowniczej. Jego podstawą są zawsze zalecenia producenta przekładni, który narzuca użytkownikowi typ oleju oraz zalecany okres jego stosowania. Jednak czasami zdarza się, że zalecenia producenta przekładni w zakresie częstości wymiany oleju

przekładniowego nie potwierdzają się w praktyce. Wcześniejsza zmiana oleju w przekładni zawsze pozytywnie wpływa na stan zdatości technicznej. Niestety, działanie takie nie jest ekonomicznie uzasadnione, gdyż generuje ono podwyższone koszty eksploatacji (zakup oleju oraz obsługa jego wymiany). Z drugiej strony, samowolne wydłużenie okresu pomiędzy kolejnymi zmianami oleju może spowodować, że proces starzenia się oleju spowoduje nieodwracalną jego degradację wskutek zaistniałych zmian własności fizykochemicznych. Taka sytuacja może być, z dużym prawdopodobieństwem, powodem zaistnienia awarii przekładni i przyczynić się do powstania dużych strat w produkcji oraz niezaplanowanych kosztów usunięcia awarii obiektów technicznych [33; 57].

Odpowiedzią na taką sytuację jest wykonanie analizy oleju przekładniowego, która umożliwi wypracowanie rzeczywistych okresów pomiędzy jego wymianami w danej przekładni. Wskazane jest aby wymiana oleju nastąpiła z chwilą utraty przez olej wymaganych parametrów jakościowych. Warunki pracy przekładni oraz wyższa jakość obecnie zakupionego oleju mogą znacząco zmienić, zakładane wiele lat temu przez producenta przekładni, wymagane terminy kolejnych wymian oleju przekładniowego. Dotyczy to głównie napędów, które są eksploatowane od kilkudziesięciu lat i zostały zaprojektowane oraz wyprodukowane w czasach, kiedy zagadnienia tribologiczne nie były jeszcze tak powszechne i popularne [42; 78; 87].

Do najważniejszych korzyści uzyskanych z wykonywanych analiz oleju przekładniowego możemy wymienić:

- optymalizację działania środków smarnych,
- możliwość wczesnej detekcji nieprawidłowości w pracy maszyny,
- wykrycie przyczyn źródłowych potencjalnych awarii (woda, kurz, pył),
- zmniejszenie ryzyka niezaplanowanych postojów z powodu wystąpienia awarii maszyny,
- zmniejszenie strat finansowych zakładu z powodu uniknięcia awarii i tym samym zmniejszenia wielkości produkcji oraz obniżenia poziomu jakości produkowanych wyrobów,
- wydłużenie okresu eksploatacji maszyn i urządzeń [75].

Olej przekładniowy powszechnie stosowany w przekładniach jest niezbędny dla spełnienia następujących zadań: zmniejszenie tarcia, zmniejszenie zużycia, ochrony przed korozją i odprowadzenie ciepła z elementów przekładni [69; 100].

Oleje przekładniowe składają się przeważnie z oleju bazowego oraz z zestawu dodatków poprawiających i stabilizujących dobre właściwości oleju bazowego. Niestety, każdy używany olej przekładniowy ulega w końcu starzeniu i jedynym wyjściem jest jego okresowa wymiana. Proces starzenia oleju przekładniowego prowadzi zawsze do korozji, wpływa na zmianę lepkości oraz powoduje powstawanie szlamów. Należy pamiętać, że korozja i zmiana lepkości oleju przekładniowego powoduje zmianę warunków ich eksploatacji,

co może w przyszłości skutkować awarią maszyn i urządzeń. Lepkość jest istotnym parametrem oleju eksploatowanego w przekładniach. Właściwa lepkość oleju w obszarze tribologicznym powoduje, że elementy maszyn nie ulegają zatarciu. Duża lepkość oleju przekłada się na duże opory tarcia wewnętrznego i ma to wpływ na obniżenie sprawności mechanicznej maszyn. Z kolei wszelkie osady, które się wytrąciły w oleju przekładniowym blokują jego przepływ oraz skutkują szybszym zużyciem i korozją [9; 49].

Można wymienić trzy zasadnicze przyczyny niszczenia olejów przekładniowych, tj. degradacja termiczna, ciśnieniowa oraz utlenianie. Degradacja oleju przekładniowego z powodu utleniania jest dominująca i ma bezpośredni wpływ na okres jego bezpiecznego użytkowania. Utlenianie oleju przekładniowego jest zależne od temperatury eksploatacji oleju, obecności wody i metalicznych produktów pochodzących ze zużycia części maszyn. Powstające w ten sposób produkty starzenia się oleju skutkują powstawaniem nierozpuszczalnych laków, osadów i nagarów. Niekorzystne procesy utleniania się olejów przekładniowych mogą być skutecznie powstrzymane lub przynajmniej spowolnione wskutek zastosowania przeciwutleniaczy, które hamują lub przerywają istniejący łańcuchowy proces utleniania [42; 87].

Serwis olejowy jest podstawą dla zaplanowania i stosowania optymalnych warunków smarowania maszyn i urządzeń, z możliwie najniższymi kosztami jego utrzymania. Pozwala on na zaplanowanie skutecznego programu analiz olejowych, dzięki którym realne jest kompleksowe rozwiązanie wszelkich problemów związanych z gospodarką smarowniczą maszyn i urządzeń, określenie stanu jakościowego oleju przekładniowego, jak również stanu technicznego całych maszyn i urządzeń.

Analiza olejów przekładniowych pochodzących z eksploatowanych napędów maszyn i urządzeń dostarcza wielu cennych informacji diagnostycznych służbom utrzymania ruchu. Realizacja diagnostyki olejowej umożliwi wnioskowanie o stanie maszyn i urządzeń na podstawie posiadanej wiedzy o oleju przekładniowym, o maszynach i urządzeniach, ich eksploatacji oraz uzyskanych informacji ze zrobionej analizy olejowej. Serwis gospodarki smarowniczej zakładu jest istotną wartością dodaną, mającą wpływ na wzrost wskaźników technicznych i finansowych zakładu.

Analiza oleju jest szybkim i skutecznym narzędziem diagnostycznym, umożliwiającym wdrożenie właściwych działań zapobiegawczych dla zagrożonych awarią obiektów technicznych w momencie przekroczenia założonych limitów granicznych dla poszczególnych parametrów badanego oleju przekładniowego. Negatywna zmiana parametrów badanego oleju jednoznacznie pokazuje, że używany środek smarny przestaje spełniać swoje podstawowe funkcje i konieczne jest wprowadzenie działań zapobiegawczych. Działania te mogą objawiać się szybszą wymianą oleju lub natychmiastowym wykonaniem prac naprawczych przekładni [49; 78].

W ostatnich latach nastąpił zdecydowany wzrost liczby firm oferujących usługę wykonania badań diagnostycznych olejów przekładniowych, co

przyczyniło się do spopularyzowania tego typu działań diagnostycznych wśród zakładowych służb utrzymania ruchu. Powiązanie informacji diagnostycznej mówiącej o właściwościach środka smarnego z diagnostyką drgań, a także z termowizją, daje służbom technicznym pełniejszy obraz stanu zdolności technicznej obiektów technicznych. Takie kompleksowe podejście diagnostyczne pozwala osobom zarządzającym parkiem maszynowym na skuteczne planowanie terminu oraz zakresu koniecznych prac naprawczych eksploatowanych maszyn i urządzeń [9; 42; 84].

Słodownia w 2013 roku rozpoczęła program wykonywania okresowych analiz jakości olejów przekładniowych dla wybranych strategicznych napędów maszyn i urządzeń zakładu. Na starcie zaplanowano wykonanie rocznych badań, z możliwością zwiększenia w przyszłości jej częstotliwości oraz liczby badanych obiektów technicznych zakładu.

5.4. METODY POMIARU JAKOŚCI SŁODU JĘCZMIENNEGO W SŁODOWNI

Produkcja słodu wymaga stosowania kontroli procesu słodowania na każdym etapie produkcji, przede wszystkim z powodu używania w procesie produktu naturalnego podlegającego prawom natury. Na początku procesu zakłada się, że ziarno jęczmienia zachowa się w produkcji w sposób charakterystyczny dla danej odmiany. Jednak nie zawsze taka sytuacja się zdarza. Z tego względu, zachowanie się jęczmienia w trakcie procesu słodowania musi być systematycznie kontrolowane i korygowane.

Na początku kontroli dojrzałe fizjologicznie ziarno jęczmienia kierowane jest do zakładowego laboratorium w celu wykonania cyklu mikrosłodowania. Podczas tej próby ziarno jęczmienia przechodzi cały proces słodowania w skali mikro i na końcu poddane jest pełnej analizie słodu. Wynik tego testu jest dla technologa bazą do ułożenia właściwego dla danej odmiany jęczmienia programu moczenia, kiełkowania i końcowego suszenia słodu.

Podczas transportu jęczmienia z silosu do zamaczalnika, przy rozpoczęciu procesu słodowania, automatyczny próbnik pobiera próbkę ziarna jęczmienia. Laboratorium wykonuje kilka podstawowych analiz jęczmienia, takich jak: wilgotność, białko, wyrównanie, zanieczyszczenia oraz ocenę organoleptyczną.

W trakcie procesu moczenia jęczmienia, osoby odpowiedzialne za proces kontrolują wilgotność oraz oczkowanie ziarna. Częstotliwość kontroli jest uzależniona od potrzeb, jednak nie powinna być przeprowadzana rzadziej niż co 12 godzin. Wyniki zapisywane są w komputerowej bazie danych produkcji. Temperatura ziarna jest regulowana, kontrolowana oraz rejestrowana automatycznie, przy wykorzystaniu komputerów obsługujących proces technologiczny.

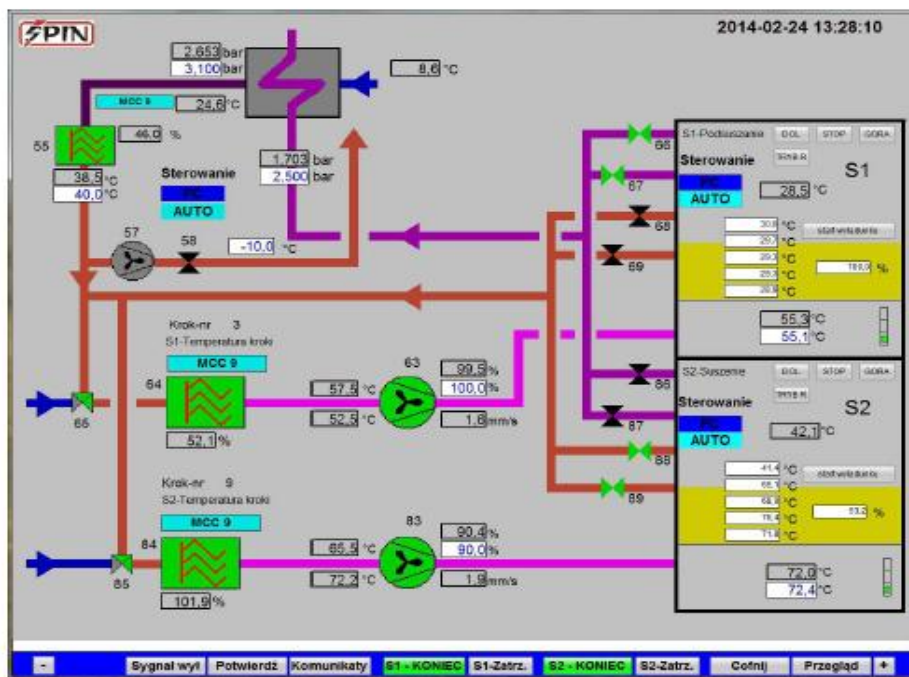
Kolejnym procesem jest proces kiełkowania jęczmienia, który jest realizowany w skrzyniach Saladina. Ponownie, podczas kiełkowania jęczmienia, osoby odpowiedzialne za proces technologiczny kontrolują

wilgotność i rozwój kielka liścieniowego. W tym przypadku, częstotliwość kontroli jest również uzależniona od potrzeb, jednak realizowana nie rzadziej niż co 12 godzin. Wyniki są zapisywane do komputerowej bazy danych. Ta sama metodologia jest stosowana podczas kiełkowania jęczmienia - temperatura jest regulowana automatycznie, a wyniki tej regulacji są zapisywane i archiwizowane w postaci wykresu.

Wyjątkiem jest proces suszenia słoju, podczas którego nie wykonuje się żadnych manualnych kontroli jakości ziarna. Cały proces regulacji temperatury powietrza jest realizowany automatycznie, dzięki zainstalowanym w wielu miejscach czujnikom temperatury. Temperatura suszonego słoju jest także kontrolowana, a odbywa to się w kilku punktach suszonej warstwy ziarna. Dodatkowo rejestrowana jest też wilgotność powietrza, które przeszło przez suszone ziarno i, w zależności od zawartości wody w powietrzu, jest ono kierowane albo do rekuperatora (kiedy jest mokre) albo jest zawracane do procesu suszenia słoju (kiedy jest suche).

Rysunek 5.1 przedstawia planszę główną wizualizacji programu komputerowego sterującego przebiegiem suszenia słoju, z widocznymi wentylatorami suszarni oraz z czujnikami temperatury, ciśnienia oraz drgań.

Suszarnia – plansza główna



Rys. 5.1. Plansza główna programu komputerowego sterującego pracą suszarni słoju
 Źródło: SPIN Poznań 2013

Tabela 5.1. Maksymalne czasy trwania etapów produkcji słodu dla partii 240 ton ziarna jęczmienia

Lp.	Nazwa etapu produkcji słodu	Opis szczegółowy		MAX czas pracy dla partii 240 ton [h]	Udział procentowy etapu do całego procesu [%]
1	przyjęcie jęczmienia z czyszczeniem wstępnym			5	0,56
2	czyszczenie szczegółowe + przerzut na silosy			6	0,67
3	zamoczka	słodowanie jęczmienia	3	193	21,66
	moczenie ziarna w zamaczalniku		36		
	transport namoczonego ziarna na skrzynię Saladina		5		
	kiełkowanie jęczmienia w skrzyni Saladina		120		
	transport zielonego słodu na suszarnię		3		
	suszenie i wychładzanie słodu		24		
	transport słodu do silosów buforowych		2		
4	przyjęcie słodu z odkiełkowaniem kielków i korzonków			7	0,79
5	sezonowanie słodu w silosach (min 4 tygodnie)			672	75,42
6	polerowanie słodu przed wysyłką			4	0,45
7	załadunek na środki transportu			4	0,45
suma [h]				891	100

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 5.1 przedstawiono wszystkie etapy produkcji słodu oraz zaznaczono wymagany czas ich trwania dla partii produkcyjnej o wadze 240 ton jęczmienia. Jak można zauważyć, sam proces słodowania zajmuje trochę ponad 20% całego czasu koniecznego do zamiany jęczmienia w sód.

Tabela 5.2 prezentuje przykładowy, szesnastogodzinny cykl procesu suszenia słodu w suszarni dwusiatkowej, pracującej na zakładkę (kaskadowo).

W każdej partii produkcyjnej jest czas podsuszania i właściwego suszenia. Można zauważyć, że harmonogram jest tak ustawiony, aby podsuszanie trwało tak samo długo jak właściwe suszenie i czasy konieczne na transport ziarna do oraz z suszarni. Utrzymanie tej sekwencji czasów trwania etapów suszenia na

każdej siatce jest najważniejszym zadaniem dla osób nadzorujących produkcję słodu.

Tabela 5.2. Przykładowy cykl pracy suszarni dwusiatkowej w układzie co 16 h

Godzina zegarowa	Nr grzędy	Siatka nr 1	Siatka nr 2	Nr grzędy		
1	A	załadunek zielonego słodu ze skrzyni Saladina do suszarni	podsuszanie słodu	B		
2						
3						
4		podsuszanie słodu	suszenie słodu			
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14					wychładzanie słodu	
15				wyładunek słodu z suszarni do silosu		
16				załadunek zielonego słodu ze skrzyni Saladina do suszarni	podsuszanie słodu	C
17						
18						
19						
20						
21						
22		suszenie słodu	podsuszanie słodu			
23						
24						
25						
26						
27						
28		wychładzanie słodu	podsuszanie słodu			
29						
30						
31						
32		wyładunek słodu z suszarni do silosu				

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.3 zawiera przykładowy program suszenia partii produkcyjnej dla cyklu szesnastogodzinnego. Można tam zauważyć czasy trwania poszczególnych etapów suszenia z podaniem wymaganych nastaw temperatury i wydajności wentylatorów. Bezwzględne utrzymanie właściwych nastaw technologicznych jest warunkiem koniecznym dla uzyskania produktu o wymaganym poziomie jakości.

Tabela 5.3. Przykładowy program suszenia słoðu w suszarni dwusiatkowej w układzie co 16 h

Nr kroku programu suszenia słoðu	Nazwa kroku programu	Czas trwania [h]	Temperatura [°C]		Nastawa wentylatora [%]
			początek	koniec	
1	Start				
2	podsuszenie	1	55	55	100
3	podsuszenie	2	55	60	100
4	podsuszenie	4	60	60	100
5	podsuszenie	3	60	65	100
6	podsuszenie	2	65	72	100
7	podsuszenie	2	72	72	100
8	podsuszenie	2	72	75	100
Podsuszanie razem		16			
9	suszenie	2	75	75	85
10	suszenie	1	75	75	80
11	suszenie	2	75	80	72
12	suszenie	1	80	80	66
13	suszenie	3	80	85	66
14	suszenie	1	85	85	60
Suszenie właściwe razem		10			
15	Koniec				
Ogółem suszenie		26			

Źródło: opracowanie własne

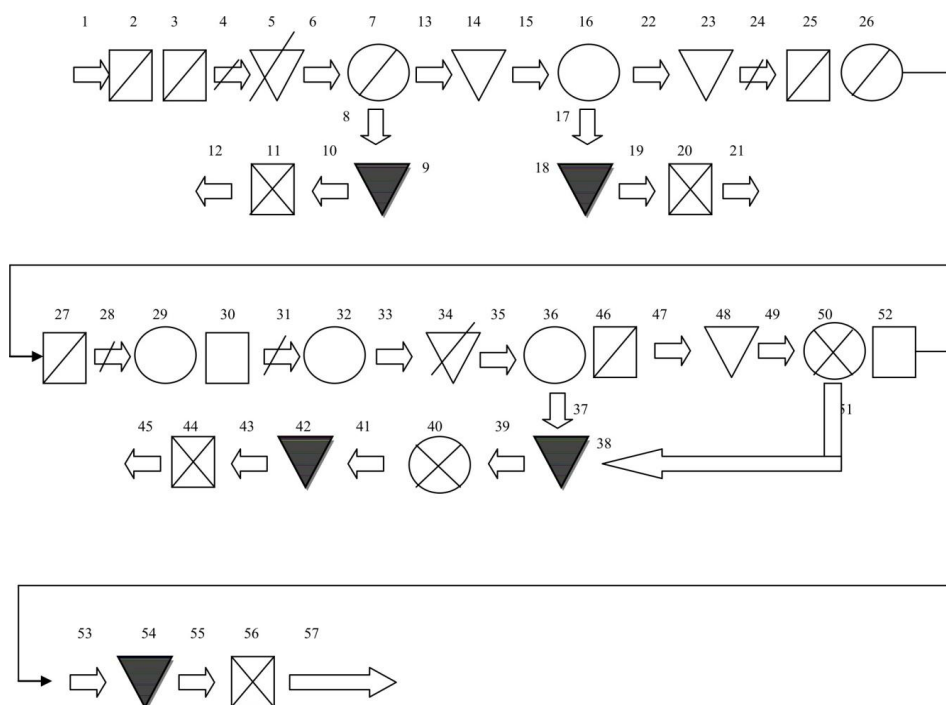
Podczas transportu ziarna do silosów pobierana jest automatycznie próba słoðu, z której później zostaną wykonane analizy laboratoryjnej słoðu. Uzyskane wyniki analiz słoðu są odnotowywane w komputerowej bazie danych. Ziarno słoðu w ciągu kilku tygodni osiąga stabilizację parametrów technologicznych i może być wysyłane klientom. Każda partia produkcyjna, czyli grzęda o zasypie przeważnie 240 ton, ma ostatecznie swoją indywidualną analizę laboratoryjną. W skład tych wyników wchodzi około 21 parametrów, takich jak: wilgotność, zawartość ekstraktu, czas scukrzenia, barwa brzeczeki, białko ogólne, liczba Kolbacha, siła diastatyczna, kruchość, lepkość, pH, FAN oraz liczba Hartonga.

Z reguły, większość klientów zamawia tzw. mieszanki słoðu, czyli układ minimum trzech różnych odmian słoðu. W mieszance słoðu wykorzystuje się

najlepsze cechy z każdej odmiany jęczmienia. Przed wysyłką przygotowywana jest symulacja komputerowa proponowanej mieszanki słodów na podstawie pojedynczych analiz laboratoryjnych każdej partii produkcyjnej. Dopiero po zatwierdzeniu przez klienta symulacji komputerowej można uruchamiać etap przygotowania słoðu do wysyłki. W tym celu, należy skierować właściwą mieszankę ziarna poprzez linię czyszczenia słoðu do zaplanowanych silosów wysyłkowych. Podczas tej operacji, automatyczny próbnik pobiera próbkę słoðu, która jest podstawą do wykonania przez laboratorium atestu słoðu. Każdy klient może posiadać odrębne ustalenia co do parametrów znajdujących się w atęcie wysyłanym razem z transportem słoðu. Wyniki tych analiz są zapisywane w komputerowej bazie danych i stanowią istotną informację, przydatną podczas układania następnych procesów technologicznych słodowania tej samej odmiany ziarna jęczmienia.

5.5. OCENA ILOŚCIOWA MASZYN I URZĄDZEŃ TECHNOLOGICZNYCH MOGĄCYCH ULEC AWARII

Słód jęczmienny wytworzony jest w systemie produkcyjnym słodowni będącym układem wzajemnie powiązanych procesów (rys. 5.2) [24; 31; 32].



Rys. 5.2. Proces wytwórczy produkcji słoðu w ujęciu technologicznym
Źródło: opracowanie własne

Legenda: 1 – transport jęczmienia od dostawcy do słodowni; 2 – kontrola wstępna jakości jęczmienia; 3 – ważenie jęczmienia; 4 – transport jęczmienia do punktu rozładunkowego; 5 – magazynowanie chwilowe jęczmienia w koszu przyjęciowym; 6 – transport jęczmienia na linię czyszczenia wstępnego; 7 – czyszczenie wstępne jęczmienia; 8 – transport odpadów produkcyjnych; 9 – magazynowanie odpadów - pyły jęczmienne; 10 – transport odpadów; 11 – kontrola jakościowa odpadów; 12 – wysyłka odpadów do klienta; 13 – transport jęczmienia na silosy; 14 – magazynowanie jęczmienia w silosach; 15 – transport jęczmienia na linię czyszczenia szczegółowego; 16 – czyszczenie szczegółowe jęczmienia; 17 – transport odpadów; 18 – magazynowanie odpadów – poślad jęczmienny; 19 – transport odpadów; 20 – kontrola jakościowa odpadów; 21 – transport odpadów do klienta; 22 – transport jęczmienia do silosów; 23 – magazynowanie jęczmienia w silosach; 24 - transport jęczmienia na zamaczalnię; 25 – kontrola jakości jęczmienia i ważenie odpowiedniej partii produkcyjnej jęczmienia; 26 - zamaczanie jęczmienia; napowietrzanie wody w zamaczalniku, odsysanie CO₂ i zraszanie wodą; 27 – kontrola namaczanego jęczmienia; 28 – transport namoczonego jęczmienia na skrzynię z sitami; 29 – kielkowanie jęczmienia w skrzyniach Saladina, przegarnianie, zraszanie wodą i klimatyzacja jęczmienia; 30 – kontrola kielkującego jęczmienia; 31 – transport zielonego słodu do suszarni; 32 – suszenie zielonego słodu; 33 – transport słodu do zbiorników buforowych; 34 – magazynowanie słodu w zbiornikach buforowych; 35 – transport słodu na linię odkielkowania; 36 – odkielkowanie słodu; 37 – transport odpadów produkcyjnych - kielki i pył słodowy; 38 – magazynowanie odpadów (kielków i pyłu słodowego); 39 – transport odpadów na linię granulowania; 40 – granulowanie odpadów; 41 – transport granulatu do zbiorników magazynowych; 42 – magazynowanie granulatu; 43 – transport granulatu; 44 – kontrola jakości i końcowe ważenie granulatu; 45 – transport granulatu do klientów; 46 – kontrola jakości i ważenie słodu; 47 – transport słodu do silosów; 48 – magazynowanie słodu w silosie; 49 – transport słodu na linię czyszczenia słodu; 50 – czyszczenie słodu; 51 – transport odpadów produkcyjnych (pyłu słodowego); 52 – kontrola jakości słodu; 53 – transport słodu do zbiornika wysyłkowego; 54 – magazynowanie słodu w zbiorniku wysyłkowym; 55 – transport słodu na środki transportu; 56 – końcowa kontrola jakości i końcowe ważenie słodu; 57 – transport słodu do klienta.

Opis maszyn i urządzeń, dzięki którym realizowany jest dany proces:

- **przenośniki łańcuchowe do ziarna** - mają na celu transport poziomy ziarna. Osiąga się to dzięki sprawnemu napędowi, łożyskom stacji napędowej i naciągowej oraz nierozzerwanemu łańcuchowi,
- **przenośniki taśmowe do ziarna** - mają na celu transport poziomy ziarna. Osiąga się to dzięki sprawnemu napędowi, łożyskom stacji napędowej i naciągowej oraz dzięki nierozzerwanemu gumowemu pasowi,

- **przenośniki kubelkowe do ziarna** - mają na celu transport pionowy ziarna. Osiąga się to dzięki napędowi, łożyskom głowicy napędowej i stacji naciągowej oraz dzięki nierozzerwanemu gumowemu pasowi z przykręconymi kubelkami,
- **linia czyszczenia wstępnego jęczmienia** - proces ten jest odbywa się w specjalnych czyszczarkach z sitami stalowymi. Zadaniem przesiewania ziarna jest oddzielenie zanieczyszczeń zgrubnych oraz bardzo drobnych. Osiąga się to dzięki szczelnym sitom oraz sprawnemu systemowi napędu ram z sitami,
- **linia czyszczenia szczegółowego jęczmienia** - proces ten jest realizowany w specjalnych czyszczarkach z sitami stalowymi oraz w tryjerach. Zadaniem przesiewania ziarna jest oddzielenie zanieczyszczeń w postaci ziaren długich i połówek oraz bardzo drobnych. Osiąga się to dzięki zainstalowanym szczelnym sitom w czyszczarkach i bębnach w tryjerach oraz sprawnemu systemowi napędu ram z sitami i bębnow tryjerów,
- **wagi automatyczne do ziarna** - mają na celu odważenie odpowiedniej porcji ziarna. Osiąga się to poprzez sprawny układ mechanicznych oraz pneumatycznych mechanizmów,
- **zamaczalniki** - mają na celu namoczenie ziarna. Zadaniem namoczenie jest podniesienie wilgotności ziarna do 45% w celu rozpoczęcia procesu kiełkowania. Ziarno jest moczone w wodzie z ciągłym dostarczaniem powietrza poprzez napowietrzanie wody. Przez pewien czas ziarno jest bez wody i wówczas trzeba odessać wentylatorem dwutlenek węgla powstały podczas oddychania ziarna. Osiąga się to poprzez sprawne zawory dopuszczające i upuszczające wodę z zamaczalnika oraz sprawną dmuchawę powietrza i sprawny wentylator odsysający CO₂, a także sprawny system transportowy wyładunku namoczonego jęczmienia z zamaczalnika,
- **skrzynie Saladina z sitami** - mają na celu kiełkowanie ziarna. Zadaniem skrzyń są zmiany biochemiczne (zamiana cukrów złożonych w cukry proste oraz rozkład białek) ziarna. Osiąga się to poprzez: właściwą temperaturę i wilgotność dostarczanego powietrza, sprawny układ klimatyzacji, sprawny system przewracania ziarna na skrzyniach realizowany przegarniaczami oraz sprawny system wyładunku ziarna ze skrzyni do suszarni,
- **suszarnia dwusiatkowa z sitami** - ma na celu wysuszenie skiełkowanego ziarna. Zadaniem suszarni jest utrwalenie zaistniałych zmian biochemicznych oraz zmniejszenie wilgotności ziarna do 5%. Osiąga się to poprzez właściwą temperaturę i wilgotność dostarczanego powietrza oraz sprawny układ suszenia (wymienniki powietrza z palnikami gazowymi) i wentylacji, a także sprawny system wyładunku ziarna z suszarni,

- **odkielkownica słoðu** - ma na celu oddzielenie kielków i korzonków od wysuszonego ziarna słoðu. Osiąga się to dzięki szczelnym sitom bębna oraz dzięki sprawnemu ułożyskowaniu wału przewracacza i ślimaka odbierającego frakcje przedostające się przez sito,
- **linia czyszczenia słoðu** - proces ten jest realizowany w specjalnych czyszczarkach z sitami stalowymi. Zadaniem przesiewania ziarna jest oddzielenie zanieczyszczeń zgrubnych oraz bardzo drobnych. Osiąga się to dzięki szczelnym sitom oraz sprawnemu systemowi napędu ram z sitami,
- **linia granulowania kielków i pyłów słodowych** - ma na celu granulację oraz schłodzenie granul powstałych z produktów ubocznych: pył i kielki słodowe. Osiąga się to dzięki sprawniej matrycy z rolkami oraz chłodnicy powietrznej z układem wentylacji [28; 52; 76].

Jak wynika z wcześniejszych informacji (patrz rozdział 3.), w słodowni znajduje się duża liczba części ruchomych. W tabelicy 5.4 podano pozycje rankingu istniejących w słodowni grup maszyn i urządzeń.

Tabela 5.4. Wykaz średnich ocen ważności elementów ruchomych w różnych grupach maszyn i urządzeń

Lp.	Nazwa grupy maszyn i urządzeń słodowni	liczba maszyn i urządzeń [szt.]	% liczby maszyn i urządzeń	suma elementów ruchomych [szt.]	% elementów ruchomych	średnia ocena ważności - iloczyn udziałów procentowych	pozycja rankingu
1	Podnośniki kubelkowe	17	6,23	115	4,05	5,14	8
2	Przeñośniki łańcuchowe	50	18,32	272	9,57	13,94	3
3	Przeñośniki ślimakowe	16	5,86	73	2,57	4,21	9
4	Przeñośnik taśmowy	20	7,33	1132	39,82	23,57	1
5	Filtrocyclony + śluzы, cyclony + śluzы	21	7,69	107	3,76	5,73	7
6	Wentylatory	39	14,29	193	6,79	10,54	5
7	Maszyny do czyszczenia ziarna, próbniki i wagi	29	10,62	132	4,64	7,63	6
8	Maszyny i urządzenia do słodowania ziarna (zamaczanie, kielkowanie i suszenie)	38	13,92	573	20,15	17,04	2
9	Sprężarki, dmuchawy, agregaty chłodnicze, pompy, mieszadła	43	15,75	246	8,65	12,20	4
Razem maszyn i urządzeń		273	100	2843	100	100	

Źródło: badania własne

Każda z tych części ruchomych spełnia określoną pozycję w utworzonym rankingu ważności elementów ruchomych maszyn i urządzeń, decydujących o ciągłości pracy słodowni, jak i również o jakości podstawowego produktu.

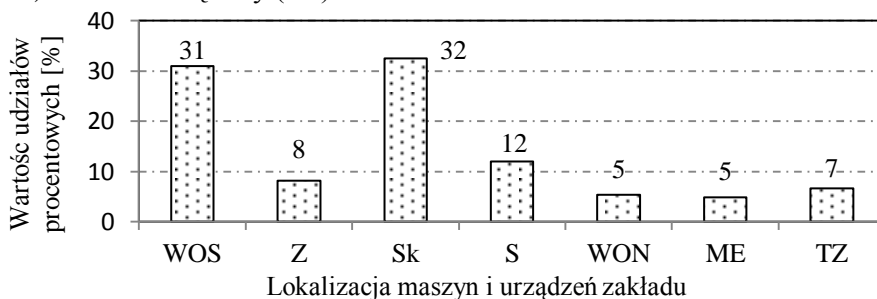
Pozycja rankingu zależy głównie od liczby sztuk maszyn oraz liczby elementów ruchomych występujących w tej maszynie lub urządzeniu.

Zestawienie pozycji rankingu (ostatnia kolumna w tabelicy 5.4) informuje Czytelnika, że przenośnik taśmowy jest najważniejszym elementem zestawienia maszyn i urządzeń słodowni. Pozycja taka jest logicznie uzasadniona. Proces słodowania nie może trwać ciągle, obrabiany jęczmień musi być transportowany w różne miejsca technologiczne w jak najkrótszym czasie. Ostatnie, 9. miejsce, zajmuje przenośnik ślimakowy służący również do transportu ziarna, lecz ich liczba maszyn jest najmniejsza i posiadają najmniejszą liczbę elementów ruchomych. Ze względów technologicznych wysoką pozycję w rankingu zajmują oczywiście maszyny i urządzenia do słodowania ziarna jęczmienia, które warunkują wymagane parametry procesów.

Ranking ważności elementów ruchomych maszyn i urządzeń jest związany z ich lokalizacją w słodowni. Wyniki zostały przedstawione w formie rysunku (rys. 5.1). W tym rankingu skrzynie Saladina (Sk) służące do kielkowania jęczmienia, jednego z najważniejszych procesów, zajmują pierwsze miejsce osiągając ważność najwyższą 32%.

Umownie nazwana wieża operacyjna stara (WOS), będąca pomieszczeniem dla maszyn i urządzeń transportujących, czyszczących i segregujących jęczmień i sód, zajmuje drugie miejsce w analizowanym rankingu osiągając udział 31%. Podczas analizy rysunku należy odnieść się do miejsca w rankingu wieży operacyjnej nowej (WON), której udział procentowy w rankingu wynosi tylko 5%. W odniesieniu do wieży operacyjnej starej nowa wieża operacyjna zawiera najmniejszą liczbę maszyn i urządzeń do transportu, czyszczenia i segregacji ziarna.

Pozostałe symbole użyte na rysunku 5.3 do opisu lokalizacji maszyn i urządzeń oznaczają - zamacalnia (Z); suszarnia (S); magazyn ekspedycyjny (ME) i teren zewnętrzny (TZ).

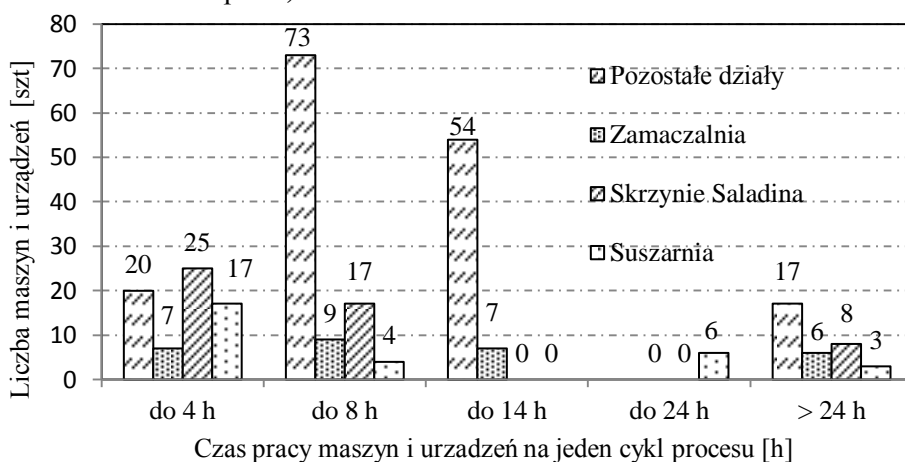


Rys. 5.3. Średnie oceny ważności elementów ruchomych maszyn i urządzeń w różnych lokalizacjach zakładu

Źródło: badania własne

W załączniku nr 3 zamieszczono tabelę Z.3 zawierającą wykaz elementów ruchomych maszyn i urządzeń suszarni słodu, w której przenośniki taśmowe posiadają najwięcej wspomnianych elementów ruchomych.

Z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia w słodowni najważniejszy jest jeden cykl procesu słodowania, który obejmuje czas od namoczenia do zakończenia suszenia ziarna jęczmienia. Charakterystyka liczbowa maszyn oraz urządzeń dotycząca realizacji jednego cyklu procesu została zaznaczona na rysunku 5.4 (partia produkcyjna zwana grzędą). Masa jednej partii jęczmienia wynosi zazwyczaj 240 ton, a pełny cykl procesu trwa maksymalnie do 891 godzin (przyjęcie i sortowanie jęczmienia, proces słodowania, sezonowanie wysuszonego słodu oraz przygotowanie i załadunek słodu na środki transportu).

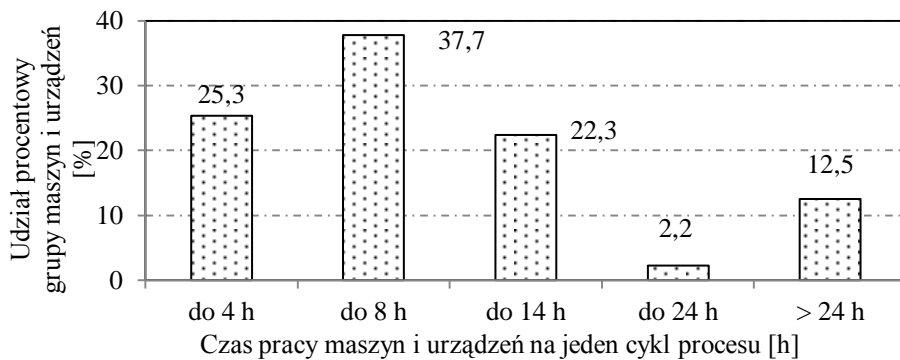


Rys. 5.4. Liczba maszyn i urządzeń zlokalizowanych w różnych działach w zależności od wymaganego ich czasu pracy na jeden cykl procesu

Źródło: badania własne

Liczba maszyn i urządzeń pracująca podczas jednego cyklu dłużej niż dwadzieścia cztery godziny wynosi w sumie 34 sztuki (17+6+8+3), przy czym największa liczba dotyczy reszty zakładu. Z analizowanego rysunku wynika, że dla właściwej realizacji procesu w zamaczalni, skrzyniach Saladina i suszarni wymagana jest znacząca liczba maszyn i urządzeń, która dla pozostałych działów zakładu i czasu pracy do ośmiu godzin wynosi 75 sztuk.

W innym ujęciu zakresu charakterystyki cyklu produkcyjnego słodowni (rysunek 5.5) dowiadujemy się, że najwięcej maszyn i urządzeń zakładu pracuje w czasie do ośmiu godzin i ich udział procentowy wynosi 37,7%. Najmniejsza liczba udziału procentowego dotyczy obiektów technicznych pracujących do dwudziestu czterech godzin.



Rys. 5.5. Udział procentowy grupy maszyn i urządzeń w zależności od wymaganego ich czasu pracy na jeden cykl procesu

Źródło: badania własne

6. METODYKA BADAŃ

6.1. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badania jest słodownia oraz jej maszyny i urządzenia technologiczne konieczne do produkcji słodu. Słodownia jest to zakład produkcyjny branży browarniczej, który przygotowuje jeden z podstawowych czynników decydujących o jakości piwa – sład jęczmienny. Roczna produkcja zakładu to około 110 tysięcy ton słodu. Średnia wielkość partii produkcyjnej (tzw. grzędy) wynosi 240 ton jęczmienia. Proces słodowania jęczmienia trwa przeciętnie 8 dni i jest uzależniony od gatunku jęczmienia i pory roku.

Dla tego produktu browary stawiają określone wymagania, które są stałe we wszystkich porach roku. Wymusza to więc taką organizację produkcji, która musi się dostosować do zmiennych warunków klimatycznych jęczmienia. Jęczmień, produkt wyjściowy do produkcji słodu, jest wytworem natury oraz podlega prawom przyrody.

Najważniejsze uwagi o procesie słodowania:

- sterowanie produkcją słodu opiera się na przewidywaniu, że ziarno jęczmienia zachowa się zgodnie z oczekiwaniami. Z tego względu, maszyny i urządzenia technologiczne muszą być sprawne, aby można było je dowolnie obciążać,
- produkcja słodu nie jest powtarzalna w 100%. Jest to proces specjalny, tzn. nie ma powtarzalności wyników w tych samych warunkach wytwarzania. Dlatego też, istniejące punkty pomiaru przebiegu procesu powinny dostarczać takich wyników, które zagwarantują zmianę procesów technologicznych zakładu, w wymaganym kierunku. Zawsze trzeba korygować na bieżąco proces technologiczny na podstawie bieżących pomiarów reprezentatywnych parametrów,
- sład jęczmienny jest wymagającym produktem, a wyraża się to bezwzględną koniecznością uzyskania słodu o odpowiedniej jakości za pierwszym razem,
- uzyskanej jakości słodu nie można poprawić żadnym innym późniejszym procesem technologicznym. Sład niezgodny z wymaganiami nie może być skorygowany. Może być tylko przeklasyfikowany. Sprawność maszyn oraz urządzeń technologicznych są gwarantem ciągłości produkcji,
- gdy maszyny i urządzenia technologiczne są sprawne, wówczas realizujemy proces technologiczny. Jeżeli nie są sprawne, należy wstrzymać lub ograniczyć produkcję,
- w procesie słodowania stosuje się przeważnie te odmiany jęczmienia browarnego, które są łatwe i tanie w słodowaniu,
- klientom wysyła się zamówione mieszanki sładów. W mieszance sładów wykorzystuje się najlepsze cechy z każdej odmiany jęczmienia.

Reasumując, możemy sformułować **tezę pomocniczą dwa** w brzmieniu: **zdatność techniczna maszyn i urządzeń gwarantuje w słodowni dotrzymanie parametrów czasowych i temperaturowych procesu słodowania.**

Operacją limitującą wydajność całego procesu od strony ekonomicznej to suszenie słoðu. Suszenie jest regulowane na wejściu temperaturą i czasem trwania cyklu, po to, żeby na wyjściu uzyskać właściwe czasy trwania podsuszania, suszenia i wychładzania oraz za- i wyładunku ziarna. Czas podsuszania musi być równy sumie czasów pozostałych cykli dla powtórnego wykorzystania gorącego powietrza w procesie suszenia.

System pomiaru temperatury powietrza w trakcie suszenia słoðu odbywa się w sposób ciągły. Urządzenia muszą być gotowe do zwiększenia ich wydajności. Wentylatory suszenia (2 szt.) oraz palniki gazowe (3 szt.) mają możliwość płynnej modulacji pracy. Właśnie te urządzenia gwarantują właściwą temperaturę i objętość podawanego powietrza do procesu. Wentylatory i palniki gazowe muszą posiadać zmienne wydajności z uwagi na zmienne nastawy technologiczne warunków suszenia, które są limitowane przez gatunek ziarna i końcowe parametry słoðu.

Uwagi ogólne do programu suszenia:

- czas podsuszania wynosi minimalnie 14 godzin,
- temperatura końca cyklu podsuszania musi nastąpić przy 35°C w słodzie,
- minimalny czas nawiewu powinien trwać nie mniej niż 25 godzin,
- temperatura końcowa suszenia powinna zapewnić 80°C w suszonym słodzie.

Należy nadmienić, iż stałym parametrem powietrza po suszeniu jest temperatura końcowa procesu 85⁰C. Ta temperatura limituje pracę palnika gazowego, wentylatora gorącego powietrza oraz parametry wymiennika ciepła. Po wysuszeniu, grzędą jest schładzana do temperatury 40⁰C tym samym wentylatorem, który dostarcza gorące powietrze do suszenia. Wysuszony i wychłodzony słoð jest rozładowywany do silosów znajdujących się obok suszarni.

Podmiotem badań są elementy kompleksowego utrzymania maszyn oraz urządzeń technologicznych zakładu. Planuje się określić znaczenie stosowanych działań zapobiegawczych na wskaźnik ogólnej efektywności procesów OEE w odniesieniu do poszczególnych etapów procesu technologicznego otrzymywania słoðu.

W przypadku badanej firmy, istnieje pilna potrzeba zebrania odpowiednich danych i budowy algorytmu sterowania procesem produkcji słoðu w oparciu o stan zdatności technicznej maszyn i urządzeń oraz w oparciu o parametry jęczmienia browarnego.

Idealny czas jednostkowy procesu suszenia słoðu w analizowanych warunkach limitowany jest przez czas i temperaturę procesu. Uwzględniając jednak fakt, że jednym ze wskaźników prawidłowo przeprowadzanego procesu

suszenia jest wilgotność, to w związku z tym mamy trzy czynniki: czas, temperatura i wilgotność.

Innym problemem badawczym jest identyfikacja procesu, który limituje przepływ zasobów materiałowych w procesie produkcji słodu. Na podstawie analizy poszczególnych fragmentów procesu produkcyjnego w ujęciu technologicznym stwierdzamy, że procesem takim jest proces suszenia oznaczony na rysunku 5.2 jako 32. Proces ten wyznacza dynamikę przepływu. Na jego potrzeby pracują wcześniejsze operacje; limituje on również dynamikę przepływu materiałów po procesie.

Praktyka znalazła rozwiązanie co do redukcji parametrów, którymi należy sterować, aby otrzymać sład o wymaganej jakości. Końcowa zawartość wody w wysuszonym sładzie nie powinna przekraczać 5%, ponieważ w wilgotnym sładzie zostaje wznowiona działalność enzymów. Ponadto słody takie tracą aromat oraz są bardziej narażone na rozwój pleśni.

Wilgotność sładu jest wynikiem temperatury i czasu trwania procesu. Biorąc po uwagę fakt, iż na proces wytwarzania sładu nałożony jest określony plan produkcyjny, to suszenie musi odbywać się w jednakowym praktycznie czasie.

Powyższa analiza, wsparta doświadczeniem, wskazuje, że w rzeczywistości zmuszeni jesteśmy do sterowania jakością sładu tylko jednym parametrem, mianowicie temperaturą. Proces suszenia sładu jest regulowany temperaturą i natężeniem przepływu gorącego powietrza. Z kolei te parametry mogą być zapewnione poprzez właściwą wydajność wentylatorów suszenia oraz palników gazowych.

6.2. STANOWISKA BADAWCZE I APARATURA

Stanowiskiem badawczym są elementy maszyn i urządzeń będących w ruchu obrotowym i posuwisto-zwrotnym, a w szczególności ich parametry eksploatacyjne gwarantujące uzyskanie sładu o wymaganej jakości.

Z punktu badawczego, interesująca jest liczba elementów maszyn oraz urządzeń będących w ruchu, które wymagają smarowania, mogą drgać i wydzielać ciepło. Elementy te, jak wskazuje praktyka, generują awarie. Liczba takich elementów posiadających napęd elektryczny wynosi 2843 sztuki i są one zlokalizowane w 273 maszynach i urządzeniach słodowni.

Dokonując podsumowania ilościowego maszyn i urządzeń zakładu możemy stwierdzić, że technologia jest obsługiwana przez **urządzenia** takie jak:

- transportery: kubelkowe, ślimakowe, łańcuchowe i taśmowe - 103 sztuki,
- zamaczalniki do moczenia jęczmienia - 3 sztuki,
- skrzynie Saladina z sitami i chłodnicami powietrza (do kielkowania ziarna) - 8 sztuk,
- suszarnia sładu z wymiennikami powietrza,

- silosy do ziarna, produktów ubocznych i odpadów: stalowe i żelbetowe - 85 sztuk.

Maszynami w słodowni są zaś:

- wentylatory osiowe i promieniowe w ogólnej liczbie - 39 sztuk,
- palniki gazowe (każdy 5MW) - 3 sztuki,
- palniki gazowe (każdy 1,4MW) - 2 sztuki,
- agregaty chłodnicze freon-glikol (każdy 1MW chłodu) - 4 sztuki,
- sprężarki powietrza - 7 sztuk,
- dmuchawy powietrza - 3 sztuki
- czyszczarki sitowe ziarna - 7 sztuk,
- tryjery do segregacji jęczmienia - 4 sztuki,
- odkiełkownice słodu - 2 sztuki,
- wagi automatyczne do ziarna - 5 sztuk.

Podczas realizacji procesu słodowania jęczmienia powinno się położyć duży nacisk na wdrożenie skutecznej eksploatacji prewencyjnej dla maszyn i urządzeń technologicznych.

Tabela 6.1. Wykaz rodzajów eksploatacji prewencyjnej maszyn i urządzeń realizowanych w różnych lokalizacjach zakładu

Lp.	Miejsce lokalizacji maszyn i urządzeń	Liczba sztuk [szt.]	Udział procentowy liczby sztuk [%]	Eksploatacja prewencyjna [szt.]		
				Serwis wewnętrzny wg resursu okresowego	Serwis zewnętrzny wg resursu godzinowego	Serwis zewnętrznym wg resursu okresowego
1	wieża operacyjna - stara	110	40,3	51	7	52
2	zamaczalnia	29	10,6	12	2	15
3	skrzynie Saladina	50	18,3	34	0	16
4	suszarnia	30	11,0	22	0	8
5	wieża operacyjna - nowa	20	7,3	6	1	13
6	magazyn ekspedycji	13	4,8	6	0	7
7	teren zewnętrzny	21	7,7	0	0	21
Suma maszyn i urządzeń [szt.]		273	100	131	10	132
Udział procentowy [%]				48,0	3,7	48,3

Źródło: badania własne

Tabela 6.1 prezentuje różne rodzaje realizowanej prewencji - serwis wewnętrzny wg resursu okresowego oraz serwis zewnętrzny wg resursu

godzinowego i okresowego, w podziale na lokalizację w słodowni. Resurs, czyli ustalony doświadczalnie i teoretycznie okres pracy maszyn oraz urządzeń, podczas którego zagwarantowane jest bezpieczeństwo i sprawność eksploatacji.

Najwięcej obiektów technicznych jest zlokalizowanych w wieży operacyjnej starej (110 szt.), co stanowi 40,3% wszystkich maszyn i urządzeń zakładu. W tym dziale widać wyraźną przewagę resursu terminowego, występującą prawie w podobnych ilościach dla serwisu wewnętrznego jak i zewnętrznego (odpowiednio 51 i 52 sztuki). Tylko 3,7% ogółu maszyn oraz urządzeń jest objętych serwisem zewnętrznym wg resursu godzinowego (dotyczy to głównie sprężarek i dmuchaw powietrza).

Natomiast tabela 6.2 przedstawia te same rodzaje eksploatacji prewencyjnej, ale w odniesieniu do poszczególnych grup maszyn i urządzeń słodowni.

Tabela 6.2. Wykaz realizowanych rodzajów eksploatacji prewencyjnej realizowanej w zależności od grupy maszyn i urządzeń zakładu

Lp.	Nazwa grupy maszyn i urządzeń	liczba sztuk [szt.]	Udział procentowy liczby sztuk [%]	Eksploatacja prewencyjna[szt.]		
				Serwis wewnętrzny wg resursu okresowego	Serwis zewnętrzny wg resursu godzinowego	Serwis zewnętrzny wg resursu okresowego
1	Podnośnik kubelkowy	17	6,2	4	0	13
2	Przełożnik łańcuchowy	50	18,3	8	0	42
3	Przełożnik ślimakowy	16	5,9	13	0	3
4	Przełożnik taśmowy	20	7,3	18	0	2
5	Filtrocyclon, cyklon	21	7,7	21	0	0
6	Wentylator	39	14,3	39	0	0
7	Maszyny do czyszczenia ziarna	29	10,6	10	0	19
8	Maszyny i urządzenia do słodowania ziarna	38	13,9	16	0	22
9	Sprężarki, dmuchawy, pompy	43	15,8	2	10	31
Suma maszyn i urządzeń [szt.]		273	100	131	10	132
Udział procentowy [%]				48	3,7	48,3

Źródło: badania własne

Największy udział procentowy mają przełożniki łańcuchowe (18,3%), dla których przeważa serwis zewnętrzny wg resursu okresowego. Natomiast podnośniki kubelkowe reprezentują najmniej liczną grupę (tylko 17 szt.). Są

one w większości obsługiwane także przez serwis zewnętrzny wg resursu okresowego. Wentylatory, z uwagi na ich istotny wpływ na jakość procesu słodowania, jako jedyne są w całości objęte serwisem wewnętrznym. W tym przypadku jest to serwis wg resursu okresowego. Należy nadmienić, że realizacja eksploatacji prewencyjnej wg wspomnianych resursów jest konieczna z powodu charakteru prowadzonego procesu technologicznego (produkt naturalny), a także z powodu występujących zagrożeń wybuchu i pożaru, pochodzących od, obecnych w procesie, pyłów jęczmiennych oraz słodowych.

W słodowni, eksploatacja prewencyjna jest uzupełniania diagnostyką techniczną, która czuwa nad obiektami technicznymi podczas ich normalnej pracy. Jednak wszelka eksploatacja prewencyjna jest wykonywana zawsze podczas postoju technologicznego maszyn i urządzeń zakładu.

6.3. METODY I WARUNKI BADAŃ

Warunki badań, które zostały przeprowadzane podczas ruchu maszyn i urządzeń słodowni, mają charakter typowo eksploatacyjny. Eksploatacyjne warunki badań przybliżają Czytelnikowi problemy występujące podczas produkcji słodu. Przyjęte warunki badań są wiarygodne i pozbawione cech „zarażenia” czyli wpływu osób trzecich.

Metody badawcze są następujące:

- studium przypadku (badania jakościowe i ilościowe),
- analiza statystyczna (korelacyjna i regresji),
- budowa modelu matematycznego (instrumentu decyzyjnego); weryfikacja ogólnie przyjętego modelu OEE.

Dane były uzyskiwane z następujących źródeł:

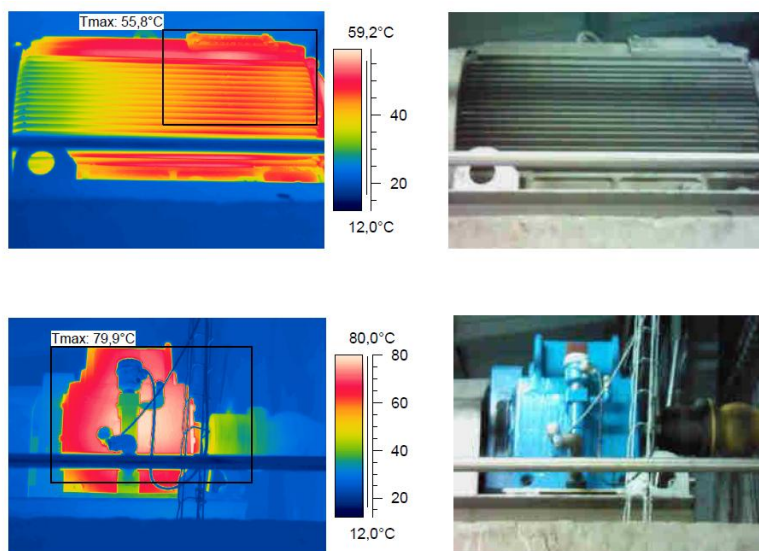
- dokumentów dotyczących funkcjonowania maszyn i urządzeń w okresie poprzednim,
- bieżącej dokumentacji elementów służących do obliczania OEE,
- zapisów wykonanych w raportach działów utrzymania ruchu oraz produkcji, dotyczących funkcjonowania poszczególnych podzespołów technicznych,
- bieżącej rejestracji danych wymaganych do obliczenia OEE.

Termowizja - w słodowni, jest ona stosowana z powodzeniem od 2002 roku. Na początku termowizję wykonywano tylko dwa razy do roku. Natomiast od 2008 roku, w celu wprowadzenia większej niezawodności urządzeń zakładu oraz dla podniesienia bezpieczeństwa personelu, kontrola ta przeprowadzana jest minimum cztery razy w roku przez zewnętrzną firmę.

Do badań w Słodowni wykorzystano system termowizyjny T620 firmy FLIR. Jest to urządzenie najnowszej generacji w dziedzinie badań termowizyjnych, pozwalające na szybką wizualizację określonej powierzchni (której wielkość determinuje rodzaj zastosowanego obiektywu) oraz bezkontaktowy pomiar temperatury badanych obiektów.

System T620 posiada wymienne obiektywy, dzięki czemu jest możliwe badanie obiektów o dowolnych gabarytach z różnych odległości. Dla przykładu, do badań stacji energetycznej wykorzystywano obiektyw o kącie widzenia 24°. Dzięki temu pomiary można wykonywać z rozdzielczością 0,1°C. Zakres pomiarowy systemu termowizyjnego T620 obejmuje przedział temperatur od - 40°C do + 650°C [39].

Sposób przeprowadzania pomiarów - za pomocą systemu termowizyjnego T620 badania przeprowadzane były w następujący sposób: każdy element stacji energetycznych i ważnych odbiorników energii elektrycznej wizowany był kamerą termowizyjną poprzez obserwację obrazu termalnego na monitorze i w ten sposób oceniano się, czy jego temperatura przekracza dopuszczalną wartość. Jako elementy o zwiększonej temperaturze przyjmuje się te, których zmierzona wartość przekracza o 10°C temperaturę otoczenia (jako temperaturę otoczenia przyjmuje się temperaturę elementów sąsiednich pracujących prawidłowo). System T620 pozwala na bezpośredni odczyt temperatury bezwzględnej lub różnicy temperatur (temperatura obiektu minus temperatura otoczenia) uszkodzonego elementu, z uwzględnieniem różnorodnych wielkości wpływowych na emitancję obiektu. Przykładowe obrazy termowizyjne zostały przedstawione na rysunku 6.1.



Rys. 6.1. Obrazy termowizyjne silnika i przekładni wentylatora suszarni słoju
Źródło: Raport z badań termowizyjnych Politechniki Poznańskiej z 2015 roku

Badania wibrodiagnostyczne - od 2011 roku wdrożono w słodowni system rocznych pomiarów wibrodiagnostycznych wybranych układów napędowych wentylatorów klimatyzacji zamaczalni, skrzyń Saladina, suszarni słoju oraz wentylatorów aspiracji. W suszarni słoju realizowany jest ciągły

pomiar drgań i temperatury łożysk wentylatorów procesu suszenia słoðu. Informacje te są rejestrowane przez sterownik i wykorzystywane do potwierdzenia zdatości technicznej omawianych wentylatorów. Badania te wykonywane są przez zewnętrzną firmę.

W 2014 roku zamontowano w suszarni słoðu nową przekładnię, która współpracuje z wentylatorem promieniowym (500 kW mocy), wyposażoną w czujniki drgań i czujniki temperatury służące do kontroli zainstalowanych w przekładni łożysk. Układ pomiarowy przekładni został dodatkowo doposażony w czujniki temperatury i poziom oleju. Wszystkie informacje z tychże czujników są wbudowane do sterownika PLC, który aktywnie nadzoruje bezpieczeństwo procesu suszenia słoðu.

Należy nadmienić, że podczas każdego badania wszystkie wentylatory suszarni słoðu były poddane diagnostyce wibroakustycznej. Okresowe pomiary drgań obiektów technicznych były wykonywane, przez zewnętrzną firmę, przy użyciu przenośnego urządzenia do pomiaru i analizy drgań VIBSCANNER firmy PRUFTECHNIK oraz czujnika model 6.142R.

Zebrane dane dla analizowanych parametrów prędkości drgań, przyspieszenia i obwiedni przyspieszenia drgań poddano szczegółowej analizie z wykorzystaniem oprogramowania OMNITREND, które posiada pełną bazę danych o wszystkich typach łożysk produkowanych przez czołowych producentów. Podając typ badanego łożyska program automatycznie oblicza częstotliwości charakterystyczne dla uszkodzenia danego elementu łożyska (bieżnia zewnętrzna, bieżnia wewnętrzna, element toczny oraz koszyk). Podczas oceny stanu technicznego wentylatorów i silników elektrycznych zakładu dokonano pomiaru każdego węzła łożyskowego wentylatorów w trzech płaszczyznach: poziomej, pionowej oraz osiowej.

Ocenę stanu dynamicznego wentylatorów przeprowadzono na podstawie pomiaru prędkości drgań V [rms] i, korzystając z normy ISO 10816-3, wzięto pod uwagę moc jednostki napędowej, prędkości obrotowej oraz sposób posadowienia układów. Dla powyższych założeń zostały określone progi alarmowe dla każdej maszyny: dobry, akceptowalny, dopuszczalny i niedopuszczalny.

Natomiast do oceny stanu łożysk wentylatorów wykorzystano wartość bezwzględną przyspieszenia drgań Acc [0-P] w zakresie 2 - 40kHz. Na podstawie danych z poprzednich pomiarów tego samego wentylatora wyznaczono progi alarmowe: dobry, akceptowalny, dopuszczalny oraz niedopuszczalny. Z chwilą przekroczenia progu o wartości dopuszczalnej uruchomiona została analiza częstotliwościowa obwiedni, która jest uznawana za najskuteczniejszą metodę oceny stanu łożysk.

Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów drgań wentylatorów planowano, i później zrealizowano, wiele działań zapobiegawczych, w celu ograniczenia lub likwidacji istniejących drgań. Żadne z uzyskanych wyników badań nie zmusiły użytkownika do wyłączenia wentylatorów z ruchu. Wszystkie czynności obsługi eksploatacyjnej wykonane były w normalnych

przerwach technologicznych wentylatorów, bez wpływu na zmianę harmonogramu produkcji słodu oraz bez wpływu na poziom jakości produkowanego słodu.

Bazując na wynikach uzyskanych z pomiarów wibrodiagnostycznych, planowane były naprawy lub wymiany układów napędowych analizowanych wentylatorów. Pozwoliło to na znaczne zmniejszenie ryzyka powstania awarii wentylatorów i podniosło skutecznie bezpieczeństwo produkcji słodu oraz także pracującego w zakładzie personelu. Zaplanowano objęcie pomiarami wibrodiagnostycznymi pozostałych wentylatorów pracujących w słodowni oraz także innych istotnych dla zakładu typów maszyn i urządzeń, takich jak motoreduktory czy pompy.

Poniżej przykładowy opis danych technicznych wentylatora procesu suszenia słodu komory suszarniczej nr 1 przedstawia się następująco:

- typ i producent VZ80N10DOEK2240 Pollrich,
- moc silnika 500 [kW],
- liczba obrotów silnika 1488 [obr/min],
- liczba obrotów wentylatora 642 [obr/min],
- typ podstawy sztywne T/P.

Dla tego typu wentylatora przyjęto klasę klasyfikacji G, która określa graniczne wartości prędkości drgań [mm/s] i wyróżnia się jego cztery klasy stanu technicznego o następujących opisach:

- A - stan dobry; wartość prędkości drgań od 0 – 2,8 [mm/s],
- B - stan dopuszczalny; wartość prędkości drgań od 2,8 – 7,1 [mm/s],
- C - stan dopuszczalny przejściowo; wartość prędkości drgań od 7,1 – 18 [mm/s],
- D – stan awaryjny; wartość prędkości drgań od 18 i więcej [mm/s].

W 2014 roku, na wniosek doktoranta, w celu uzyskania wcześniejszej informacji o postępujących uszkodzeniach łożysk, zdecydowano o półrocznych okresach badań wibrodiagnostycznych. Tak jak poprzednio, usługa ta była zlecona zewnętrznej firmie. Wyniki pomiarów wibrodiagnostycznych są ważnym źródłem informacji diagnostycznych, ułatwiających zarządzającym działem utrzymania ruchu słodowni podjęcie decyzji o wykonaniu koniecznych napraw wentylatorów lub ich wyważeniu.

W przyszłości, w pierwszej kolejności, należy zalecić wprowadzenie na szerszą skalę diagnostyki ciągłej dla wszystkich wentylatorów obsługujących suszarnię słodu. W miarę możliwości wibrodiagnostyką ciągłą powinny zostać objęte pozostałe wentylatory skrzyń Saladina i zamaczalni, aż po obiekty techniczne zlokalizowane na pozostałych działach słodowni.

Diagnostyka oleju - analizy oleju przekładniowego były wykonywane w słodowni dla przekładni linii transportu namoczonego jęczmienia z kadzi zamaczalnikowych do skrzyń Saladina i ze skrzyń Saladina na suszarnię, a także dla przekładni napędzających wentylatory suszenia słodu.

Z wykonanych analiz uzyskano informację o konieczności zmiany niektórych dotychczasowych okresów użytkowania olejów w przekładniach.

Diagnostyka oleju przekładniowego dzieli się na dwie grupy:

- a) analizę śladowych ilości cząstek oleju powstałych ze zużycia elementów urządzenia, które są transportowane przez olej,
- b) analizę właściwości fizycznych i chemicznych eksploatowanego oleju.

Kryteria oceny jakości oleju przekładniowego:

- barwa oleju,
- zużycie - zawartość metali, m.in: żelaza, chromu, cyny, aluminium, niklu, miedzi, ołowiu, molibdenu, PQ Index
- zanieczyszczenia: krzem, potas, sód i woda %,
- własności oleju - lepkość w 40°C i w 100°C, indeks lepkości,
- zawartość dodatków: wapnia, fosforu, boru, magnezu, cynku, baru i siarki.

Najważniejsze własności użytkowe olejów przekładniowych:

1. Lepkość - podstawowa własność fizykochemiczna oleju opisująca opory przepływu jakie stawia olej podczas przemieszczenia się. Lepkość oleju jest uzależniona od temperatury i ciśnienia. Wraz ze wzrostem temperatury lepkość oleju spada, gdy natomiast temperatura się obniża lepkość oleju wzrasta. Korzystając z wyników lepkości oleju oznaczonej w temperaturach 40°C oraz 100°C, a także używając specjalnych tablic, można obliczyć wskaźnik lepkości oleju. Wskaźnik ten jest wielkością bezwymiarową, przy czym, im jego wartość jest wyższa, tym zmiana lepkości z jednoczesną zmianą temperatury jest mniejsza,
2. PQ Index - oznacza zawartość ferromagnetycznych produktów (m.in. żelazo i nikiel) pochodzących ze zużycia się elementów trących. Bezwymiarowy parametr PQ Index, nieprzekraczający wartości 25, jest traktowany jako normalny proces zużycia podczas eksploatacji. Wysoki poziom metalicznego ścieru jest określony przez wysoką wartość PQ Index, natomiast niski poziom cząstek ferromagnetycznych jest wyrażony niską wartością tegoż parametru,
3. Ocena pozostałego okresu użytkowania (Reamaining Useful Life Evaluation Routine – RULER) umożliwiającą określenie poziomu zawartości antyutleniacza dzięki metodzie voltametrycznej. Zakłada się, że świeży olej posiada 100% antyutleniacza, natomiast czysty elektrolit używany jest jako odniesienie o wartości 0%. Wynik analizy odnoszony jest do próbki wzorcowej i jest podawany w procentach,
4. Kolorymetria sączka membranowego (Membrane Patch Colorimetry - MPC) pozwalająca wykryć w oleju nierozpuszczalne osady z zastosowaniem analizy widmowej. Uzyskanie z analizy wartości indeksu MPC równej 35 stanowi sygnał alarmowy do natychmiastowej wymiany eksploatowanego oleju.

Pozytywna analiza oleju przekładniowego potwierdza bezpieczeństwo funkcjonowania przekładni, a tym samym pozwala zaoszczędzić czas pracy personelu utrzymania ruchu oraz zmniejszyć koszty związane z przedterminową wymianą oleju. Ocena negatywna jest również istotna, ponieważ informuje nas o konieczności natychmiastowej wymiany eksploatowanego oleju w badanej przekładni. Wcześniejsza wymiana oleju przekładniowego pozwala uniknąć potencjalnego zagrożenia spowodowanego awarią przekładni napędzającej maszynę lub urządzenie zakładu.

Należy podkreślić, że diagnostyka olejowa oszczędza także czas i pieniądze, gdyż wcześniejsza wymiana oleju jest zazwyczaj znacznie tańsza niż usuwanie skutków powstałej awarii badanej przekładni.

6.4. PODSTAWY ANALIZY KORELACYJNEJ I REGRESJI

W dzisiejszych czasach, w każdej dziedzinie życia, mamy do czynienia ze zjawiskiem szumu informacyjnego. Zachodzi zatem konieczność wykonania oceny jakości oraz właściwej interpretacji zebranych informacji. Zastosowanie w tym celu statystyki matematycznej pozwala badaczom uzyskać precyzyjne wnioski w oparciu o niepewne i obciążone błędem dane [86].

Na podstawie przeprowadzonych badań statystycznych można uzyskać informacje o tym, czy analizowane dwie zmienne są ze sobą istotnie statystycznie powiązane. Służy do tego analiza korelacji i regresji [12].

Analiza korelacji dostarcza wiedzy na temat siły współistnienia cech obu badanych zmiennych. Obliczany współczynnik korelacji r przyjmuje zawsze wartość w przedziale od -1 do 1. Kiedy mówimy, że dwie zmienne są ze sobą skorelowane, to mamy na myśli fakt istnienia wpływu zmiany wartości pierwszej z nich na drugą. Nie znamy jednak odpowiedzi, która z nich tak naprawdę wpływa na powstanie tej zmiany.

Analiza korelacji dwóch zmiennych daje informacje o istotności statystycznej związku oraz o tym, jaka jest wartość i znak współczynnika korelacji r . Jeżeli analizowane zmienne mają rozkład normalny i występuje zależność liniowa, stosuje się wówczas korelację Pearsona. W przypadku zmiennych, które nie mają rozkładu normalnego oraz nie występuje zależność liniowa, wykorzystuje się wtedy korelację nieparametryczną rang Spearmana [40; 71].

Wykonanie analizy regresji jest konieczne dla ustalenia czy powstałe równanie jest adekwatne do rzeczywistości. W tym przypadku opieramy się na teście F Fischera i obliczamy współczynnik determinacji R^2 , opisujący miarę dopasowania modelu regresji do naszych danych i informujący o mierze siły liniowego związku między danymi.

Współczynnik determinacji oznacza jaką część zmienności cechy Y może być opisana za pomocą zmienności cechy X . Jest on jedną z miar dokładności dopasowania regresji do danych empirycznych. Wartość $R^2 = 1$ oznacza

doskonale dopasowanie. Podany procentowo wskazuje w jak dużym stopniu model wyjaśnia zaobserwowaną zmienność [82; 85].

Podczas budowy modelu regresji bierzemy pod uwagę tylko zmienne niezależne, które są skorelowane ze zmienną zależną. Stosując regresję krokową postępującą można utworzyć najlepiej dopasowany model regresji. Polega ona na kolejnym (krokowym) dołączaniu do listy zmiennych objaśniających (niezależnych) uwzględnionych w modelu tych zmiennych, które mają najistotniejszy wpływ na zmienną zależną [2; 41; 83].

Na początku analizy dokonujemy weryfikacji hipotez statystycznych w celu sprawdzenia przypuszczeń (założeń) o populacji, sformułowanych bez zbadania jej całości.

Hipoteza statystyczna to dowolne przypuszczenie dotyczące nieznanego rozkładu prawdopodobieństwa badanych zmiennych losowych. Jeżeli dotyczy ona parametrów rozkładu nazywamy ją hipotezą parametryczną. W innym przypadku mamy do czynienia z hipotezą nieparametryczną. Hipoteza, która podlega sprawdzeniu to hipoteza zerowa H_0 . Hipotezy przeciwstawne weryfikowanej hipotezie zerowej nazywamy hipotezami alternatywnymi H_1 .

Narzędziem służącym do weryfikacji hipotez statystycznych na podstawie wyników próby jest test statystyczny. Test statystyczny jest to reguła postępowania określająca warunki, przy których należy sprawdzoną hipotezę przyjąć lub odrzucić. Weryfikacja hipotez przeprowadzana jest przy założonym poziomie prawdopodobieństwa.

W procesie sprawdzania hipotez statystycznych możemy podjąć decyzję prawidłową albo popełnić błędy dwojakiego rodzaju:

- błąd pierwszego rodzaju - polega na odrzuceniu hipotezy zerowej H_0 przy założeniu, że jest ona prawdziwa. Prawdopodobieństwo popełnienia błędu I rodzaju oznaczamy przez α i nazywamy poziomem istotności,
- błąd drugiego rodzaju - polega natomiast na przyjęciu hipotezy zerowej H_0 przy założeniu, że jest ona fałszywa. Prawdopodobieństwo popełnienia błędu II rodzaju oznaczamy przez β .

Test statystyczny uwzględniający tylko błąd I rodzaju nazywamy testem istotności [81; 94].

Test istotności współczynnika korelacji rang Spearmana

W przypadku, gdy zmienne mierzalne (co najmniej na skali porządkowej) nie mają rozkładu normalnego oraz gdy nie występuje liniowa zależność pomiędzy badanymi zmiennymi do wyznaczenia związku pomiędzy zmiennymi stosuje się korelację nieparametryczną rang Spearmana.

Polega ona na tym, że porządkujemy wartości zmiennej X, jak i Y w ciąg rosnący. Każdemu pomiarowi przyporządkowuje się kolejny numer. Najmniejszemu pomiarowi nadajemy 1, a każdemu kolejnemu o 1 więcej.

W ten sposób otrzymane wyniki zostają uporządkowane w kolejności rang. Numer każdego pomiaru nazywa się rangą.

Współczynnik korelacji rang Spearmana r_s jest miarą współzależności,

w których wartości zmiennych X i Y zastąpiono rangami od 1 do n, przyporządkowanej każdej ze zmiennych.

Współczynnik korelacji rang Spearmana oblicza się ze wzoru [81; 86]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (6.1)$$

gdzie:

d_i – różnica między rangami odpowiadających sobie wartości cech,
 n – liczba obserwacji.

Współczynnik r_s służy do opisu siły korelacji między zmiennymi i przyjmuje wartości z przedziału $-1 \leq r_s \leq 1$. Korelację pomiędzy zmiennymi sprawdzono testem istotności współczynnika korelacji rang Spearmana. Formuluje się hipotezę zerową, która jest sprawdzana i zakłada, że współczynnik korelacji między zmiennymi jest równy zero. Hipoteza alternatywna jest zaprzeczeniem hipotezy zerowej: $H_0: r_s = 0$ i $H_1: r_s \neq 0$.

Do weryfikacji hipotezy zerowej stosuje się test istotności współczynnika korelacji rang Spearmana. Wynik tego testu opisany jest za pomocą parametrów:

r_s - wartość współczynnika R Spearmana dla liczebności n ,
 t - wartość statystyki t sprawdzającej istotność współczynnika r_s ,
 p - poziom prawdopodobieństwa p dla statystyki t .

Jeśli prawdopodobieństwo testowe p przekracza założony poziom istotności α , to brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej.

Jeśli natomiast $p < \alpha$, to hipotezę zerową odrzuca się i przyjmuje się hipotezę alternatywną. Odrzucenie hipotezy zerowej jest równoważne z tym, że współczynnik korelacji jest różny od zera, a tym samym pomiędzy badanymi dwiema zmiennymi istnieje korelacja.

Do budowy modelu regresji brane są pod uwagę tylko te zmienne niezależne, które są skorelowane ze zmienną zależną [83].

Regresja wieloraka występuje w przypadku, gdy mamy do czynienia z co najmniej dwiema zmiennymi objaśniającymi (niezależnymi). Jeżeli mamy n obserwacji zmiennych x_1, x_2, \dots, x_k , o których przypuszczamy, że wywierają wpływ na zmienną zależną Y , to model regresji wielorakiej ma postać [86]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_k \cdot X_k + \varepsilon \quad (6.2)$$

gdzie:

Y – zmienna zależna (objaśniana),
 β_j – parametry modelu (współczynniki regresji), $j = 0, 1, 2, \dots, k$,
 X_j – zmienne niezależne (objaśniające),
 ε – składnik losowy.

Współczynniki β_j są wielkościami teoretycznymi. Możemy je oszacować na podstawie n-elementowej próby. Oszacowana funkcja regresji wielorakiej przyjmuje postać [81; 86; 94]:

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_{1i} + b_2 \cdot x_{2i} + \dots + b_k \cdot x_{ki} + e_i \quad (6.3)$$

gdzie:

$i = 1, 2, \dots, n$ – kolejne numery elementów obserwacji,

e_i – zmienna losowa (tzw. reszty $e_i = y_i - \hat{y}_i$).

Oszacowania b_0, b_1, \dots, b_k dobieramy tak, aby suma kwadratów reszt osiągnęła minimum. Metoda szacowania w ten sposób parametrów regresji nosi nazwę metody najmniejszych kwadratów (MNK) [81; 86; 94]:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \min \quad (6.4)$$

gdzie:

y_i - wartości empiryczne zmiennej Y,

\hat{y}_i - wartości teoretyczne.

Oceny parametrów b_0, b_1, \dots, b_k nazywamy współczynnikami regresji. Zastosowanie metody najmniejszych kwadratów wymaga spełnienia odpowiednich założeń modelu:

- model jest liniowy względem parametrów,
- liczba obserwacji n musi być zawsze większa lub równa liczbie szacowanych parametrów, tj. $n \geq k + 1$,
- żadna ze zmiennych niezależnych nie może być kombinacją liniową innych zmiennych niezależnych,
- składnik losowy e_i posiada wartość oczekiwaną równą zeru [$E(e_i) = 0$ dla wszystkich $i = 1, 2, \dots, n$],
- wariancja składnika losowego (reszt e_i) jest taka sama dla wszystkich obserwacji [$Var(e_i) = \sigma^2$ dla wszystkich $i = 1, 2, \dots, n$].
- składniki losowe (reszty) są nieskorelowane, czyli e_i oraz e_j są od siebie niezależne dla wszystkich par i oraz j, gdzie $i, j = 1, 2, \dots, n$ oraz $i \neq j$,
- każdy ze składników losowych (reszty) ma rozkład normalny.

Wynik regresji opisany jest za pomocą parametrów [81; 86; 94]:

- r - współczynnik korelacji,
- R^2 - współczynnik determinacji (miara dokładności dopasowania regresji do danych empirycznych),
- błąd std. - błędy szacunku współczynników regresji ,
- F - wartość statystyki F badającą istotność całego modelu,
- ocena - estymacja parametrów modelu regresji wielorakiej, obliczana metodą najmniejszych kwadratów (MNK),
- t (df) - wartość statystyki t badająca istotność współczynników regresji przy df stopniach swobody,
- p - poziom prawdopodobieństwa p.

Współczynnik korelacji r określa siłę oddziaływania zespołu zmiennych niezależnych (X_1, X_2, \dots, X_k) na zmienną zależną Y . Przybiera ona wartości od 0 do 1, gdzie wartość $r = 0$ oznacza, że zmienna Y nie zależy liniowo od żadnej zmiennej niezależnej, a wartość $r = 1$ oznacza związek funkcyjny.

Współczynnik determinacji R^2 jest jedną z miar dokładności dopasowania regresji do danych empirycznych. Przybiera ona wartości od 0 do 1, gdzie wartość $R^2 = 0$ oznacza brak powiązania między zmiennymi (brak dopasowania), a wartość $R^2 = 1$ oznacza doskonałe dopasowanie. Podany procentowo wskazuje w jak dużym stopniu model wyjaśnia zaobserwowaną zmienność [40].

Błąd standardowy estymacji (S_e) informuje o przeciętnej wielkości odchyłeń empirycznych wartości zmiennej zależnej od wartości teoretycznej (od wartości wyliczonych z modelu)[82; 83]:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2}} \quad (6.5)$$

Statystyka F służy do weryfikacji hipotezy istotności całego modelu. Test ten weryfikuje hipotezę, że wszystkie współczynniki regresji jednocześnie są równe zero [82]:

$$H_0: \beta_j = 0 \text{ dla } j = 0, 1, 2, \dots, k \text{ i } H_1: \text{istnieje } j, \text{ że } \beta_j \neq 0$$

Hipoteza zerowa mówi, że żadna j -ta zmienna niezależna w modelu nie ma istotnego wpływu na zmienną zależną. Hipoteza alternatywna oznacza, że istnieje co najmniej jedna zmienna istotnie związana ze zmienną Y . Jeśli prawdopodobieństwo testowe p przekracza założony poziom istotności α , oznacza to brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Jeśli natomiast $p < \alpha$, to hipotezę zerową odrzuca się i przyjmuje się hipotezę alternatywną.

Ocena - wynik oszacowania współczynników regresji b_0, b_1, \dots, b_k wraz z błędami standardowymi ocen tych parametrów.

Statystyka t -Studenta służy do weryfikacji hipotezy istotności każdego współczynnika regresji osobno. Stawiamy hipotezę, że współczynnik regresji jest równy zero [82; 86; 94]:

$$H_0: \beta_j = 0 \text{ dla } j = 0, 1, 2, \dots, k \text{ i } H_1: \beta_j \neq 0$$

Hipoteza zerowa mówi, że zmienna niezależna X_j nie ma istotnego wpływu na zmienną zależną Y . Hipoteza alternatywna oznacza, że zmienna X_j jest istotnie związana ze zmienną Y . Jeśli prawdopodobieństwo testowe p przekracza założony poziom istotności α , to brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Jeśli natomiast $p < \alpha$, to hipotezę zerową odrzuca się przyjmując hipotezę alternatywną.

Regresja krokowa postępująca - jest to regresja wieloraka, która krok po kroku tworzy „najlepszy” model regresji. Polega ona na kolejnym (krokowym) dołączaniu do listy zmiennych objaśniających (niezależnych) uwzględnionych

w modelu tych zmiennych, które mają najistotniejszy wpływ na zmienną zależną [2; 41; 94].

Test normalności W Shapiro-Wilka zalecany jest do wyników o liczbie przypadków mniejszych od 2000. Musimy rozstrzygnąć czy badana zmienna ma rozkład normalny, tj. czy badaną próbkę możemy uważać za wybraną losowo z populacji o rozkładzie normalny [85; 86]?

7. WYNIKI BADAŃ Z ZAKRESU EKSPLOATACJI MASZYN I URZĄDZEŃ SŁODOWNI

7.1. ZESTAWIENIE AWARII CZĘŚCI MASZYN I URZĄDZEŃ W OKRESIE OD 2011 DO 2014 ROKU

Liczbowa charakterystyka awarii części maszyn i urządzeń zaprezentowana jest w tabeli 7.1. Znajdują się w niej dane dotyczące liczby zdarzeń awaryjnych oraz liczba godzin trwania awarii.

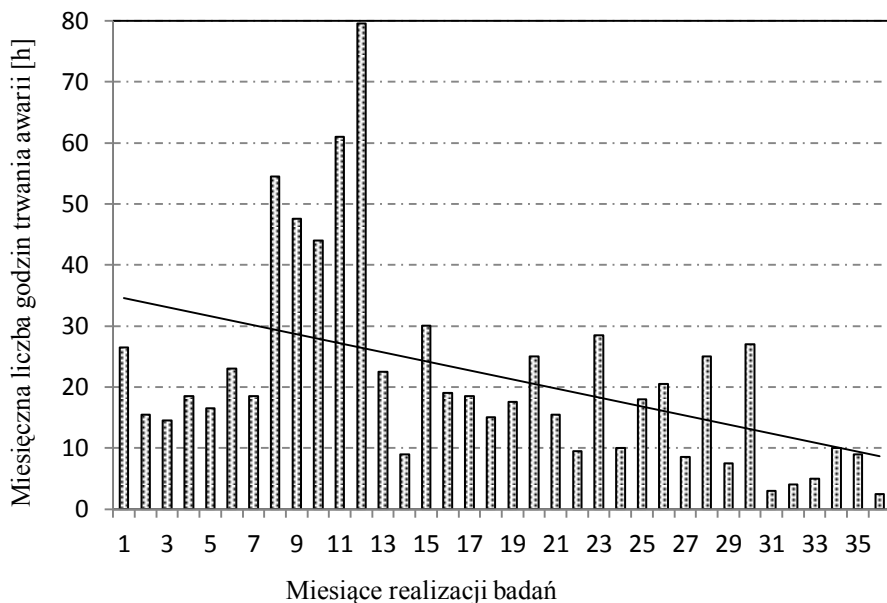
Tabela 7.1. Wykaz liczby awarii oraz czasu ich trwania dla maszyn i urządzeń całego zakładu w zależności od ich lokalizacji z okresu 36 miesięcy z lat 2011 - 2014

Lp.	Nazwa grupy lokalizacji zdarzeń	Liczba zdarzeń awaryjnych [szt.]		Liczba godzin trwania awarii [h]	
		wszystkich	mających wpływ na przerwę w produkcji	wszystkich	mających wpływ na przerwę w produkcji
1	Zamaczalnia	240	55	295	112,5
2	Skrzynie Saladina	1 089	181	1 382,5	290
3	Suszarnia	820	303	883	359
4	Pozostałe działy	957	11	1 379,5	18
	Razem	3 106	550	3 940	779,5

Źródło: badania własne

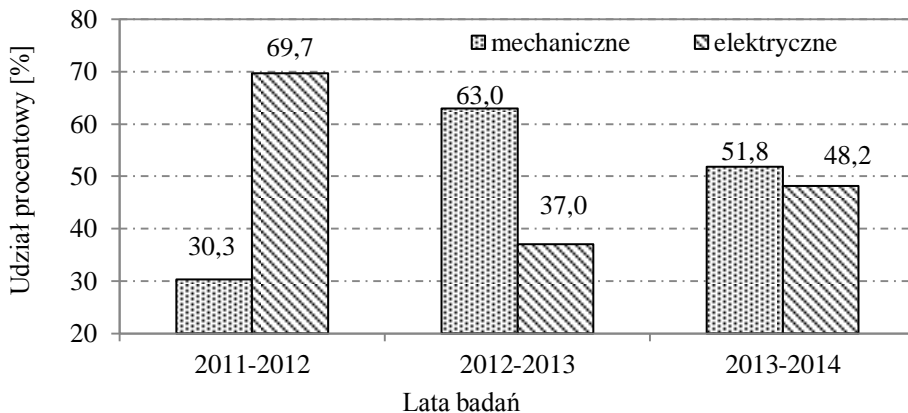
Zaobserwowano, że na skrzyniach Saladina zachodzi najwięcej awarii (1089), przy czym wpływ na przerwę w produkcji dotyczy suszarni (303). Liczba godzin trwania awarii dla wymienionych grup jest zróżnicowana, chociaż stwierdzono, że liczba ta dla skrzyń Saladina i pozostałych działów zakładu jest do siebie zbliżona. Ilościowa charakterystyka przerw w produkcji w badanym okresie jest przedstawiona na rysunku 7.1.

Badany parametr wykazuje obniżenie liczby godzin awarii z upływem czasu, przy czym miesiące badawcze od 8 do 12 posiadają charakterystyczne maksima, znacznie się różniące w odniesieniu do pozostałych miesięcy. Należy zatem wywnioskować, że w badanym obiekcie badawczym nie powtórzyły się takie same wyniki w okresie sąsiadującym ze sobą. Oznacza to brak stabilności procesu.



Rys. 7.1. Wykaz miesięcznych liczby godzin awarii maszyn i urządzeń zakładu z wpływem na przerwę w produkcji w okresie 36 miesięcy badań z lat 2011 – 2014
 Źródło: badania własne

Dotychczasowe informacje posłużyły do identyfikacji miejsc powstawania awarii oraz czasu ich trwania. Jak wcześniej podkreślono, praca była realizowana w warunkach produkcyjnych i celem dysertacji było zlikwidowanie lub ograniczenie czasu trwania awarii.

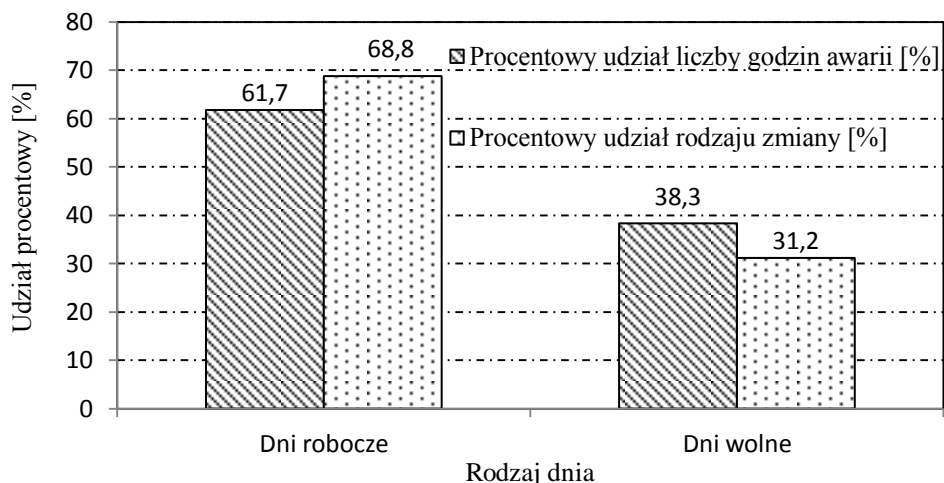


Rys. 7.2. Wykaz udziałów procentowych liczby godzin trwania czynności mechanicznych lub elektrycznych podczas usuwania awarii zakładu w okresie 36 miesięcy z lat 2011 – 2014
 Źródło: badania własne

Na rysunku 7.2 przedstawiono dane dotyczące udziału procentowego liczby godzin zrealizowanej czynności (natury mechanicznej lub natury elektrycznej), koniecznej do redukcji czasu trwania awarii.

Można zaobserwować znaczne obniżenie udziału czynności elektrycznych w ogólnym zestawieniu. W roku 2011 – 2012 udział procentowy czynności elektrycznych wynosił 69,7% ,natomiast w ciągu dwóch lat udział tej grupy przyczyn awarii obniżył się do wartości 48,2%. Należy podkreślić, że w drugim roku zaobserwowano nawet udział o wartości 37,7%. Fakt ten tłumaczymy następująco: zadziałyły inne przyczyny, nie wpływające dotychczas na udział procentowy, które były głównie spowodowane przez awarie mechaniczne, zaistniałe w skrzyniach Saladina i suszarni słoðu.

W celu wykonania pełnej analizy przyczyn powstawania awarii elementów ruchomych maszyn i urządzeń słoðowni sporządzono zestawienie według kryterium rodzaju dnia (roboczy lub wolny od pracy). Rysunek 7.3 przedstawia tą zależność w powiązaniu z udziałem tychże dni w ciągu roku.



Rys. 7.3. Wykaz udziałów procentowych liczby godzin trwania awarii zakładu w zależności od rodzaju dnia w okresie 36 miesięcy z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Analizując liczbę godzin awarii, w zależności od lokalizacji maszyn oraz urządzeń (tabela 7.2), uzyskano informacje, że proces kielkowania generuje najwyższą (290 h) sumę godzin z całego okresu badawczego (łącznie zarejestrowano 779,5 h). Drugi, pod względem awaryjności, jest proces suszenia słoðu z sumą godzin awarii wynoszącą 196,5 h. Z tego zestawienia wynika, że procesy kielkowania oraz suszenia są obszarami wywołującymi najdłuższe trwające awarie maszyn i urządzeń, czyli najdłuższe przerwy w produkcji.

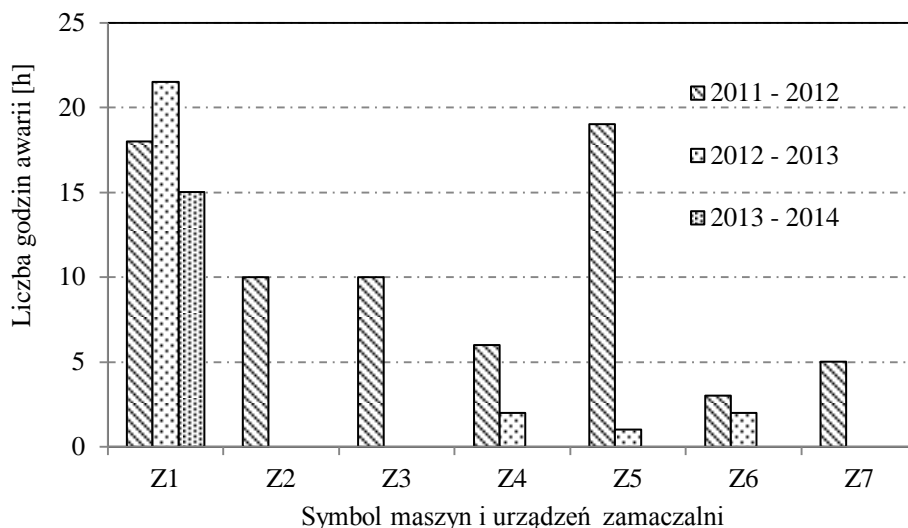
Tabela 7.2. Wykaz rocznej liczby godzin awarii maszyn i urządzeń całego zakładu w zależności od ich lokalizacji z okresu 36 miesięcy z lat 2011 – 2014

Lp.	Lokalizacja maszyn i urządzeń	Liczba godzin awarii mających wpływ na przerwę w produkcji [h]			
		2011-2012	2012-2013	2013-2014	Suma
1	linia zamoczki	26	24,5	15	65,5
2	proces zamaczania	45	2	0	47
	Zamaczalnia	71	26,5	15	112,5
1	linia wymoczki	44	5,5	24,5	74
2	proces kiełkowania	151	60	5	216
	Skrzynie Saladina	195	65,5	29,5	290
1	linia zielonego słodu	50	55,5	57	162,5
2	proces suszenia	96,5	63,5	36,5	196,5
3	linia słodu z suszarni	0	0	0	0
	Suszarnia	146,5	119	93,5	359
1	wieża operacyjna	7	9	2	18
2	nowe silosy	0	0	0	
3	ekspedycja	0	0	0	
4	chłodnictwo	0	0	0	
5	inne	0	0	0	
	Reszta	7	9	2	18
	OGÓLEM	419,5	220	140	779,5
	Zmniejszenie sumy rok do roku [%]		48	36	

Źródło: badania własne

Wpływ działań doskonalących proces produkcji słodu w zamaczalni podczas realizacji pracy dokumentuje rysunek 7.4. W badanym okresie stwierdzono w zamaczalni awarie następujących obiektów technicznych:

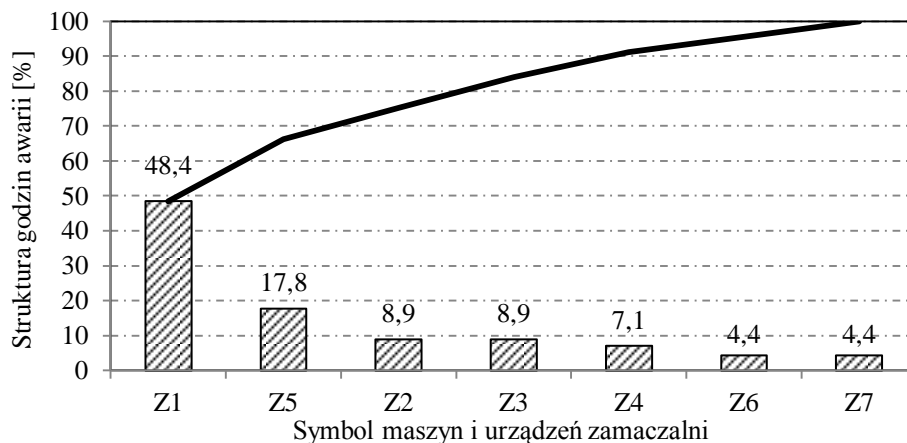
- redler nad zamaczalnikami (Z1),
- przekładnia wygarniacza sterowanie (Z2),
- zawory napełniania i spustu wody (Z3),
- zasowy i rury zasypu ziarna (Z4),
- napęd unoszenia mieszadła (Z5),
- sterowanie - uruchomienie linii zamoczki (Z6),
- INNE obiekty techniczne zamaczalni (Z7).



Rys. 7.4. Wykaz rocznej liczby godzin awarii w zamaczalni w zależności od rodzaju maszyn i urządzeń z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Podczas analizy zależności między przyczynami a skutkami wykorzystuje się Diagram Pareto-Lorenza, który, w odniesieniu do badanego obszaru, przyjmuje postać przedstawioną na rysunku 7.5. Z rysunku wynika, że prawie 67% godzin awarii spowodowanych jest przez redler nad zamaczalnikami (Z1) oraz napęd unoszenia mieszadła (Z5). Takie spostrzeżenie jest punktem wyjścia do podjęcia decyzji w zakresie doskonalenia maszyn i urządzeń wykorzystywanych w zamaczalni.



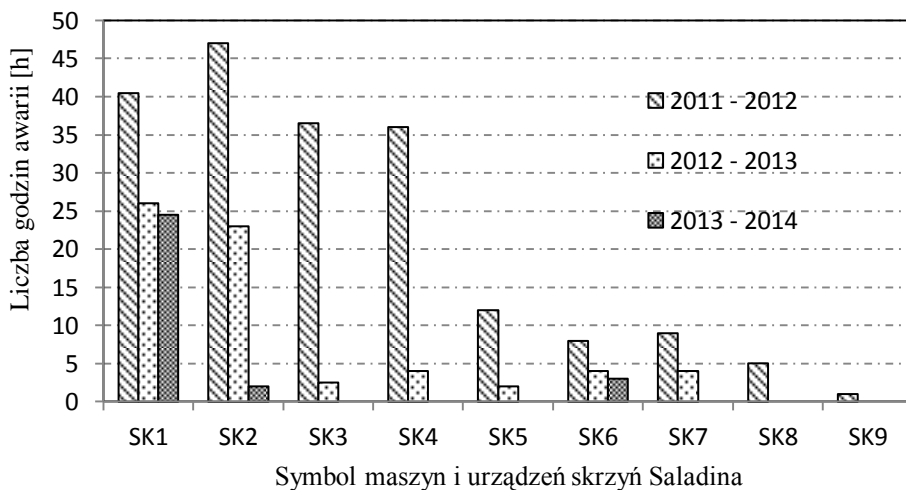
Rys. 7.5. Diagram Pareto-Lorenza liczby godzin awarii różnych grup maszyn oraz urządzeń zamaczalni z okresu 36 miesięcy z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Kielkowanie jęczmienia jest drugim etapem procesu słodowania jęczmienia i odbywa się on w skrzyniach Saladina. W badanym okresie (36. miesięcy) odnotowano tam awarie, które były związane z poniżej wyszczególnionymi maszynami i urządzeniami:

- redler w skrzyni (SK1),
- nisza wendra (SK2),
- zasuwa wymoczki (SK3),
- transporter wymoczki (SK4),
- sterowanie wymoczki (SK5),
- sito w skrzyni (SK6),
- mechanizm napędu mycia sit (SK7),
- wentylator klimatyzacji (SK8),
- INNE obiekty techniczne w skrzyniach Saladina (SK9).

Rysunek 7.6 obrazuje strukturę zarejestrowanych awarii maszyn oraz urządzeń pracujących w skrzyniach Saladina.

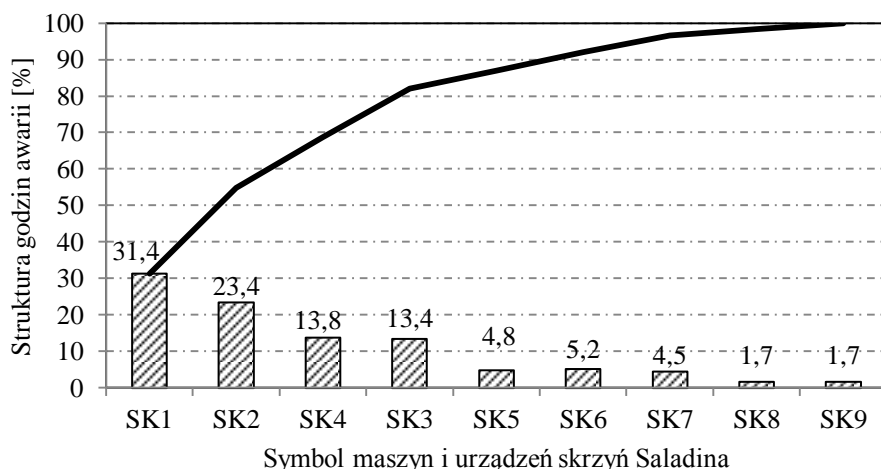


Rys. 7.6. Wykaz rocznej liczby godzin awarii w skrzyniach Saladina w zależności od rodzaju maszyn i urządzeń z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Diagram Pareto-Lorenza przedstawiony na rysunku 7.7 pozwala na przeanalizowanie zależności pomiędzy przyczynami i skutkami zarejestrowanymi w skrzyniach Saladina. Diagram informuje Czytelnika o tym, że dwie największe grupy awarii - uszkodzenia redlera (SK1) i problemy z niszą wendra (SK2) - stanowią prawie 55% wszystkich zarejestrowanych zdarzeń awaryjnych w tym obszarze. Taka informacja pozwoliła służbom utrzymania ruchu zakładu na skuteczne wdrożenie akcji korygujących,

mających na celu wyeliminowanie lub ograniczenie takich sytuacji w przyszłości.



Rys. 7.7. Diagram Pareto-Lorenza liczby godzin awarii maszyn i urządzeń skrzyń Saladina z okresu 36 miesięcy z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

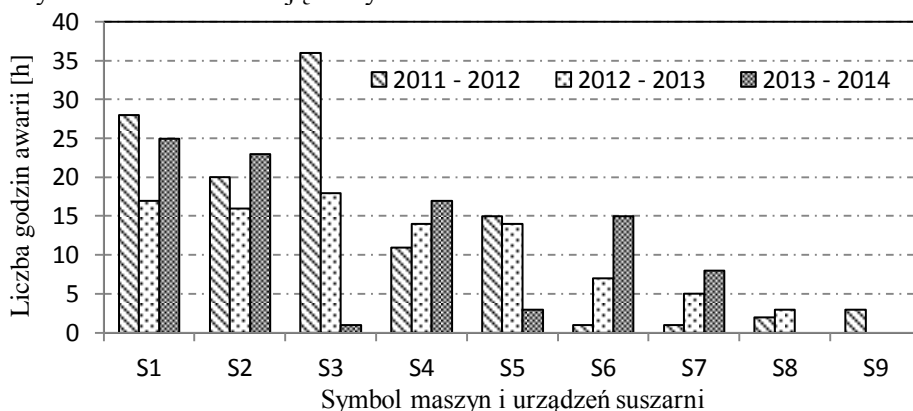
Powyższy diagram wskazuje, że dwie największe grupy awarii - uszkodzenia redlera (SK1) i problemy z niszą wendra (SK2) - stanowią prawie 55% wszystkich zarejestrowanych zdarzeń awaryjnych w tym obszarze. Po dogłębnej analizie, służby utrzymania ruchu zakładu mogły skutecznie wdrożyć akcje mających na celu wyeliminowanie lub ograniczenie takich sytuacji w przyszłości.

Suszarnia słodu jest miejscem, gdzie odbywa się końcowa operacja technologiczna związana z produkcją słodu. W badanym okresie w suszarni stwierdzono awarie następujących obiektów technicznych:

- maszyny za- i wyładowcze (S1),
- transportery załadunku ziarna do suszarni (S2),
- palniki gazowe (S3),
- klapy wyładowcze w skrzyniach (S4),
- klapy i żaluzje regulacji powietrza suszarni (S5),
- nisza wendra i sterowanie wyładunku ze skrzyni Saladina (S6),
- program suszenia (S7),
- siatka 1 - przekładnia wentylatora suszenia (S8),
- wymiennik szklany i inne (S9).

Rysunek 7.8 zawiera informacje o liczbie godzin trwania awarii poszczególnych grup urządzeń, zaprezentowanych oddzielnie dla każdego badanego roku. Największą redukcję liczby godzin awarii odnotowano dla palników gazowych suszarni (S3), od 36 godzin w pierwszym roku badania do

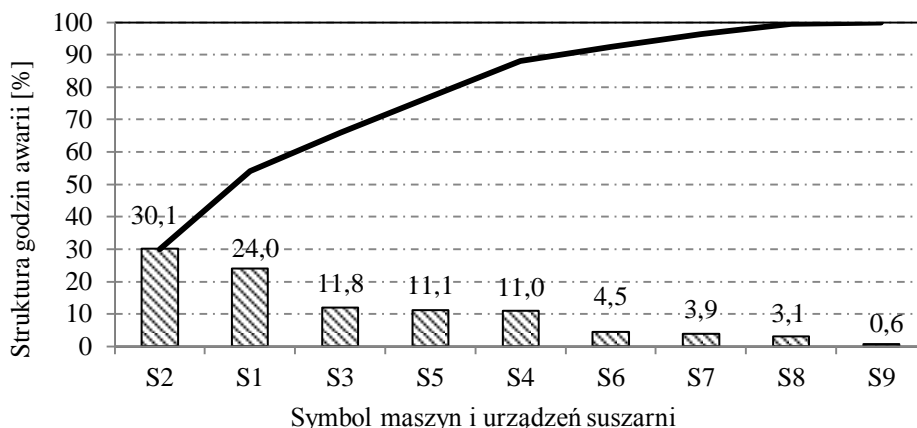
jednej godziny awarii w ostatnim roku. Tak dobry wynik został uzyskany dzięki zwiększeniu częstotliwości wykonywania przeglądów serwisowych oraz wskutek działań diagnostycznych. Jeśli chodzi o grupę awarii związaną z zaryglowaniem niszy wendra (S7) wzrosła ona w ostatnim roku realizowanych badań w stosunku do początku obserwacji. Właśnie w trakcie przeprowadzanych badań wystąpiły pierwsze symptomy zdarzeń awaryjnych spowodowanych przez siłowniki pneumatyczne odpowiedzialne za ryglowanie niszy wendra z konstrukcją skrzyni Saladina.



Rys. 7.8. Wykaz rocznej liczby godzin awarii w suszarni w zależności od rodzaju maszyn i urządzeń z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Analiza przyczyn i skutków z wykorzystaniem diagramu Pareto-Lorenza dla obszaru suszarni słoju jest przedstawiona na rysunku 7.9.



Rys. 7.9. Diagram Pareto-Lorenza liczby godzin awarii maszyn i urządzeń suszarni z okresu 36 miesięcy z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

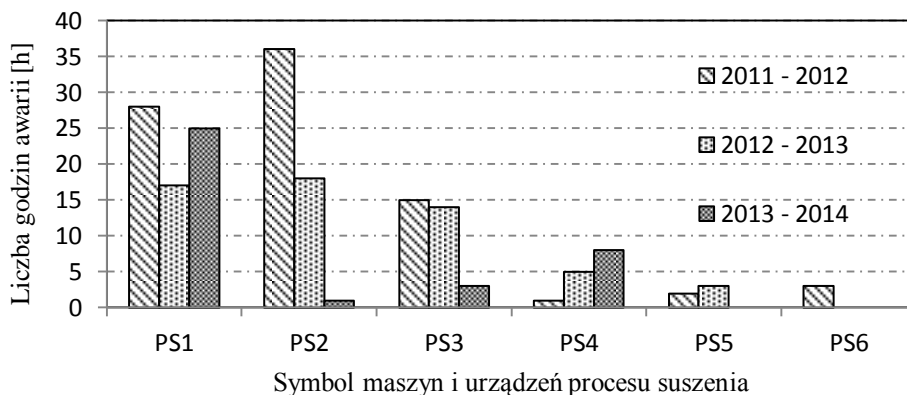
Ponad 54% skutków awarii zarejestrowanych w suszarni słodu było spowodowanych przez dwie największe grupy obiektów technicznych, tj. transportery załadunku ziarna do suszarni (S2) oraz maszyny za- i wyładowcze zainstalowane w komorach suszarniczych (S1).

Suszarnia słodu jest tym szczególnym miejscem zakładu, w którym maszyny i urządzenia najmocniej wpływają na tempo produkcji i tym samym na poziom jakości produkowanego słodu. Ten etap procesu słodowania jest w głównej mierze uzależniony od możliwości dostarczenia do suszarni powietrza o wymaganej temperaturze oraz ilości. Problemem badawczym doktoratu jest identyfikacja procesu technologicznego, który limituje przepływ zasobów materiałowych w procesie produkcji słodu. Można stwierdzić, że właśnie wszelkie maszyny i urządzenia pracujące w suszarni słodu należą do obszaru, który limituje przepływ jęczmienia przez słodownię. Mając powyższe na uwadze, obszar samego procesu suszenia słodu został opracowany bardziej szczegółowo, aby móc zdefiniować najważniejsze awarie maszyn oraz urządzeń mających wpływ na wydłużenie tego procesu.

W badanym okresie, lata 2011 – 2014, w procesie suszenia słodu stwierdzono awarie następujących maszyn i urządzeń:

- maszyny za- i wyładowcze (PS1),
- palniki gazowe (PS2),
- klapy i żaluzje regulacji powietrza w suszarni (PS3),
- program suszenia (PS4),
- siatka 1 - przekładnia wentylatora suszenia (PS5),
- wymiennik szklany i inne (PS6).

Rysunek 7.10 przedstawia roczne liczby godzin awarii mających wpływ na wydłużenie procesu słodowania dla najważniejszych grup maszyn i urządzeń realizujących proces suszenia słodu.

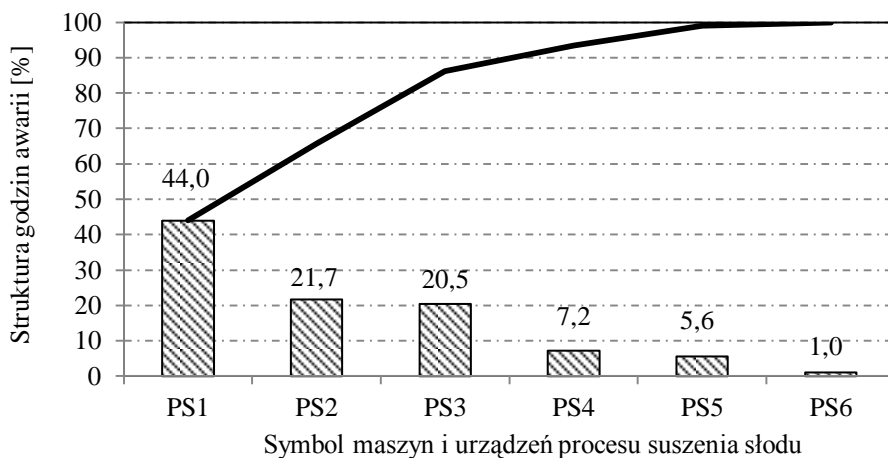


Rys. 7.10. Wykaz rocznej liczby godzin awarii procesu suszenia w zależności od rodzaju maszyn i urządzeń z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Należy zauważyć, że większość zarejestrowanych awarii obiektów technicznych znacząco zmalała w trakcie wykonywania badań (w porównaniu pierwszego i trzeciego roku badań), co świadczy o zaplanowaniu i wdrożeniu skutecznych działań korygujących oraz zapobiegawczych. Największe pozytywne zmiany dotyczą głównie palników gazowych (PS2), klap i żaluzji regulacji powietrza suszarni (PS3) oraz maszyn za- i wyładowczych (PS1). Z kolei awarie związane z programem suszenia (PS4) uległy nieznacznemu wzrostowi w drugim i trzecim roku badań (odpowiednio: 1; 5 i 8 h).

W trakcie analizy zależności między przyczynami i skutkami wykorzystuje się diagram Pareto-Lorenza, który, w odniesieniu dla badanego etapu produkcji słoðu, przyjmuje postać przedstawioną na rysunku 7.11.



Rys. 7.11. Diagram Pareto-Lorenza liczby godzin awarii maszyn i urządzeń procesu suszenia słoðu z okresu 36 miesięcy z lat 2011 – 2014

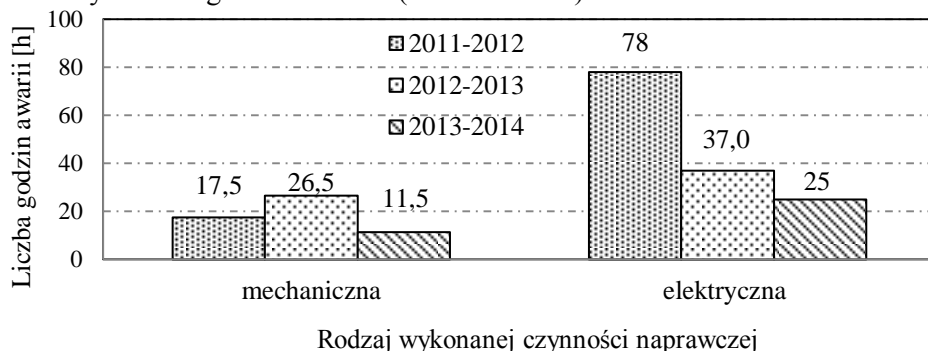
Źródło: badania własne

Analiza rysunku 7.11 pozwala na stwierdzenie, że prawie 66% godzin awarii spowodowanych jest przez maszyny za- i wyładowcze (PS1) oraz palniki gazowe (PS3). Dodając do tych dwóch grup awarie związane z klapami oraz żaluzjami regulacji powietrza w suszarni (PS3) uzyskujemy ponad 86% wszystkich zarejestrowanych awarii w badanym okresie.

Zdarzenia awaryjne zostały również przeanalizowane pod względem rodzaju wykonywanej czynności, koniecznej do ich usunięcia, i podzielone na: mechaniczne lub elektryczne. Rysunek 7.12 przedstawia rozkład roczny awarii maszyn oraz urządzeń realizujących proces suszenia słoðu.

W każdym roku badanego okresu z lat 2011 – 2014 zawsze przeważały awarie elektryczne. Wszystkie awarie, zarówno mechaniczne jak i elektryczne, wskutek wprowadzonych działań prewencyjnych oraz korygujących uległy redukcji w porównaniu pierwszego roku badań do trzeciego. Największy

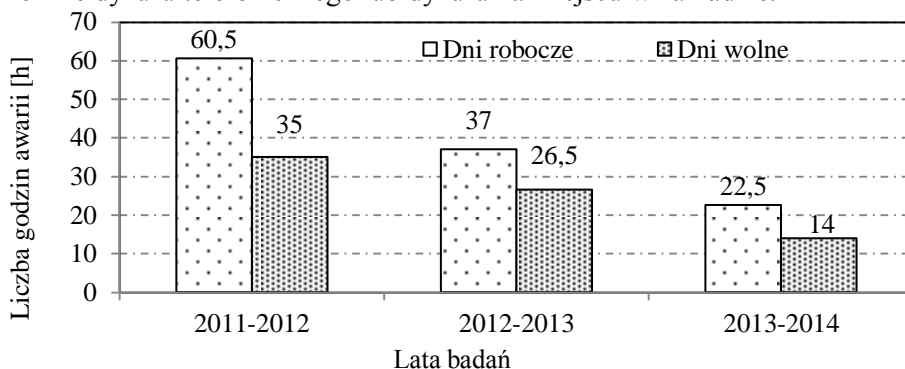
spadek rocznej liczby awarii zarejestrowano dla awarii elektrycznych zaistniałych w drugim roku badań (z 78 h do 47 h).



Rys. 7.12. Wykaz rocznej liczby godzin awarii maszyn i urządzeń procesu suszenia słoju w zależności od rodzaju czynności naprawczej z okresu trzech kampanii produkcyjnych z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Rysunek 7.13 przedstawia wyniki analizy awarii maszyn i urządzeń procesu suszenia słoju w zależności od rodzaju dnia tygodnia, czyli z zastosowaniem podziału na dni robocze i dni wolne. Należy nadmienić, że w słodowni w dni wolne od pracy pracuje zazwyczaj mniej personelu utrzymania ruchu niż w dni robocze. W dodatku, nocne zmiany są pełnione w formie dyżuru telefonicznego lub dyżuru na miejscu w zakładzie.



Rys. 7.13. Wykaz rocznej liczby godzin awarii maszyn i urządzeń procesu suszenia słoju w zależności od rodzaju zmiany roboczej wykonania czynności naprawczej z okresu trzech kampanii produkcyjnych z lat 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Wykonane badania miały na celu uzyskanie informacji pozwalającej na zaplanowanie skutecznej organizacji pracy służb utrzymania ruchu zakładu. W pierwszym roku badań zdecydowanie więcej było awarii przypadających na dni robocze (60,5 h), jednak kolejne lata badań wykazały tylko lekką przewagę liczby godzin awarii zarejestrowanych w dni robocze w stosunku do dni

wolnych od pracy (37 h oraz 22,5 h). Wskutek działań doktoranta wprowadzono wiele akcji korygujących oraz prewencyjnych dla obszaru procesu suszenia słodu, co dało znaczny spadek liczby godzin awarii w dni robocze (z 60,5 h do 22,5 h) oraz w dni wolne od pracy (z 35h do 14h).

7.2. ZESTAWIENIE ZMIENNOŚCI OBCIĄŻEŃ TECHNOLOGICZNYCH MASZYN I URZĄDZEŃ ODNOTOWANYCH W LATACH 2011 - 2014

Jednym z zagadnień, którego dotyczy rozprawa doktorska, jest zmienność obciążeń technologicznych maszyn i urządzeń. Obciążenie technologiczne maszyn i urządzeń zakładu nie jest stałe w ciągu roku oraz zmienia się od wielu czynników. Następuje to głównie poprzez zmianę:

- wielkości zamówień,
- wymagań klientów odnośnie jakości słodu,
- jakości zakupionego jęczmienia,
- rodzaju ziarna jęczmienia,
- pory roku, w której trwa proces słodowania,
- wilgotności powietrza zewnętrznego,
- wielkości partii produkcyjnej,
- liczby będących w dyspozycji maszyn i urządzeń.

Tabela 7.3. Wykaz zmienności obciążeń technologicznych występujących w latach 2011 do 2014

Lp.	Kampania produkcyjna	Liczba odmian jęczmienia użytego w produkcji słodu	Liczba użytych programów moczenia jęczmienia	Liczba użytych programów suszenia słodu	Liczba dni zaplanowanego wyłączenia z ruchu maszyn i urządzeń procesu słodowania	Wielkość rocznej produkcji słodu [t]	Roczna liczba wyprodukowanych grzęd słodu [szt.]	Średnia roczna wielkość zasypu jęczmienia na grzędę [t]
1	2011 - 2012	11	7	4	211	101 673	506	238,4
2	2012 - 2013	13	4	4	71	109 788	538	240
3	2013 - 2014	12	8	3	140	110 667	543	239,3

Źródło: opracowanie własne

W odniesieniu do danych z tabeli 7.3 charakteryzujących w sposób ilościowy zmienność obciążeń technologicznych stwierdzono, że liczba odmian jęczmienia wahała się od 11 do 13, a liczba użytych programów moczenia

ziarna wynosiła od 4 do 8. Liczba stosowanych programów suszenia słołu to 3 lub 4, natomiast liczba dni zaplanowanego wyłączenia z ruchu maszyn i urządzeń wynosiła od 7 do 211. Jeśli chodzi o wielkość rocznej produkcji słołu w tonach wahała się ona średnio na poziomie 107 tysięcy ton, do której konieczne było wykonanie od 506 do 543 grzęd słołu (partii produkcyjnych).

Zmienność obciążeń technologicznych mających wpływ na planowanie produkcji została przedstawiona w tabeli 7.4. Najbardziej istotny wpływ tej zmienności odnotowano w przypadku etapu moczenia, kiełkowania i suszenia. Zasadniczy problem stanowi pytanie: jak należy sterować palnikami oraz wentylatorami suszarni słołu, aby zapewnić ich zdatność techniczną konieczną dla zapewnienia właściwego poziomu jakości produkowanego słołu?

Tabela 7.4. Wykaz wpływu zmienności obciążeń technologicznych na eksploatację maszyn i urządzeń słodowni

Lp.	Rodzaj zmienności obciążenia technologicznego	Wpływ na proces słodowania jęczmienia	Wpływ na eksploatację maszyn i urządzeń procesu słodowania jęczmienia
1	Pora roku - lato	wydłużenie okresu wychładzania słołu na końcu etapu suszenia	mniej czasu na prace, które muszą się odbyć w suszarni bez obecności ziarna
2	Pora roku - zima	skrócenie okresu wychładzania słołu na końcu etapu suszenia	więcej czasu na prace, które muszą się odbyć w suszarni bez obecności ziarna
3	Wysoka wilgotność powietrza zewnętrznego	utrudnione ogrzanie powietrza wlotowego do suszarni	mniej czasu na prace, które muszą się odbyć w suszarni bez obecności ziarna
4	Rodzaj jęczmienia używanego w produkcji	jęczmień ozimy wydłuża proces słodowania	mniej czasu na prace, które muszą się odbyć bez obecności ziarna
5	Rodzaj programów słodowania jęczmienia	dłuższe programy wydłużają czas trwania procesu słodowania	mniej czasu na prace, które muszą się odbyć bez obecności ziarna
6	Wyłączenia z ruchu maszyn i urządzeń procesu słodowania	wyłączając jeden zamaczalnik i jedną skrzynię oraz chcąc utrzymać taką samą wydajność trzeba pracować bez przerw między grzędami	skrócony do minimum czas na prace, które muszą się odbyć bez obecności ziarna

Źródło: opracowanie własne

Należy jednak nadmienić, że liczba użytych programów suszenia słoju jest do siebie zbliżona i nie oznacza to, że dany program suszenia był wykorzystywany przez pół roku, a inny przez 3 miesiące. W rzeczywistości każda grzęda może być suszona wg innego programu i bardzo często spotyka się to w praktyce, że wszystkie programy są wykorzystywane w kolejnych grzędach. Konieczność wykorzystania danego programu suszenia słoju uwarunkowana jest przede wszystkim rodzajem używanego w produkcji jęczmienia.

Dział utrzymania ruchu ma utrudnione planowanie realizacji swoich prac, gdyż musi dostosować się ze swoimi czynnościami eksploatacyjnymi do przerw technologicznych, które mają zmienny charakter czasowy.

7.3. SKUTECZNOŚĆ DZIAŁAŃ ZAPOBIEGAWCZYCH

Zarząd korporacji wydając zezwolenie na wykorzystanie wyników charakteryzujących działalność ich przedsiębiorstwa stawia przed doktorantem możliwość doskonalenia istniejących procesów, owocujących, m.in. powtarzalnością wyników produkcyjnych i zmniejszeniem liczby godzin trwania awarii z wpływem na wydłużenie procesu słodowania.

Tabela 7.5. Działania zapobiegawcze zrealizowane w latach 2011 – 2014

Lp.	Nazwa kampanii produkcyjnej	Przeglądy prewencyjne zgodnie z 6-tygodniowym cyklem	Roczne pomiary instalacji elektrycznej	Roczne pomiary kontrolne skuteczności wentylacji	Półroczne kontrole sond i czujników temperatury i ciśnienia	Półroczne kontrole czujników bezpieczeństwa (ruchu i położenia)	Kwartalne kontrole termowizyjne instalacji elektrycznej	Kwartalne kontrole termowizyjne przekładni i silników wentylatorów	Roczne pomiary kontrolne szczelności instalacji gazowej	Roczne badanie jakości olejów w motoreduktorach	Roczne pomiary wibrodiagnostyczne łożysk wentylatorów
1	2011-2012	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-
2	2012-2013	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
3	2013-2014	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Źródło: opracowanie własne

LEGENDA: + stosowano; - nie stosowano

W analizowanym podpunkcie zostaną zaprezentowane wyniki z działań zapobiegawczych, których celem jest niedopuszczenie lub ograniczenie liczby czasu trwania awarii. Ogólna charakterystyka działań zapobiegawczych przedstawiona jest w tabeli 7.5. Z tabeli tej uzyskujemy informację, że, w pierwszym roku badawczym, na dziesięć rodzajów działań cztery z nich nie były stosowane, prawdopodobnie ze względu na brak ich wyodrębnienia z ogólnej struktury. Natomiast w drugim roku badań obszarem, który nie podlegał działaniom zapobiegawczym była tylko jakość oleju przekładniowego w motoreduktorach. W niniejszej pracy, na podstawie danych zaczerpniętych z literatury, wykazano konieczność prowadzenia prewencji w tym zakresie, co miało swoje odzwierciedlenie w trzecim okresie badawczym, kiedy w zakładzie wzięto już pod uwagę wszystkie 10 obszarów zapobiegawczych.

Przechodząc do szczegółów działań zapobiegawczych uzyskujemy wyniki przedstawione w tabeli 7.6.

Tabela 7.6. Wykaz realizowanych przeglądów prewencyjnych w latach 2011 – 2014

Przeglądy prewencyjne zgodnie z 6-tygodniowym cyklem							
Lp.	Nazwa działu	Smarowanie - 1x/ tydzień	Linie transportu ziarna	Maszyny wyladowcze	Linia zielonego słoju	Wentylatory	Przekładnia wentylatora suszenia słoju
1	Zamaczalnia	+	co 2 tygodnie	co 6 tygodni	-	co tydzień	-
2	Skrzynie Saladina	+	co 2 tygodnie	co 3 tygodnie	-	co tydzień	-
3	Suszarnia	+	co tydzień	co tydzień	2x / tydzień	co tydzień	co tydzień

Źródło: opracowanie własne

LEGENDA: + stosowano; - nie stosowano

Działaniami zapobiegawczymi przeznaczonymi dla maszyn i urządzeń są:

- przeciwdziałanie skutkom uszkodzeń wskutek zaplanowanej ich eksploatacji,
- stosowanie metod diagnostycznych,
- zwiększenie naprawialności,
- przedłużenie okresu użytkowania maszyn i urządzeń (przedeksplatacyjne oraz eksploatacyjne).

Działania zapobiegawcze wprowadzone na podstawie zanotowanych awarii w okresie 36 miesięcy z lat 2011 – 2014 zaprezentowano w podziale na miejsce ich realizacji, tj. zamaczalnia, skrzynie Saladina i suszarnia słodu.

Zamaczalnia

1. Uszkodzenia przekładni redlera zamoczki:
 - montaż czujników na klapach przeciążeniowych (blokada wysypu ziarna),
 - kontrola drożności rur zasypowych ziarna do zamaczalnika, min. 1 raz na tydzień,
 - montaż falownika w celu łagodnego startu przekładni przenośnika.
2. Przekładnie wygarniacza:
 - montaż elektronicznego zabezpieczenia przeciążenia silnika,
 - zmiana w programie sterowania wymoczką poprzez kontrolę obciążenia pracy dwóch przekładni pracujących równolegle. Każde przekroczenie wskazań o 10% powinno uruchomić alarm i wyłączyć pracę. Obsługa powinna zmienić nastawy prędkości powodujące spowolnienie tempa wyładunku ziarna z zamaczalnika,
 - w razie uszkodzenia jednej z przekładni należy wymienić obie, przed kolejnym wyładunkiem ziarna,
 - montaż falowników w celu łagodnego startu przekładni wygarniaczy.
3. Uszkodzone sita w zamaczalnikach nr 1 i 2:
 - wymiana sit na nowe,
 - kontrola szczelności sit po każdym wyładunku ziarna.
4. Uszkodzenia pasków klinowych wentylatorów odsysania CO₂:
 - montaż falowników w celu łagodnego startu silników,
 - wymiana pasków klinowych na nowe co trzy lata.

Skrzynie Saladina

1. Uszkodzenie łańcuchów redlerów wymoczek:
 - montaż czujników na klapach przeciążeniowych (blokada wysypu ziarna),
 - remont łańcuchów redlerów,
 - docelowa zamiana redlerów na przenośniki taśmowe.
2. Przeciążenie przekładni przenośników ślimakowych wyładunku zielonego słodu:
 - częstsze (nie rzadziej niż raz na trzy tygodnie) kontrole drożności wylotu ziarna,
 - częstsze (minimum raz na trzy tygodnie) kontrole łożysk i łańcuchów napędowych maszyny,
 - montaż elektronicznego zabezpieczenia przeciążenia silnika,
 - zmiana w programie sterowania wyładunkiem ziarna polegająca na kontroli obciążenia pracy i wyłączenia, w razie przekroczenia nastawionej wartości. Układ rusza automatycznie z obniżoną prędkością posuwu wendra i po trzeciej zmianie prędkości posuwu wysyła automatycznie powiadomienie do Operatora. Piąta zmiana

prędkości posuwu wendra spowodowana wzrastającym obciążeniem pracy przenośnika powoduje jego awaryjne wyłączenie.

3. Uszkodzenia wentylatorów klimatyzacji:
 - montaż falowników w celu łagodnego startu silników,
 - w razie drobnego uszkodzenia możliwość pracy na mniejszych nastawach częstotliwości w celu dokończenia procesu technologicznego w przypadku objawów zużycia łożysk,
 - co trzy lata wymiana pasków klinowych na nowe,
 - co trzy lata wymiana łożysk wirników wentylatorów,
 - co pięć lat wymian łożysk wirnika silnika elektrycznego.
4. Wypadnięcie wendrów z szyn jezdnych:
 - montaż dodatkowych czujników pozycji pracy, tak, aby były na wszystkich czterech narożnikach wendra,
 - częstsze kontrole poprawności wskazań czujników, minimum co 3 tygodnie,
 - zwiększenie częstotliwości kontroli mocowania szyn jezdnych do konstrukcji nośnych, minimum co 3 tygodnie,
 - sprawdzać stan wałów rolek jezdnych co kwartał,
 - co pięć lat wymienić na nowe rolki jezdne wraz z wałami.
5. Wadliwe garażowanie wendrów na początku skrzyni:
 - kontrola ustawień czujników garażowania,
 - kontrola siłowników blokujących pozycję wendra,
 - kontrola programu na sterowniku i jego ewentualna modyfikacja ,
 - kontrola kół zębatych współpracujących z listwą zębatą, z naciskiem na weryfikację czy zęby nie nachodzą na siebie wzajemnie,
 - kontrola łożysk wału jazdy wendra,
 - co pięć lat wymienić łożyska i koła jazdy wendra.
6. Problemy z siłownikami pneumatycznymi klap wyładowczych:
 - częstsze kontrole mocowania i zadziałania czujników w pozycjach MIN oraz MAX, przynajmniej co trzy tygodnie,
 - zmiana typu czujników na niewrażliwe na drgania, które są możliwe podczas jazdy wendra, zwłaszcza podczas dużych przeciążeń układu. Zamiana czujników kontaktronowych na czujniki magnetooporowe.
 - kontrola programu na sterowniku i jego ewentualna modyfikacja,
 - kontrola poprawności działania klap wyładowczych, przynajmniej raz na trzy tygodnie,
 - wymiana siłowników pneumatycznych na nowy model, który będzie miał także nowy rodzaj czujników położenia tłoka oraz będą niewrażliwe na drgania,
 - naprawa istniejących siłowników pneumatycznych poprzez montaż zestawów naprawczych.

Suszarnia

1. Przesunięcie pasa podnośnika kubelkowego zielonego słoju:

- tygodniowa kontrola stanu czystości bębnow podnośnika wraz z oceną skuteczności mycia automatycznego wodą pod dużym ciśnieniem,
 - tygodniowa kontrola wskazań i ustawień czujników przesunięcia pasa,
 - wyeksploatowany pas transportera znacznie utrudnia prawidłowe i stabilne jego ustawienie; wskazana wymiana pasa na nowy,
 - tygodniowa kontrola stanu łożysk wraz z bębnami: napędowym oraz naciągowym,
 - zainstalować falownik dla łagodnego rozruchu podnośnika
2. Uszkodzenia łożysk wentylatora wyciągu spalin z wymiennika ciepła:
 - tygodniowe kontrole łożysk połączone ze smarowaniem,
 - rozważyć zainstalowanie czujników drgań i temperatury łożysk,
 - kwartalna diagnostyka termowizyjna silnika i wentylatora,
 - półroczna wibrodiagnostyka łożysk silnika i wentylatora,
 - rozważyć montaż falownika do uruchamiania silnika wentylatora, w celu łagodniejszego rozruchu przekładni pasowej,
 3. Uszkodzenie przekładni wentylatora suszenia słoju:
 - cotygodniowe kontrole stanu technicznego przekładni; za każdym razem należy skontrolować: poziom oleju, drożność odpowietrznika i szczelność korpusu,
 - zamontować dodatkowe czujniki: drgań oraz temperatury łożysk, poziomu oleju przekładniowego i jego temperatury,
 - nie rzadziej niż raz do roku, badać jakość oleju w przekładni; negatywny wynik wymusza konieczność jego wymienia na nowy,
 - wyremontować wały Kardana istniejące pomiędzy przekładnią a wałem głównym wentylatora,
 - prowadzić półroczną kontrolę poziomu drgań całego zespołu napędowego: silnik, przekładnia, kardan i łożyska na wale głównym wentylatora,
 - kwartalna diagnostyka termowizyjna silnika i przekładni.
 4. Nieszczelność rur nierdzewnych wymiennika ciepła:
 - prowadzić kwartalne przeglądy szczelności instalacji,
 - zlikwidować jak najszybciej wszelkie drobne naruszenia konstrukcji ścian sitowych wymienników,
 5. Uszkodzenia napędów żaluzji:
 - prowadzić kwartalne kontrole działania napędów, zwłaszcza zatrzymań na wyłącznikach krańcowych oraz założonego czasu pracy z jednej pozycji do drugiej,
 - prowadzić kwartalne kontrole stanu elementów wykonawczych żaluzji,
 - wprowadzać okresową – trzyletnią - wymianę napędów na nowe.
 6. Złe nawijanie się liny napędowej kłap od wychładzania powietrza:
 - prowadzić kwartalne kontrole stanu technicznego lin stalowych,
 - co pięć lat wymienić liny na nowe,
 - prowadzić miesięczne kontrole działania czujników napięcia liny oraz położenia kłap,

- co trzy lata wymienić na nowe wszystkie czujniki,
 - co pół roku (przed i po zimie) regulować zatrask rygla klap wychładzania,
 - rozważyć montaż dodatkowych czujników do garażowania klap.
7. Blokowanie się otwarcia centrum wyładowczego:
- co dwa tygodnie oczyścić z pyłu i sprawdzić działanie mechanizmu otwarcia centrum,
 - rozważyć zakup nowych napędów mechanizmów w celu ich wymiany.
8. Przeciążenie przenośników ślimakowych maszyn za i wyładowczych:
- tygodniowa kontrola poprawności wskazań czujników i krańcówek,
 - kontrola dostosowania nastaw prędkości transportu ziarna ze skrzyń do suszarni. Zmiana w programie sterowania wyładunkiem ziarna polegająca na kontroli obciążenia pracy przenośnika ślimakowego i wyłączenia transportu ziarna w razie przekroczenia nastawionej wartości. Układ rusza automatycznie z obniżoną prędkością posuwu wendra w skrzyni i po trzeciej zmianie prędkości posuwu wysyła automatycznie powiadomienie do Operatora. Piąta zmiana prędkości posuwu wendra spowodowana wzrastającym obciążeniem pracy przenośnika powoduje jego awaryjne wyłączenie,
 - tygodniowe smarowanie i kontrola stanu łożysk na wale głównym,
 - systematycznie badać jakość oleju w przekładni i w razie konieczności wymienić go na nowy,
 - co trzy lata prowadzić naprawę główną motoreduktorów,
 - co trzy lata wykonać naprawę główną falownika jazdy maszyny,
 - co trzy lata wymieniać łańcuchy napędowe,
 - rozważyć zamianę na inny typ czujników stosowanych do kontroli obecności ziarna podczas cyklu załadunku, mniej wrażliwych na zabrudzenie mocno wilgotnym ziarnem.
9. Blokowanie się palników gazowych:
- wprowadzić systematyczne kwartalne serwisy palników gazowych,
 - kwartalna diagnostyka termowizyjna elektrycznej szafy zasilająco-sterowniczej,
 - co dwa lata wykonać naprawę główną silnika palnika gazowego,
 - co roku sprawdzić stan tarcz spiętrzających; w razie potrzeby wymienić na nowe i zmienić okresy między przeglądami,
 - co pięć lat wykonać naprawę główną osprzętu bezpieczeństwa w ścieżce gazowej,
 - co dziesięć lat wymienić na nową automatykę w elektrycznych szafach zasilająco-sterowniczych,
 - co dziesięć lat wymienić na nowy gazowy blok bezpieczeństwa.

Niejako podsumowaniem działań zapobiegawczych jest zestawienie zawarte w tabeli 7.7. Wynika z niej, że udział zdarzeń mających wpływ na awarie zmniejsza się z czasem trwania realizacji pracy doktorskiej.

Tabela 7.7. Zestawienie roczne udziałów procentowych zdarzeń mających wpływ na przerwę w produkcji do ogółu wszystkich zdarzeń w latach 2011 – 2014

Lp.	Okres realizacji badań [miesiące]	Udział zdarzeń mających wpływ na przerwę w produkcji do wszystkich zdarzeń [%]	Udział liczby godzin trwania zdarzeń mających wpływ na przerwę w produkcji do wszystkich godzin trwania zdarzeń [%]
1	12	36,50	31,99
2	24	22,44	23,65
3	36	17,74	19,78

Źródło: opracowanie własne

Dla działu utrzymania ruchu ważnym problemem jest identyfikacja rodzajów interwencji z uwzględnieniem ich charakteru (mechaniczne oraz elektryczne). Dane te zawiera tabela 7.8. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w pierwszym roku badawczym liczba godzin awarii typu mechanicznego wynosiła 127 h, a w trzecim roku zmalała do 72,5 h. Dane dotyczące awarii elektrycznych wynoszą odpowiednio od 292,5 h do 67,5 h.

Tabela 7.8. Roczny wykaz liczby godzin awarii z podziałem na interwencje mechaniczne i elektryczne z lat 2011 – 2014

Rodzaj interwencji	Liczba godzin trwania usterek mających wpływ na przerwę w produkcji [h]							Zmiana ostatniego roku do pierwszego [%]
	2011-2012	% sumy	2012-2013	% sumy	2013-2014	% sumy	Suma	
mechaniczne	127	30,3	138,5	63,0	72,5	51,8	338	57,09
elektryczne	292,5	69,7	81,5	37,0	67,5	48,2	441,5	23,08
suma	419,5		220		140		779,5	33,37

Źródło: opracowanie własne

Należy pamiętać, że najważniejszym procesem w słodowni jest suszenie słoju. Charakterystyka zaistniałych awarii (liczba i czas ich trwania) zawarta jest w tabeli 7.9. Z danych zawartych w ostatniej kolumnie można wywnioskować, że w wyniku działań zapobiegawczych (przeprowadzonych z inicjatywy doktoranta) zmniejszyła się roczna liczba godzin awarii z 95,5 h do 36,5 h.

W grupie analizowanych maszyn i urządzeń wyszczególniono cztery elementy, przy czym najważniejsze są maszyny i wentylatory siatek oraz palniki gazowe. W wyniku działań zapobiegawczych roczna liczba godzin usterek powodujących przerwę w produkcji z powodu maszyn i wentylatorów

siatek zmniejszyła się z 43 h do 27,5 h, a w przypadku palników gazowych suszarni siodu zmalała od 29 h do 1 h.

Tabela 7.9. Roczny wykaz liczby awarii i ich czasu trwania w procesie suszenia siodu z lat 2011 – 2014

Kampania produkcyjna [lata]	Lokalizacja maszyn i urządzeń procesu suszenia siodu	Liczba usterek mających wpływ na przerwę w produkcji [szt.]	Liczba godzin usterek mających wpływ na przerwę w produkcji [h]
2011 -2012	ogólne	4	3
	klapy i żaluzje	15	20,5
	maszyny i wentylatory siatek	30	43
	palniki gazowe	36	29
	suma	85	95,5
2012 -2013	ogólne	5	7,5
	klapy i żaluzje	14	17
	maszyny i wentylatory siatek	20	26,5
	palniki gazowe	18	12,5
	suma	57	63,5
2013 -2014	ogólne	8	5,5
	klapy i żaluzje	3	2,5
	maszyny i wentylatory siatek	25	27,5
	palniki gazowe	1	1
	suma	37	36,5
	Ogółem	179	195,5

Źródło: opracowanie własne

Stan dotychczasowy

Wcześniejsza praktyka utrzymania maszyn urządzeń sprowadzała się do likwidacji awarii. Dział produkcji skupia się głównie na realizacji założonego harmonogramu produkcji i żąda od działu utrzymania ruchu pełnej dyspozycyjności maszyn i urządzeń w celu zapewnienia zakładanej ilości oraz jakości produkowanego siodu. Wszelkie prace serwisowe i naprawcze prowadzone przez dział utrzymania ruchu są postrzegane przez dział produkcji jako pewnego rodzaju ograniczenie dyspozycyjności maszyn i urządzeń.

Stan pożądany

Obecnie, prowadzone są różnego typu działania zapobiegawcze, które wyrażają się różną formą nadzoru nad przebiegiem procesu technologicznego produkcji siodu. W warunkach przedsiębiorstwa wdrożono następujące techniki diagnostyczne: badania wizualne, badanie oleju z przekładni, diagnostykę termiczną i wibroakustyczną.

Ponadto, prowadzona jest rejestracja wszystkich występujących interwencji służb utrzymania ruchu. Nowy rejestr zawiera informacje, takie jak: kiedy, gdzie, co zrobiono, jak długo i kto wykonywał pracę. Ta nowa baza danych będzie niezbędnym narzędziem skuteczniejszej prewencji maszyn i urządzeń oraz będzie wskazywać obszary, które należy objąć jeszcze lepszą diagnostyką lub zmusi Użytkownika do podjęcia decyzji o zakupie nowych maszyn i urządzeń.

Zbudowanie systemu bazującego na aktualnym stanie zdatości technicznej maszyn i urządzeń pozwoli w przyszłości na spełnienie wymagań obu działów - produkcji i utrzymania ruchu - zwłaszcza w sytuacji zwiększonej zmienności obciążeń technologicznych. Dla każdej maszyny i urządzenia będzie precyzyjnie określony plan napraw i konserwacji. Wszystkie dane uzyskane z diagnostyki maszyn i urządzeń będą wpływać na modyfikację przyjętych harmonogramów napraw i konserwacji. Plan produkcji będzie uwzględniał czas niezbędny, który powinien być przeznaczony dla działań służb utrzymania ruchu. Efektem będzie produkcja słoðu o wymaganej jakości zrealizowana zgodnie z planem produkcji przy założonych ekonomicznie uzasadnionych kosztach. Stosowana diagnostyka techniczna maszyn i urządzeń powinna być umiejscowiona we wszystkich krytycznych punktach procesu technologicznego i powinna skutecznie wspierać prewencyjne utrzymanie ruchu.

Tabela 7.10. Wykaz typów realizowanej diagnostyki maszyn i urządzeń w różnych lokalizacjach zakładu w latach 2011 – 2014

Lp.	Miejsce lokalizacji maszyn i urządzeń	Liczba sztuk [szt.]	Udział procentowy [%]	Diagnostyka [szt.]		
				Nadzór stały (dozorowanie)	Inspekcja diagnostyczna	Inspekcja diagnostyczna manualna
1	Wieża operacyjna - stara	110	40,3	90	0	20
2	Zamaczalnia	29	10,6	19	7	3
3	Skrzynie Saladina	50	18,3	37	8	5
4	Suszarnia	30	11,0	26	3	1
5	Wieża operacyjna - nowa	20	7,3	16	3	1
6	Magazyn ekspedycji	13	4,8	8	0	5
7	Teren zewnętrzny	21	7,7	12	0	9
Suma maszyn i urządzeń		273	100	208	21	44
Udział procentowy [%]				76,2	7,7	16,1

Źródło: badania własne

Ważnym elementem w działaniach zapobiegawczych służb utrzymania ruchu słodowni jest diagnostyka i dane jej dotyczące zawiera tabela 7.10. Diagnostyka może być mierzona liczbą zdarzeń ich struktury, która jest wyrażona w procentach. Taki układ zawiera wspomniana tabela.

W badanym okresie prowadzono trzy rodzaje diagnostyki: nadzór stały (dozorowanie), inspekcję diagnostyczną oraz inspekcję diagnostyczną manualną. Diagnostyka dotyczyła w największym stopniu wieży operacyjnej starej i był tam prowadzony głównie nadzór stały. Magazyn ekspedycji nie wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na diagnostykę maszyn i urządzeń, ponieważ w ogólnej strukturze wynosi on 4,8%.

Dane zamieszczone w tabeli 7.11 są wynikami uzyskanymi z działań prowadzonych w oparciu o procedury działu utrzymania ruchu słodowni.

Tabela 7.11. Wykaz typów diagnostyki maszyn i urządzeń zakładu w zależności od ich rodzaju w latach 2011 – 2014

Lp.	Nazwa grupy maszyn i urządzeń	Liczba sztuk [szt.]	Udział procentowy [%]	Diagnostyka		
				Nadzór stały (dozorowanie)	Inspekcja diagnostyczna	Inspekcja diagnostyczna manualna
1	Podnośniki kubelkowe	17	6,2	17	0	0
2	Przeñośniki łańcuchowe	50	18,3	46	0	4
3	Przeñośniki ślimakowe	16	5,9	0	0	16
4	Przeñośniki taśmowe	20	7,3	20	0	0
5	Filtrocyklony + śluzy, cyklony + śluzy	21	7,7	21	0	0
6	Wentylatory	39	14,3	20	18	1
7	Maszyny do czyszczenia ziarna, próbniki i wagi	29	10,6	16	13	0
8	Maszyny i urządzenia do słodowania ziarna	38	13,9	38	0	0
9	Sprężarki, dmuchawy, agregaty chłodnicze, pompy, mieszadła	43	15,8	30	3	10
Suma maszyn i urządzeń [szt.]		273	100	208	34	31
Udział procentowy [%]				76,1	12,5	11,4

Źródło: badania własne

Ze szczegółowego zestawienia maszyn i urządzeń względem, których prowadzono diagnostykę wynika, że taką newralgiczną grupą obiektów technicznych jest przeñośnik łańcuchowy wymagający stałego nadzoru.

Przenośniki te są wyposażone w czujniki: obrotu, przeciążenia oraz zerwania lub poluzowania się łańcucha roboczego. Sygnały z tychże czujników są wysyłane do sterownika, który obsługuje transport ziarna i czuwa nad bezpieczeństwem pracy linii technologicznych. Sterownik, w przypadku otrzymania sygnału alarmowego od czujnika, podaje sygnał o natychmiastowym zatrzymaniu ruchu kontrolowanej maszyny lub urządzenia. Natomiast przenośnik ślimakowy wymaga największej inspekcji manualnej.

Dane dotyczące typów i rodzajów działań dotyczących diagnostyki ciągłej maszyn i urządzeń słodowni, z podziałem na etapy procesu słodowania (zamaczalnia, skrzynie Saladina oraz suszarnia), zawiera tabela 7.12. W ramach dozoru obiektów technicznych omawianego zakładu realizowane były następujące działania diagnostyczne zbierające informacje z czujników drgań oraz temperatury łożysk wentylatorów, czujników ciśnienia, czujników zainstalowanych w przekładniach, czujników obrotów oraz z kontroli przeciążeń w falownikach i układach elektronicznych. Najwięcej wdrożeń diagnostyki ciągłej zostało odnotowane w suszarni słoju, co jest oczywiście zrozumiałe, z uwagi na wyjątkowy charakter tego działu w tworzeniu zaplanowanego poziomu jakości produkowanego słoju. Zamaczalnia z kolei jest najslabiej wyposażona we wspomniane systemy diagnostyczne, które zawierają tylko dwa z spośród pięciu stosowanych (czujniki obrotów oraz kontrolę przeciążeń w falownikach i układach elektronicznych).

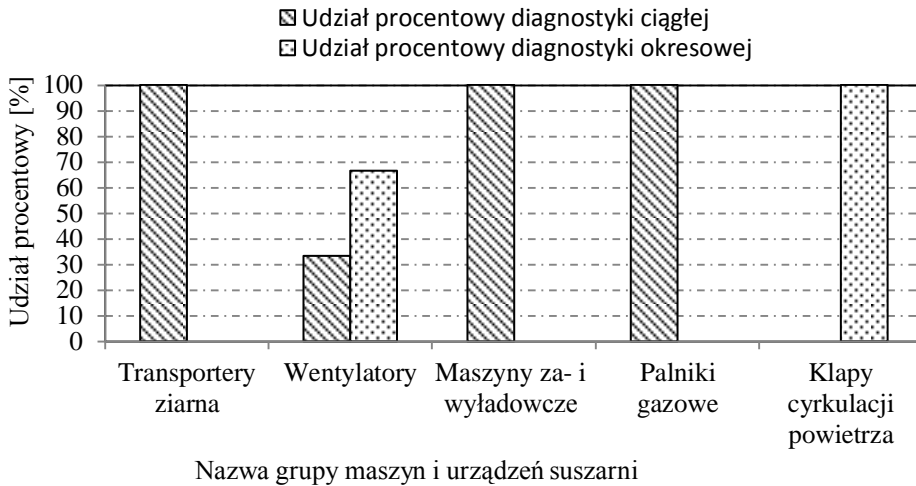
Tabela 7.12. Wykaz realizowanej diagnostyki ciągłej maszyn i urządzeń zakładu w zależności od ich lokalizacji w latach 2011 – 2014

Diagnostyka ciągła – nadzór stały (dozorowanie)						
Lp.	Nazwa działu	czujniki drgań i temperatury łożysk wentylatorów	czujniki ciśnienia	czujniki drgań, temperatury i poziomu oleju w przekładni	czujniki obrotów maszyn i urządzeń	kontrola przeciążeń w falownikach i układach elektronicznych
1	zamaczalnia	-	-	-	+	+
2	skrzynie Saladina	-	+	-	+	+
3	suszarnia słoju	+	+	+	+	+

Źródło: badania własne

LEGENDA: + stosowano ; - nie stosowano

Przechodząc do charakterystyki dotyczącej najważniejszego procesu suszenia słoju (rysunek 7.14) stwierdzamy, że transportery ziarna, maszyny za- oraz wyładownicze, jak i palniki gazowe wymagają 100% diagnostyki ciągłej. Wyniki te potwierdzają fakt decydującego wpływu tych urządzeń na jakość otrzymywanego słoju.



Rys. 7.14. Wykres udziałów procentowych realizowanych działań diagnostycznych w suszarni słodu
 Źródło: badania własne

W załączniku nr 1 w tabeli Z.1 zaprezentowano rodzaje eksploatacji prewencyjnej maszyn i urządzeń pracujących w suszarni słodu. Dominującą rolę odgrywają tam serwisy wg rezerwu okresowego i kształtują się następująco: serwis wewnętrzny ma 73,3%, a na drugim miejscu jest serwis zewnętrzny z 26,7%.

Termowizja

Znaczenie termowizji jako działania zapobiegawczego podkreślają dane zamieszczone w tabeli 7.13. W tym przypadku, w tabeli przedstawiono dane z roku przed badaniami i roku po badaniami. Ostatnia kolumna wskazuje, że przed okresem badawczym udział procentowy awarii związanych z termowizją wynosił 28,6%, natomiast rok po okresie badawczym zmalał on do 11,9%. Tak znaczący spadek odnotowanej liczby awarii wynika z faktu wykorzystania informacji jakie daje nam termowizja.

Przedstawione dane potwierdzają skuteczność realizacji remontów prewencyjnych i podjętych działań inwestycyjnych. Na przestrzeni kilku lat można zaobserwować spadek średniej liczby awarii w roku. Najwyższą wartość średniej liczby awarii w roku zanotowano w kampanii 2010 – 2011, a najniższe wartości były w latach 2014 - 2015. W ostatnim roku badania (2014 - 2015) zanotowano prawie czterokrotny spadek wykrytych awarii w stosunku do lat 2010 - 2011.

Analizując informacje wykazane w tabeli 7.13 można stwierdzić, że wykonywanie badań termowizyjnych urządzeń energetycznych i odbiorników energii przyczynia się zdecydowanie do zwiększenia niezawodności zakładu.

Liczba wykazanych awarii maleje z roku na rok, co dowodzi, że warto kontynuować tego typu działania prewencyjne.

Tabela 7.13. Liczba awarii urządzeń zaobserwowanych podczas badań termowizyjnych w latach 2010 – 2015 w ujęciu rocznym

Lp.	Kampania produkcyjna [lata]	Liczba awarii w kampanii produkcyjnej [szt.]	Liczba wykonanych badań w kampanii produkcyjnej [szt.]	Średnia liczba awarii w kampanii produkcyjnej [szt.]	Udział procentowy awarii danej kampanii do sumy awarii z lat 2010-2015 [%]
1	2010 - 2011	12	4	3,0	28,6
2	2011 - 2012	10	5	2,0	23,8
3	2012 - 2013	7	6	1,2	16,7
4	2013 - 2014	8	6	1,3	19,0
5	2014 - 2015	5	6	0,8	11,9
	suma [szt.]	42	27		100

Źródło: badania własne

Zarejestrowane awarie są ważnym źródłem informacji do podjęcia decyzji w sprawie naprawy lub wymiany wadliwego urządzenia. Rejestracja stanów termalnych transformatorów i napędów wentylatorów suszenia słoju była również bezcennym źródłem wiedzy dla przyszłych działań prewencyjnych i inwestycyjnych.

Stosowanie badań termowizyjnych powinno być aktualizowane i ciągle rozwijane, tak, aby swoim zasięgiem obejmowało wszystkie krytyczne urządzenia energetyczne oraz napędy maszyn i rzążeń technologicznych.

Diagnostyka oleju

Interesujące dane diagnostyczne zawiera tabela 7.14, która dotyczy jakości oleju przekładniowego. Do roku 2012, jakość oleju przekładniowego nie była przedmiotem zainteresowania działu utrzymania ruchu. W wyniku sugestii doktoranta, począwszy od roku 2013, problematyka jakości oleju przekładniowego znalazła się w zakresie działalności wspomnianego działu.

Dane zamieszczone w tabeli 7.14 wskazują, że parametry jakościowe podmiotowego oleju przekładniowego w maszynach nie zawsze odpowiadały wymaganiom, na co wcześniej nie zwracano uwagi. W minionych latach olej używany w przekładniach był wymieniany zgodnie z zaleceniami producentów przekładni i odbywało to się przeważnie co trzy, cztery lata. Należy dodać, że najczęściej zła jakość badanego oleju przekładniowego wynikała z jego lepkości, indeksu PQ oraz zawartości krzemu.

Tabela 7.14. Zestawienie wyników analiz parametrów diagnostyki oleju przekładniowego wybranych przekładni z lat 2013 i 2014

Lp.	Nazwa maszyny	Rok wykonania badania oleju przekładniowego					
		2013			2014		
		Wynik badania jakości oleju	Powód złej oceny oleju	Wymiana oleju	Wynik badania jakości oleju	Powód złej oceny oleju	Wymiana oleju
1	wentylator suszarni nr 1	dobry			średni	lepkość	
2	wentylator suszarni nr 2	średni	lepkość		zły	lepkość	TAK
3	redler pod zamaczalnikami	średni	PQ Index	TAK	dobry		
4	podnośnik wymoczeki	średni	lepkość	TAK	średni	lepkość	
5	redler wzdłuż skrzyń	dobry			dobry		
6	redler nad zamaczalnikami	zły	PQ Index	TAK	zły	PQ Index	TAK
7	taśmociąg T-01	zły	PQ Index	TAK	średni	PQ Index	
8	taśmociąg T-02	średni	PQ Index	TAK	średni	krzem	
9	taśmociąg T-03	zły	PQ Index	TAK	zły	PQ Index	TAK
10	taśmociąg T-05	dobry			dobry		

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań Ecol Rybnik badania jakości oleju przekładniowego z 2013r. i 2014r.

W załącznikach nr 1 i 2 zamieszczono tabele Z.1 i Z.2 z wynikami badań jakości olejów przekładniowych: wentylatorów suszenia słoju i napędów transporterów taśmowych.

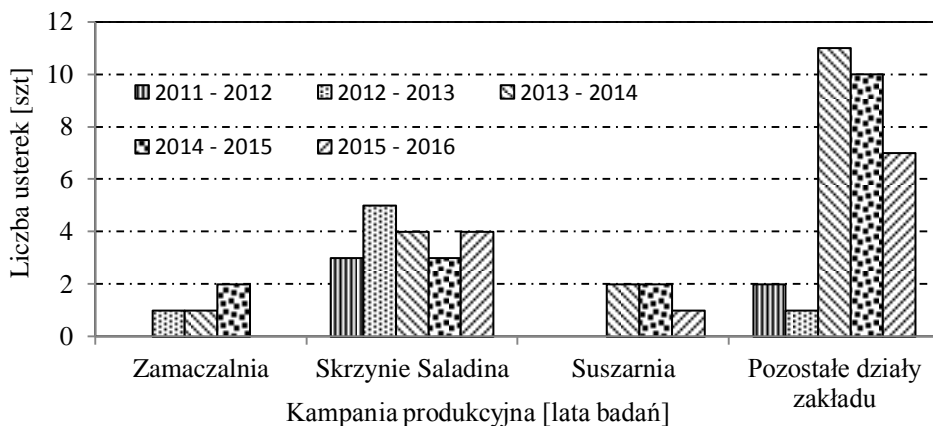
W działaniach prewencyjnych przyjęto taką praktykę działań, że wynik badania jakości oleju opisany jako średni nie skutkuje wymianą oleju. Jak wykazała krótkoterminowa praktyka, będzie on wymieniony w roku następnym.

Badanie jakości oleju jest więc szybkim i skutecznym narzędziem diagnostycznym, umożliwiającym wdrożenie skutecznych działań zapobiegawczych dla zagrożonych awarią obiektów technicznych. Negatywna zmiana parametrów badanego oleju jednoznacznie pokazuje, że używany środek smarny przestaje spełniać swoje podstawowe funkcje i konieczne jest wprowadzenie działań zapobiegawczych. Działania te mogą objawiać się szybszą wymianą oleju lub natychmiastowym wykonaniem prac naprawczych przekładni, co ostatecznie uchroni zakład przed skutkami awarii obiektu technicznego.

Badania wibrodiagnostyczne

Jedną z nieinwazyjnych metod diagnostycznych jest wibrodiagnostyka. Od 2011 roku, na zlecenie słodowni, zewnętrzna firma PREDICT z Piły wykonywała pomiary wibrodiagnostyczne wentylatorów zlokalizowanych na terenie zakładu. Dane dotyczące liczby zdiagnozowanych usterek w poszczególnych obszarach słodowni, z podziałem na lata, zawiera rysunek 7.14.

Z danych zawartych na rysunku 7.15 wynika, że badania wibrodiagnostyczne bardzo przydatne są do diagnozowania sprawności maszyn i urządzeń funkcjonujących w ramach skrzyń Saladina. Związane jest to z dużą intensywnością pracy, ponieważ pracują ok. 72 godziny bez przerwy.



Rys. 7.15. Wykres liczby zdiagnozowanych usterek podczas działań wibrodiagnostycznych w różnych działach słodowni

Źródło: badania własne

Drgania wentylatorów generowane są głównie przez niewyważone wirniki wentylatorów oraz uszkodzone mocowanie podstawy wentylatora do podłoża. Zdarzają się także wady łożysk wirnika lub silnika wentylatora, które także są wynikiem drgań. Drgania związane z niewyważeniem są eliminowane podczas okresowej kontroli. Dlatego też drgania badanych wentylatorów w warunkach praktycznych utożsamia się z uszkodzonymi elementami łożysk. Naturalny poziom drgań mierzony prędkością zależy od wielkości łożyska, prędkości obrotowej i sposobu posadowienia, jest więc cechą charakterystyczną elementu maszyny.

Tabela 7.15 opisuje zmiany wartości drgań wentylatorów zamoczników zarejestrowane podczas badań z lat 2012 - 2015.

Tabela 7.15. Zestawienie wyników analizy wibrodiagnostycznej wentylatorów zamaczalni lat 2012 - 2015

Lp.	Nazwa wentylatora odsysania CO ₂ w zamaczalniku	Nazwa urządzenia	Stan dynamiczny						
			Prędkość drgań Vrms				Max [mm/s]		
			IX 2012	IX 2013	VI 2014	XII 2014	I 2015	V 2015	IX 2015
1	nr 1	silnik			7,76	10,58		8,2	4,97
		wirnik			4,76	3,6		4,59	3,6
2	nr 2	silnik		2,8	3,23	2,91		6,4	2,91
		wirnik		4,5	4,69	5,19		7,77	4,45
3	nr 3	silnik					1,87	3,65	1,92
		wirnik					2,28	2,85	2,08
Lp.	Nazwa wentylatora odsysania CO ₂ w zamaczalniku	Nazwa urządzenia	Stan łożysk						
			Przyśpieszenie drgań g OP				Max [g]		
			IX 2012	IX 2013	VI 2014	XII 2014	I 2015	V 2015	IX 2015
1	nr 1	silnik			3,3	4,59		4,34	4,34
		wirnik			8,1	7,75		6,78	7,75
2	nr 2	silnik		4,8	4,49	5,18		4,05	3,61
		wirnik		16,2	20,84	28,52		53,45	3,87
3	nr 3	silnik					3,3	3,4	2,37
		wirnik					2,86	3,38	2,86

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań firmy Predict Piła

Dla tego typu wentylatorów, do oceny stanu dynamicznego obowiązują następujące wartości graniczne prędkości drgań: stan dobry - do 2,3 [mm/s], stan akceptowalny - między 2,3 a 4,5 [mm/s], stan dopuszczalny - pomiędzy 4,5 a 7,1 [mm/s] oraz stan niedopuszczalny - powyżej 7,1 [mm/s]. Jeśli chodzi o stan łożysk, jest on opisany wartością graniczną przyśpieszenia drgań i wynosi odpowiednio - dla silników 6 [g], a dla łożyskowania wirników 10 [g]. Jak widać w omawianej tabeli, silnik wentylatora zamaczalnika nr 1 w grudniu 2014 roku miał podczas badań wartość prędkości drgań na poziomie niedopuszczalnym i w związku z tym wykonano wymianę łożysk. Jednak po kolejnym badaniu (maj 2015 roku), konieczna była powtórna ich wymiana. Wówczas wymieniono także łożyska wirnika wentylatora oraz paski klinowe. Ten sam zakres prac przeprowadzono także z wentylatorami w zamaczalnikach nr 2 i 3. Podczas kolejnych zleconych badań wibrodiagnostycznych, wykonanych we wrześniu 2015 roku, w zamaczalni wszystkie wentylatory były w stanie zdatności technicznej.

Następnym obiektem badań wibrodiagnostycznych są wentylatory klimatyzacji pracujące w skrzyniach Saladina. Wyniki z tych badań zostały zaprezentowane w tabelach 7.16 i 7.17.

Tabela 7.16. Zestawienie wyników analizy wibrodiagnostycznej stanu dynamicznego wentylatorów skrzyń Saladina z lat 2011 - 2015

Lp.	Nazwa wentylatora klimatyzacji skrzyni Saladina	Nazwa urządzenia	Stan dynamiczny							
			Prędkość drgań Vrms				Max [mm/s]			
			XII 2011	IX 2012	IX 2013	VI 2014	XII 2014	I 2015	V 2015	IX 2015
1	nr 1	silnik	5,27	10,5	5	10,2	3,23		4,7	5,97
		wirnik	5,2	6,2	3,2	4,55	2,96		3,44	4,56
2	nr 2	silnik	-	4	3,5	4,75	5,75		4,06	4,14
		wirnik	-	5,2	4	3,41	4,17		2,85	5,57
3	nr 3	silnik	3,04	7,5	5,8	5,63	7,02		6,43	7,07
		wirnik	4,51	16	9,5	7,96	8,1		8,57	9,01
4	nr 4	silnik	20,43	18	8	4	7,24		15,61	5,37
		wirnik	33,29	27	6,9	5,64	9,53		11,3	6,78
5	nr 5	silnik	8,06	10,4	4,5	5,75	7,47		7,48	8,87
		wirnik	8,49	8,5	6	7,42	6,19		7,69	4,11
6	nr 6	silnik	4,6	5	5,5	16,45	10,44		9,2	6,73
		wirnik	6,39	6,4	24	18,94	5,8		11,78	27,9
7	nr 7	silnik	6,75	7,5		6,19	8,16		3,95	5,91
		wirnik	5,55	6		8,39	6,24		4,66	6,43
8	nr 8	silnik	11,17	10,2	7,9	7,78	8,18	3,47	5,38	5,41
		wirnik	15,38	17,4	9	17,46	17,57	9,33	10,3	11,09

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań firmy Predict Piła

Dla tego typu wentylatorów klimatyzacji skrzyń Saladina do oceny stanu dynamicznego obowiązują następujące wartości graniczne prędkości drgań: stan dobry - do 5 [mm/s], stan akceptowalny - między 5 a 8 [mm/s], stan dopuszczalny - między 8 a 11 [mm/s] oraz stan niedopuszczalny - powyżej 11 [mm/s]. Stan łożysk silników ma wartość graniczną przyspieszenia drgań równą 10 [g]. Po przeanalizowaniu danych z tabel 7. 16 oraz 7.17 możemy dojść do wniosku, iż wielokrotnie wykonane badania wibrodiagnostyczne wykazały wady zarówno silników jak i samych wirników wentylatorów. Po każdym badaniu przystępowano do prac naprawczych, polegających głównie na wyważeniu wirników i wymianie łożysk. Prace remontowe były najczęściej wykonywane w skrzyniach nr 4 i 8, a najrzadziej wykonano je w skrzyni nr 2.

Każde z badań wibrodiagnostycznych ujawniło defekt jakiegoś wentylatora, co pozwoliło uniknąć kłopotliwej awarii łożysk i umożliwiło wykonanie prac remontowych podczas ich postępu technologicznego.

Tabela 7.17. Zestawienie wyników analizy wibrodiagnostycznej stanu łożysk wentylatorów skrzyń Saladina z lat 2011 - 2015

Lp.	Nazwa wentylatora klimatyzacji skrzyń Saladina	Nazwa urządzenia	Stan łożysk							
			Przyspieszenie drgań g 0P				Max [g]			
			XII 2011	IX 2012	IX 2013	VI 2014	XII 2014	I 2015	V 2015	IX 2015
1	nr 1	silnik	6,41	6,7	7,2	4,49	3,26		7,94	8,81
		wirnik	-							
2	nr 2	silnik	-	5,5	6	7,89	7,32		6,64	7,78
		wirnik	-							
3	nr 3	silnik	4,73	5,5	7,8	6,42	8,31		7,76	9,12
		wirnik	-							
4	nr 4	silnik	8,36	9,7	7,2	7,77	9,04		7,3	10,1
		wirnik	-							
5	nr 5	silnik	10,1	9,5	5,5	7,83	9,34		8,65	7,31
		wirnik	-							
6	nr 6	silnik		9	6,8	5,52	13,32		9,66	7,03
		wirnik	-							
7	nr 7	silnik	9,8	10,3		7,16	13,61		7,19	7,04
		wirnik	-							
8	nr 8	silnik	9,16	9	4,5	9,42	4,45	4,49	4,1	8,79
		wirnik	-							

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań firmy Predict Piła

Wentylatory pracujące w suszarni słoju mają największy wpływ na poziom jakości produkowanego słoju, ponieważ dzięki ich działaniu w wymaganym czasie oraz wydajności możliwe jest prowadzenie procesu suszenia słoju zgodnie z założonym programem pracy wentylatorów oraz palników gazowych.

W związku z powyższym, w suszarni słoju wszystkie wentylatory zostały objęte programem badań wibrodiagnostycznych. Wyniki uzyskane podczas badań zrealizowanych w latach 2013 – 2015 zostały zaprezentowane w tabelach 7.18 oraz 7.19. Dla tego typu wentylatorów do oceny stanu dynamicznego obowiązują następujące wartości graniczne prędkości drgań: stan dobry - do 2,3 [mm/s], stan akceptowalny - między 2,3 a 4,5 [mm/s], stan dopuszczalny - między 4,5 a 7,1 [mm/s] oraz powyżej 7,1 [mm/s] stan niedopuszczalny.

Natomiast stan łożysk określony wartością graniczną przyspieszenia drgań wynosi: dla silników 6 [g] a dla łożyskowania wirników 10 [g].

Tabela 7.18. Zestawienie wyników analizy wibrodiagnostycznej stanu dynamicznego wentylatorów suszarni słoju z lat 2013 - 2015

Lp.	Nazwa wentylatora	Nazwa urządzenia	Stan dynamiczny				
			Prędkość drgań Vrms			Max [mm/s]	
			IX 2013	VI 2014	XII 2014	V 2015	IX 2015
1	suszenie słoju - komora suszarnicza nr 1	silnik	0,51	1,13	0,51	0,94	1,21
		przekładnia	1,02	0,96	1,48	0,79	0,83
2	suszenie słoju - komora suszarnicza nr 2	silnik	1,75	0,74	1,88	1,68	0,95
		przekładnia	0,99	0,81	1,91	2,47	0,8
3	wyciąg spalin palnika gazowego wstępnego	silnik	2,5	2,75	1,95	3,44	2,92
		wentylator	3,5	2,98	2,6	3,35	2,92
		silnik palnika			3,12	2,47	2,14
4	wyciąg spalin palnika gazowego komory suszarniczej nr 1	silnik	2,5	3,22	2,8	2,99	3,65
		wentylator	3,2	3,11	3,13	2,74	2,77
		silnik palnika			3,95	2,61	2,4
5	wyciąg spalin palnika gazowego komory suszarniczej nr 2	silnik	1,5	1,84	1,86	1,45	2,03
		wentylator	2,5	2,21	2,9	1,97	3,01
		silnik palnika			1,72	3,92	3,72

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań firmy Predict Piła

Analizując wyniki badań wibrodiagnostycznych przedstawione w tabeli 7.18 można zauważyć, że stany dynamiczne badanych wentylatorów były przeważnie dobre lub akceptowalne i na podstawie tych danych nie były wymagane jakiegokolwiek działania służb remontowych.

Jednakże kolejne badania stanu łożysk wentylatorów (tabela 7.19) dały podstawę do wykonania prac remontowych związanych głównie z wymianą łożysk wirników wentylatorów wyciągu spalin palników gazowych suszarni słoju. W grudniu 2014 roku wykonano wymianę łożysk we wszystkich wentylatorach wyciągu spalin palników gazowych. Wszystkie prace remontowe zostały wykonane podczas postoju technologicznego komór suszarniczych, co pozwoliło zapobiec powstaniu awarii łożysk podczas procesu suszenia. Badania wibrodiagnostyczne zrealizowane we wrześniu 2015 roku wykazały ponowny problem z łożyskami tychże wentylatorów. Także tym razem prace remontowe zaplanowano i wykonano w trakcie postojów technologicznych. Oprócz

wspomnianych łożysk wymieniono wówczas wszystkie paski klinowe oraz łożyska silnika wentylatora wyciągu spalin palnika komory suszarniczej nr 1.

Tabela 7.19. Zestawienie wyników analizy wibrodiagnostycznej stanu łożysk wentylatorów suszarni siodu z lat 2013 - 2015

Lp.	Nazwa wentylatora	Nazwa urządzenia	Stan łożysk				
			Przyśpieszenie drgań g OP				Max [g]
			IX 2013	VI 2014	XII 2014	V 2015	IX 2015
1	suszenie siodu - komora suszarnicza nr 1	silnik		17,12	16,57	13,9	12,09
		przekładnia		3,54	3,8	2,58	2,76
2	suszenie siodu - komora suszarnicza nr 2	silnik		3,61	8,56	4,29	6,46
		przekładnia		3,55	3,19	7,56	2,3
3	wyciąg spalin palnika gazowego wstępnego	silnik	2,6	3,5	3,33	3,63	3,3
		wentylator	8	6,92	3,52	8,91	10,69
		silnik palnika			1,49	1,06	1,1
4	wyciąg spalin palnika gazowego komory suszarniczej nr 1	silnik	3,8	4,51	6,55	6,45	2,62
		wentylator	12,2	9,4	3,75	9,99	9,27
		silnik palnika			1,5	1,09	0,78
5	wyciąg spalin palnika gazowego komory suszarniczej nr 2	silnik	6,4	3,7	0,87	5,75	6,23
		wentylator	13	9,76	3,78	16,37	73,22
		silnik palnika			0,83	1,64	1,18

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań firmy Predict Piła

7.4. OCENA EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACJI

Przy założeniu, że współczynnik OEE powinien być stały, co gwarantuje jednocześnie stabilność efektów ekonomicznych, poziom jakości uwarunkowany jest parametrami technologicznymi, które zawierają współczynniki eksploatacji oraz współczynnik wykorzystania. Z tego też względu wprowadzono pojęcie *częściowa efektywność urządzenia CEU*, która wynosi:

$$CEU = WE \cdot WW. \quad (7.1)$$

po przekształceniach wzoru uzyskujemy następującą postać:

$$CEU = \frac{ICJ \cdot P}{TZ - PP} \cdot 100\% \quad (7.2)$$

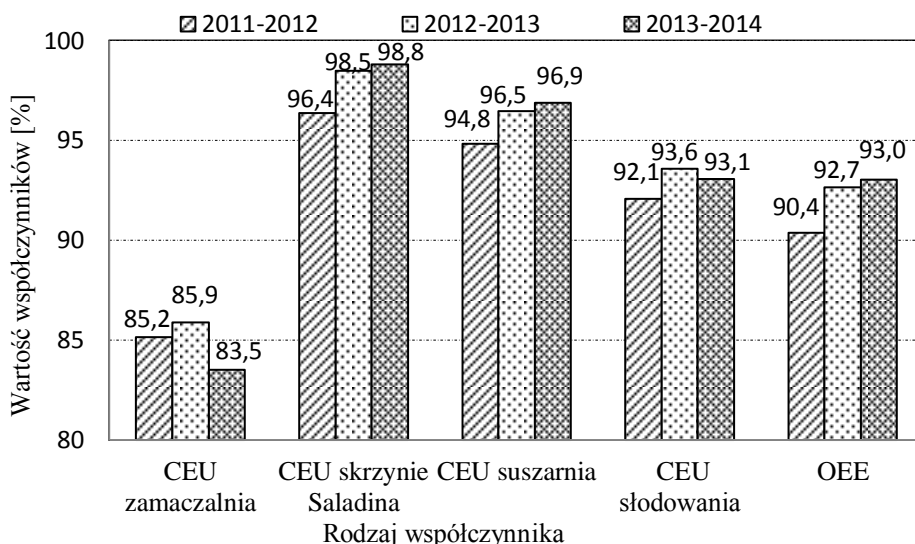
Wyniki badań dotyczące eksploatacji podmiotowych maszyn i urządzeń przedstawiono w tabeli 7.20. Uzyskane dane zaprezentowano oddzielnie dla poszczególnych etapów słodowania i porównano je ze standardami światowymi. Stwierdzono, że tylko zamaczalnia nie spełnia warunku w zakresie współczynnika WW. Stąd wniosek: efektywność eksploatacji maszyn oraz urządzeń w trzech najważniejszych obszarach słodowni (zamaczalnia, skrzynie Saladina i suszarnia) odpowiada, z małymi wyjątkami, standardom.

Tabela 7.20. Wartości średnich współczynników TPM dla okresu 36 miesięcy

Nazwa współczynnika	Zamaczalnia [%]	Skrzynie Saladina [%]	Suszarnia [%]	Standard światowy [%]
WD	98,82	99,74	98,36	90
WW	85,66	98,09	97,64	95
CEU	84,65	97,83	96,04	85

Źródło: badania własne

Okres badań obejmuje 3 lata i dlatego na rysunku 7.16 przedstawiono analizowane współczynniki w poszczególnych latach (2011 – 2014), rozszerzając o współczynnik CEU słodowania oraz OEE.



Rys. 7.16. Wykres wartości średnich rocznych współczynników TPM dla różnych lokalizacji zakładu z lat badań 2011 – 2014

Źródło: badania własne

Należy stwierdzić, że w zakresie podmiotowych czynników wraz z upływem lat badań wzrosły one w odniesieniu do skrzyń Saladina i suszarni. Wzrosła również wartość współczynnika OEE słodowania z 90,4% do 93%.

Wzrost efektywności eksploatacji maszyn i urządzeń należy kojarzyć z zaproponowanymi przez doktoranta działaniami zapobiegawczymi.

W załącznikach nr 5 i 6 zaprezentowano wykresy średnich miesięcznych czasów procesu suszenia oraz słodowania, koniecznych dla wyprodukowania jednej partii słoðu. W badanym okresie 36 miesięcy (lata 2011 – 2014) osiągnięto malejący trend obu procesów, który potwierdza właściwy kierunek wprowadzonych działań zapobiegawczych w celu utrzymania maszyn i urządzeń zakładu w stanie zdatności technicznej. Natomiast załącznik nr 7 zawiera średnie miesięczne wartości wskaźników CEU procesu suszenia oraz OEE procesu słodowania. W badanym okresie oba wskaźniki TPM posiadają tendencję wzrostową, co pozytywnie świadczy o funkcjonującym systemie eksploatacji maszyn i urządzeń słodowni.

Odnosząc się do podstawowego problemu naukowego dysertacji, wyrażonego wzorem CEU, praktycy z pewnością oczekują, że względów ekonomicznych, wzrostu wartości współczynnika CEU. Dane potwierdzające trafność podejścia naukowego zawarte są w ostatniej kolumnie tabeli 7.21.

Z kolumny tej wynika, że, wskutek zaproponowanych działań zapobiegawczych, efektywność określona współczynnikiem CEU wzrosła w okresie badawczym o 1,74%.

Dane uzyskane z trzech lat (tabela 7.21) są podstawą algorytmu sterowania produkcją słoðu, którego wymaga właściciel obiektu badawczego.

Tabela 7.21. Zestawienie parametrów do zarządzania produkcją z lat 2011 - 2014

Okres badawczy	średni ICJ procesu suszenia słoðu[<i>min</i>]	P [liczba grzęd]	TZ [<i>min</i>]	PP [<i>min</i>]	CEU procesu suszenia słoðu [%]
2011 - 2012	1923	506	1025280	3100	95,19
2012 - 2013	1869	538	1046880	6480	96,65
2013 - 2014	1856	543	1042560	2880	96,93
średnie z okresu 3 lat	1883	529	1038240	4153	96,33

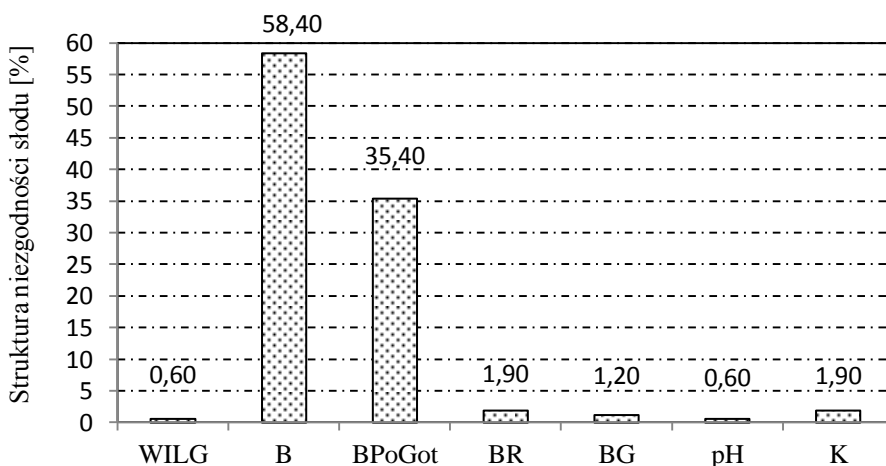
Źródło: badania własne

8. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW

8.1. IDENTYFIKACJA CZYNNIKÓW GWARANTUJĄCYCH JAKOŚĆ SŁODU

Klienta interesuje głównie jakość słoðu, która gwarantuje odpowiednią jakość otrzymywanego piwa. Spośród wielu parametrów jakościowych słoðu na szczególną uwagę zasługują, m.in: wilgotność (WILG), barwa (B), barwa po gotowaniu (BPoGot), białko rozpuszczalne (BR), beta glukany (BG), wartość pH (pH) oraz kruchość (K).

Średnia wartość przyczyn niezgodności jakościowych słoðu w okresie badawczym (rys. 8.1) wskazuje na duży udział w strukturze niezgodności barwy ziarna (B), bo aż 58,4%. Barwa po gotowaniu (BPoGot) słoðu jest jedną z ważniejszych przyczyn niezgodności jakościowych słoðu odnotowaną w badanym obiekcie, ponieważ w strukturze niezgodności zajmuje 35,4%. Wymienione dwie przyczyny niezgodności (B i BPoGot) w badanym okresie stanowią aż 93,8%, co więcej, są dominujące i można powiedzieć warunkujące jakość słoðu.



Opis niezgodności jakościowych słoðu

Rys. 8.1. Udział procentowy niezgodności jakościowych słoðu jęczmiennego z wymaganiami [%] z 36 miesięcy z lat 2011 - 2014

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników analiz laboratoryjnych słodowni

Analizowane przyczyny niezgodności jakościowych zależą od:

- cech odmianowych jęczmienia (duża wrażliwość na wodę),
- wilgotności powietrza zewnętrznego (wyższe wartości podnoszą barwę),
- awarii maszyn i urządzeń w całym cyklu słodowania, a szczególnie podczas suszenia słoðu w jego pierwszej fazie (podsuszanie).

Powyższe fakty zwracają uwagę operatorom poszczególnych maszyn oraz urządzeń na konieczność dostosowania parametrów technologicznych do charakterystyk jęczmienia.

Jednym z celów rozprawy jest identyfikacja miejsc powstawania przyczyn niezgodności podczas realizacji procesu słodowania; dane z tego zakresu przedstawia tabela 8.1. W okresie badawczym stwierdzono ogółem 51 awarii trwających łącznie 91 godzin. Obszarem generującym największą liczbę awarii (26) jest suszarnia i skrzynie Saladina (21). Również taka sama zależność dotyczy liczby godzin trwania zdarzeń awaryjnych.

Tabela 8.1. Liczba awarii i ich czasu trwania z wpływem na niezgodność jakościową słodu w zależności od lokalizacji maszyn i urządzeń w zakładzie z okresu 36 miesięcy badań z lat 2011 - 2014

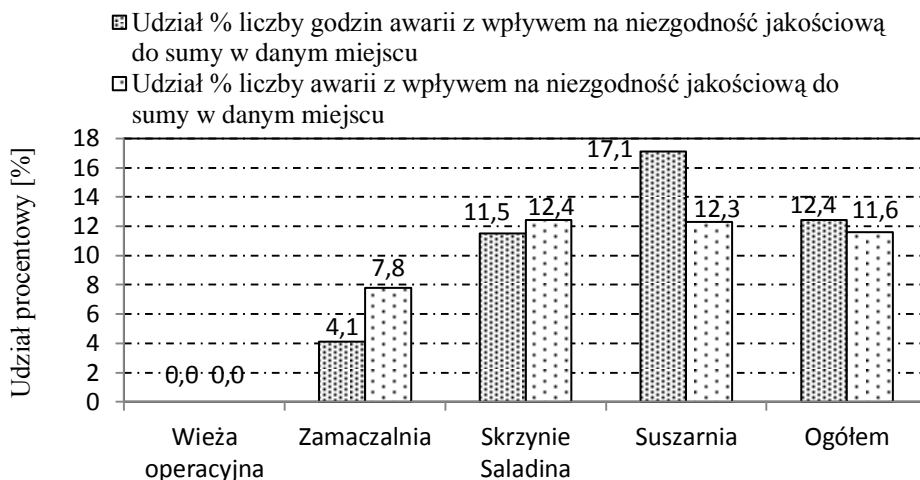
Opis wpływu na niezgodność jakościową	Lokalizacja wystąpienia zdarzenia				
	Wieża operacyjna	Zamaczalnia	Skrzynie Saladina	Suszarnia	Ogółem
liczba godzin awarii z wpływem na niezgodność jakościową [h]	0	4	30	57	91
liczba awarii z wpływem na niezgodność jakościową [szt.]	0	4	21	26	51

Źródło: badania własne

Uzyskane dane są ciekawą podpowiedzią dla zarządzających procesem słodowania w kwestii utrzymania w sprawności technologicznej maszyn oraz urządzeń w suszarni i skrzyniach Saladina. Dane w przedstawionej tabeli wymagają pewnego uszczegółowienia sprowadzającego się do faktu, że dotyczą one przypadków złej jakości jęczmienia oraz realizacji jego słodowania, podczas którego wystąpiła awaria obiektów technicznych.

Z ekonomicznego punktu widzenia, interesujące są dane dotyczące udziału awarii maszyn i urządzeń, które były jedną z przyczyn złej jakości słodu, do ogólnej liczby zarejestrowanych wszystkich awarii mających wpływ na wydłużenia czasu trwania procesu słodowania. Dane takie zawiera rys. 8.2 i to właśnie na ich podstawie można stwierdzić, że maszyny i urządzenia suszarni słodu powinny podlegać szczególnym działaniom zapobiegawczym, ponieważ liczba awarii generujących złą jakość słodu wynosi 12,3%, co stanowi aż 17,1% czasu trwania wszystkich awarii mających wpływ na wydłużenie procesu słodowania jęczmienia. Fakt ten podkreśla dużą aktualność realizowanego tematu badawczego. Otrzymane wyniki pozwalają jednocześnie potwierdzić sformułowane w niniejszej pracy dwie tezy pomocnicze, bowiem w procesie

suszenia to czas i temperatura są czynnikami decydującymi o jakości podstawowych parametrów słodu.



Lokalizacja wystąpienia awarii maszyn i urządzeń

Rys. 8.2. Udział procentowy liczby awarii i ich czasu trwania z wpływem na niezgodność jakościową w stosunku do wszystkich awarii w tej lokalizacji zakładu z 36 miesięcy badań z lat 2011 - 2014

Źródło: badania własne

Prezentowane dotychczas wyniki dotyczą ocen jakości słodu, które przeprowadzone zostały przez laboratorium słodowni w latach 2011 - 2014.

8.2. STOSOWANE DZIAŁANIA ZAPOBIEGAWCZE I KORYGUJĄCE W SŁODOWNI W ZAKRESIE PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH

Wszelkie podjęte działania zapobiegawcze i korygujące odbywają się zazwyczaj w kilku obszarach i można je pogrupować następująco:

- podniesienie jakości przyjmowanego jęczmienia,
- zmiany w procesie technologicznym,
- dbałość o właściwy poziom zdatności technicznej maszyn i urządzeń.

Podniesienie poziomu jakości przyjmowanego jęczmienia realizowane było głównie poprzez wprowadzenie dużych obniżek ceny skupionego jęczmienia, w przypadku gdy był on niezgodny ze specyfikacją jakościową. Dotyczyło to w szczególności takich parametrów jak: wilgotność, energia, białko i ziarna spleśniałe. Dodatkowo wprowadzono systematyczną miesięczną kontrolę energii magazynowanego ziarna w silosach zewnętrznych. Z doświadczenia wiadomo, że sposób przechowywania ziarna w silosach ma istotny wpływ na zachowanie lub spadek energii w magazynowanym ziarnie.

Z tego powodu, w pierwszej kolejności pobierane do produkcji były te gatunki jęczmienia, które miały zdecydowanie najgorsze wyniki. System ten gwarantuje, że końcowa partia ziarna pobrana do produkcji będzie dysponować wymaganą energią, konieczną do wyprodukowania słoðu o dobrej jakości. W celu zapewnienia ciągłości produkcji słoðu trzeba założyć, że ostatnia partia jęczmienia może być użyta do produkcji nawet po szesnastomiesięcznym okresie przechowywania.

Zmiany w procesie technologicznym polegają głównie na wprowadzeniu korekt w programach moczenia, kiełkowania i suszenia słoðu. Trzeba pamiętać, że najkorzystniejsze warunki dla procesu słodowania występują od okresu jesiennego do wiosennego. Z tego względu najlepiej właśnie w tym okresie skierować do produkcji wszystkie gatunki jęczmienia o niskiej energii oraz wrażliwe na podwyższoną temperaturę procesu moczenia i kiełkowania. Niska wilgotność powietrza zewnętrznego w okresie zimowym sprzyja uzyskiwaniu słoðów o niskiej barwie podczas procesu suszenia. Ziarna, które bardzo trudno oddają wodę podczas procesu suszenia, należy również kierować do produkcji w okresie zimowym, kiedy to można ewentualnie pozwolić sobie na wydłużenie w czasie procesu suszenia. Jak pokazuje praktyka, w razie problemów jakościowych występujących podczas produkcji, zawsze można zdecydować się na zmniejszenie wielkości zasypu jęczmienia na partię produkcyjną, co skutecznie rozwiązuje zaistniałe problemy.

Dbalność o właściwy poziom zdolności technicznej maszyn oraz urządzeń słodowni w taki sposób, aby zawsze mogły być one odpowiednio obciążone, stosownie do wymagań procesu technologicznego. Ewidencja i zapobieganie wszelkim zdarzeniom awaryjnym maszyn i urządzeń ułatwia ich bieżące eksploataowanie. Wprowadzenie diagnostyki, przede wszystkim dla procesu suszenia słoðu, pozwala na wykonanie, z pewnym wyprzedzeniem czasowym, koniecznych napraw zarejestrowanych stanów przedawaryjnych. Operatorzy obiektów technicznych zakładu powinni mieć na uwadze fakt, że uruchomienie kolejnej partii produkcyjnej może być możliwe tylko wówczas, gdy stan zdolności technicznej maszyn i urządzeń nie budzi zastrzeżeń.

8.3. ANALIZA KORELACJI I REGRESJI

Analizę statystyczną wykonano na podstawie danych zebranych w okresie 36 miesięcy w latach 2011 – 2014, dotyczących wszelkich zanotowanych awarii maszyn i urządzeń zakładu.

Wyniki poddane analizie w poprzednich rozdziałach zostały przedstawione w różnej formie. Zebrane informacje o eksploatacji obiektów technicznych posłużyły do wykonania analiz korelacji i regresji koniecznych do zbudowania modelu opisującego pewne sytuacje zachodzące między zmiennymi. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z metodyką zawartą w punkcie 6.4.

Utworzono dwa modele regresji - dla CEU suszenia oraz dla miesięcznej produkcji słoðu. Właśnie te dwie zmienne zależne są istotą każdej działalności

podstawowej przedsiębiorstw a także w znacznym stopniu są zależne od zdadności technicznej maszyn i urządzeń realizujących proces technologiczny.

Ze względu na brak normalności rozkładu badanych parametrów oraz nie zawsze liniową zależność pomiędzy CEU suszenia a badanymi parametrami, do wyznaczenia związku zastosowano korelację nieparametryczną rang Spearmana (poziom istotności statystycznej przyjęto na poziomie $p = 0,1$).

Wynik korelacji rang Spearmana opisany jest za pomocą parametrów:

r_s – wartość współczynnika r Spearmana dla liczebności n ,

p – poziom prawdopodobieństwa p .

Tabela. 8.2. Korelacje rang Spearmana między CEU suszenia a badanymi parametrami

Lp.	Zmienne niezależne dla CEU suszenia	n	r_s	p
1	liczba grzęd w miesiącu [szt.]	36	0,523	0,001078*
2	miesięczna produkcja słoðu [tys. ton]	36	0,560	0,000383*
3	poziom jakości słoðu [%]	36	0,572	0,000265*
4	idealny czas zamaczania [h]	36	-0,009	0,957627
5	idealny czas kiełkowania [h]	36	-0,232	0,174086
6	idealny czas suszenia [h]	36	-0,310	0,065406*
7	idealny czas procesu słodowania [h]	36	-0,323	0,055008*
8	CEU zamaczania	36	0,239	0,160280
9	CEU kiełkowania	36	0,137	0,426325
10	CEU procesu słodowania	36	0,458	0,004984*
11	liczba godzin awarii zakładu [h]	36	-0,445	0,006494*
12	liczba godzin awarii zamaczania [h]	36	-0,293	0,082672*
13	liczba godzin awarii kiełkowania [h]	36	-0,339	0,043345*
14	liczba godzin awarii suszenia [h]	36	-0,274	0,105316
15	liczba godzin awarii elektrycznych zakładu [h]	36	-0,606	0,000089*
16	liczba godzin awarii mechanicznych zakładu [h]	36	-0,041	0,814277
17	liczba godzin awarii elektrycznych suszarni [h]	36	-0,407	0,013640*
18	liczba godzin awarii mechanicznych suszarni [h]	36	-0,005	0,976246
19	liczba godzin awarii elektrycznych procesu suszenia [h]	36	-0,397	0,016553*
20	liczba godzin awarii mechanicznych procesu suszenia [h]	36	0,007	0,967180
21	liczba godzin awarii zakładu w dni robocze [h]	36	-0,471	0,003769*
22	liczba godzin awarii zakładu w dni wolne [h]	36	-0,378	0,022962*
23	liczba godzin awarii suszarni w dni robocze [h]	36	-0,293	0,082344*
24	liczba godzin awarii suszarni w dni wolne [h]	36	-0,257	0,130361
25	liczba godzin awarii procesu suszenia w dni robocze [h]	36	-0,305	0,070434*
26	liczba godzin awarii procesu suszenia w dni wolne [h]	36	-0,237	0,163699

* istotny statystycznie, $p < 0,1$

Źródło: badania własne

Dane tabeli 8.2 wskazują, że wartość współczynnika CEU suszenia dla maszyn i urządzeń zakładu jest zależna od następujących parametrów:

- liczby grzęd w miesiącu,
- miesięcznej produkcji słoðu,
- poziomu jakości słoðu,
- idealnego czasu zamaczania,
- idealnego czasu kielkowania,
- idealnego czasu suszenia,
- idealnego czasu procesu słodowania,
- CEU zamaczania,
- CEU kielkowania,
- CEU procesu słodowania,
- liczby godzin awarii zakładu,
- liczby godzin awarii zamaczania,
- liczby godzin awarii kielkowania,
- liczby godzin suszenia,
- liczby godzin awarii elektrycznych zakładu,
- liczby godzin awarii mechanicznych zakładu,
- liczby godzin awarii elektrycznych suszarni,
- liczby godzin awarii mechanicznych suszarni,
- liczby godzin awarii elektrycznych procesu suszenia,
- liczby godzin awarii mechanicznych procesu suszenia,
- liczby godzin awarii zakładu w dni robocze,
- liczby godzin awarii zakładu w dni wolne,
- liczby godzin awarii suszarni w dni robocze,
- liczby godzin awarii suszarni w dni wolne,
- liczby godzin awarii procesu suszenia w dni robocze,
- liczby godzin awarii procesu suszenia w dni wolne.

Z wytypowanych 26 parametrów statystycznie istotny wpływ na CEU suszenia wykazało 16 parametrów, przy czym największy poziom r_s wystąpił dla liczby godzin trwania awarii elektrycznych zakładu i jest to korelacja ujemna, co jest logiczne. Wysokie współczynniki korelacji wystąpiły również dla liczby grzęd w miesiącu, miesięcznej produkcji słoðu i poziomu jakości słoðu. Także w tych przypadkach dodatnia korelacja ma swoje uzasadnienie.

Istotne statystycznie korelacje wystąpiły pomiędzy zmiennymi:

- „CEU suszenia” a „liczba grzęd w miesiącu” - przeciętna dodatnia korelacja ($r_s = 0,523$) - im większa liczba grzęd w miesiącu, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „miesięczna produkcja słoðu” - przeciętna dodatnia korelacja ($r_s = 0,560$) - im większa miesięczna produkcja słoðu, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „poziom jakości słoðu” - przeciętna dodatnia korelacja ($r_s = 0,572$) - im większy poziom jakości słoðu, tym większe CEU suszenia,

- „CEU suszenia” a „idealny czas suszenia” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,31$) - im mniejszy idealny czas suszenia, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „idealny czas procesu śladowania” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,323$) - im mniejszy idealny czas procesu śladowania, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „CEU procesu śladowania” - przeciętna dodatnia korelacja ($r_s = + 0,458$) - im większa wartość CEU procesu śladowania, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba godzin awarii zakładu” - przeciętna ujemna korelacja ($r_s = - 0,445$) - im mniejsza liczba godzin awarii zakładu, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba godzin awarii zamaczania” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,293$) - im mniejsza liczba godzin awarii zamaczania, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba godzin awarii kielkowania” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,339$) - im mniejsza liczba godzin awarii kielkowania, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba godzin awarii elektrycznych zakładu” - wysoka ujemna korelacja ($r_s = - 0,606$) - im mniejsza liczba godzin awarii elektrycznych zakładu, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba godzin awarii elektrycznych suszarni” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,407$) - im mniejsza liczba godzin awarii elektrycznych suszarni, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba awarii elektrycznych procesu suszenia” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,397$) - im mniejsza liczba awarii elektrycznych procesu suszenia, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba awarii zakładu w dni robocze” - przeciętna ujemna korelacja ($r_s = - 0,471$) - im mniejsza liczba awarii zakładu w dni robocze, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba awarii zakładu w dni wolne” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,378$) - im mniejsza liczba awarii zakładu w dni wolne, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba godzin awarii suszarni w dni robocze” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,293$) - im mniejsza liczba godzin awarii suszarni w dni robocze, tym większe CEU suszenia,
- „CEU suszenia” a „liczba godzin awarii procesu suszenia w dni robocze” - słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,305$) - im mniejsza liczba godzin awarii procesu suszenia w dni robocze, tym większe CEU suszenia.

Równanie regresji wielorakiej krokowej postępującej

Do znalezienia odpowiedniego modelu opisującego zmiany CEU suszenia brano pod uwagę tylko te parametry (zmiennie niezależne), których korelacja ze zmienną zależną (CEU suszenia) jest istotna statystycznie. Zastosowano regresję wieloraką krokową postępującą, która dołącza w kolejnych krokach do modelu te zmiennie, które mają najistotniejszy wpływ na zmienną zależną. Poziom istotności statystycznej podczas obliczeń przyjęto na poziomie $p = 0,1$.

Tabela. 8.3. Wyniki analizy regresji krokowej postępującej dla zmiennej zależnej: CEU suszenia

Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: CEU suszenia $r = 0,73697341$; $R^2 = 0,54312981$; Popraw. $R^2 = 0,50029823$ $F(3;32) = 12,68$; $p < 0,00001$; Błąd std. estymacji: 1,2365				
n=36	Ocena	Błąd std.	t (32)	p
W. wolny	69,018	7,502	9,20	0,000000**
Miesięczna produkcja słodu [tys. ton]	1,116	0,253	4,41	0,000109**
CEU procesu słodowania	0,189	0,081	2,32	0,026787**
Liczba godzin awarii procesu suszenia w dni robocze [h]	-0,161	0,060	-2,70	0,011119**

** istotny statystycznie, $p < 0,05$

Źródło: badania własne

Wyznaczone wartości pozwalają zapisać równanie regresji wraz z błędami szacunku w postaci:

$$\begin{aligned} \text{„CEU suszenia”} &= 69,02(\pm 7,50) + 1,12(\pm 0,25) \cdot \text{„miesięczna} \\ &\text{produkcja słodu”} + 0,19(\pm 0,07) \cdot \text{„CEU procesu słodowania”} \\ &- 0,16(\pm 0,06) \cdot \text{„liczba godzin awarii procesu suszenia w dni} \\ &\text{robocze”} \pm 1,24 \end{aligned} \quad (8.1.)$$

Interpretacja zależności 8.1.

Częściowa Efektywność Urządzeń suszenia (CEU suszenia) w przedstawionym modelu matematycznym zależna jest od miesięcznej produkcji słodu (wpływ dodatni), CEU procesu słodowania (wpływ dodatni) i liczby godzin awarii procesu suszenia w dni robocze (wpływ ujemny). Wolny wyraz posiada znak dodatni.

Praktyczna interpretacja zależności (8.1) jest następująca:

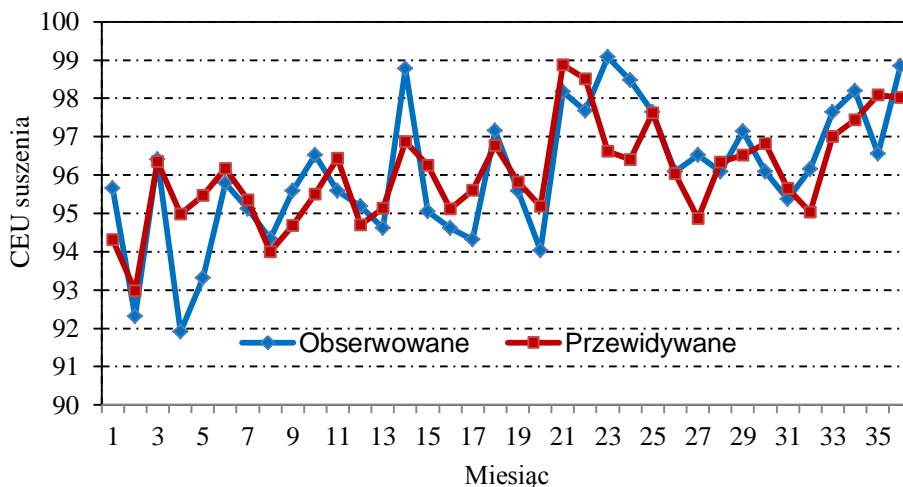
- jeśli wartość zmiennej „miesięczna produkcja słodu” zwiększy się o tysiąc ton, to wartość zmiennej „CEU suszenia” zwiększy się o $1,12 \pm 0,25$ jednostek przy pozostałych zmiennych pozostających na stałym poziomie,

- jeśli wartość zmiennej „CEU procesu śladowania” zwiększy się o jedną jednostkę, to wartość zmiennej „CEU suszenia” zwiększy się o $0,19 \pm 0,08$ jednostek, przy pozostałych zmiennych pozostających na stałym poziomie,
- jeśli wartość zmiennej „liczba godzin awarii procesu suszenia w dni robocze” zwiększy się o jedną godzinę, to wartość zmiennej „CEU suszenia” zmniejszy się o $0,16 \pm 0,06$ jednostek, przy pozostałych zmiennych pozostających na stałym poziomie.

W zależności (8.1) występują dwa istotne parametry dotyczące rozprawy doktorskiej, a mianowicie CEU procesu śladowania oraz liczba godzin awarii procesu suszenia w dni robocze.

Sterowanie procesem śladowania w kierunku zwiększenia wartości współczynnika CEU suszenia wiąże się z dyspozycyjnością maszyn i urządzeń w zakresie zagwarantowania wymaganych parametrów technologicznych. Liczba godzin awarii procesu suszenia w dni robocze posiada wartość ujemną współczynnika, jest to zrozumiały kierunek wpływu i zwraca uwagę na konieczność ograniczenia liczby awarii, co jest zapewniane między innymi odpowiednią diagnostyką.

Istotnym elementem weryfikacji wygenerowanego modelu matematycznego jest zgodność uzyskanych wyników z danymi rzeczywistymi, co przedstawiono na rys. 8.3.



Rys. 8.3. Dopasowanie modelu regresji dla CEU suszenia
Źródło: badania własne

Z wzajemnego przebiegu zamieszczonych krzywych reprezentujących dane rzeczywiste i dane uzyskane na podstawie modelu 8.1 wykazują dużą zgodność, w równym stopniu co do wartości jak i kierunku zmian.

Z wytypowanych 26 parametrów statystycznie istotny wpływ na miesięczną produkcję słoðu wykazało 7 parametrów, przy czym największy poziom r_s wystąpił dla liczby grzęd w miesiącu i jest to korelacja dodatnia, co jest logiczne. Również duże współczynniki korelacji wystąpiły dla idealnego czasu suszenia i idealnego czasu procesu słodowania. W tym przypadku są to korelacje ujemne i ma to swoje uzasadnienie. Natomiast zmienna CEU suszenia wykazała duży dodatni współczynnik, który także jest logiczny.

Tabela. 8.4. Korelacje rang Spearmana między miesięczną produkcją słoðu a badanymi parametrami

Lp.	Zmienne niezależne dla miesięczna produkcja słoðu [tys. ton]	n	r_s	p
1	poziom jakości słoðu [%]	36	0,449	0,005998*
2	liczba grzęd w miesiącu [szt.]	36	0,983	0,000000*
3	idealny czas zamaczania [h]	36	0,087	0,613394
4	idealny czas kiełkowania [h]	36	-0,485	0,002731*
5	idealny czas suszenia [h]	36	-0,837	0,000000*
6	idealny czas procesu słodowania [h]	36	-0,583	0,000190*
7	CEU zamaczania	36	0,019	0,910681
8	CEU kiełkowania	36	0,085	0,621879
9	CEU suszenia	36	0,560	0,000383*
10	CEU procesu słodowania	36	0,123	0,473559
11	liczba godzin awarii zakładu [h]	36	-0,083	0,631047
12	liczba godzin awarii zamaczania [h]	36	-0,139	0,417375
13	liczba godzin awarii kiełkowania [h]	36	-0,292	0,083453*
14	liczba godzin awarii suszenia [h]	36	0,152	0,377619
15	liczba godzin awarii elektrycznych zakładu [h]	36	-0,246	0,147569
16	liczba godzin awarii mechanicznych zakładu [h]	36	0,130	0,451215
17	liczba godzin awarii elektrycznych suszarni [h]	36	0,042	0,809179
18	liczba godzin awarii mechanicznych suszarni [h]	36	0,167	0,329067
19	liczba godzin awarii elektrycznych procesu suszenia[h]	36	0,023	0,894746
20	liczba godzin awarii mechanicznych procesu suszenia [h]	36	0,004	0,983541
21	liczba godzin awarii zakładu w dni robocze [h]	36	-0,029	0,868097
22	liczba godzin awarii zakładu w dni wolne [h]	36	-0,123	0,475437
23	liczba godzin awarii suszarni w dni robocze [h]	36	0,133	0,438632
24	liczba godzin awarii suszarni w dni wolne [h]	36	0,151	0,378892
25	liczba godzin awarii procesu suszenia w dni robocze [h]	36	0,008	0,963442
26	liczba godzin awarii procesu suszenia w dni wolne [h]	36	0,113	0,512440

* istotny statystycznie, $p < 0,1$

Źródło: badania własne

Istotne statystycznie korelacje wystąpiły pomiędzy zmiennymi:

- „miesięczna produkcja słoðu” a „poziom jakości słoðu” - przeciętna dodatnia korelacja ($r_s = 0,449$) - im większy poziom jakości słoðu, tym większa wartość miesięcznej produkcji słoðu,
- „miesięczna produkcja słoðu” a „liczba grzęd w miesiącu” - wysoka dodatnia korelacja ($r_s = 0,983$) - im większa liczba grzęd w miesiącu, tym większa wartość miesięcznej produkcji słoðu,
- „miesięczna produkcja słoðu” a „idealny czas kiełkowania” - przeciętna ujemna korelacja ($r_s = - 0,485$) - im mniejszy idealny czas kiełkowania, tym większa wartość miesięcznej produkcji słoðu,
- „miesięczna produkcja słoðu” a „idealny czas suszenia” - wysoka ujemna korelacja ($r_s = - 0,837$) - im mniejszy idealny czas suszenia, tym większa wartość miesięcznej produkcji słoðu,
- „miesięczna produkcja słoðu” a „CEU suszenia” - przeciętna dodatnia korelacja ($r_s = 0,560$) - im wyższy współczynnik CEU suszenia, tym większa wartość miesięcznej produkcji słoðu,
- „miesięczna produkcja słoðu” a „liczba godzin awarii kiełkowania” – słaba ujemna korelacja ($r_s = - 0,292$) - im mniejsza liczba awarii kiełkowania, tym większa wartość miesięcznej produkcji słoðu.

Postępując podobnie jak w przypadku CEU suszenia wyprowadzono stosowne równanie regresji 8.2. dane do jego budowy zawiera tabela 8.5.

Tabela. 8.5. Wyniki analizy regresji krokowej postępującej dla zmiennej zależnej: miesięczna produkcja słoðu

Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: miesięczna produkcja słoðu [tys. ton] $r = 0,99761298$; $R^2 = 0,99523166$; Popraw. $R^2 = 0,99494267$ $F(2;33) = 3443,8$; $p < 0,0000$; Błąd std. estymacji: 0,05982				
n = 36	Ocena	Błąd std.	t(33)	p
W. wolny	-1,026	0,135	-7,58	0,000000**
poziom jakości słoðu [%]	0,005	0,001	4,86	0,000028**
liczba grzęd w miesiącu [szt.]	0,216	0,003	78,90	0,000000**

** istotny statystycznie, $p < 0,05$

Źródło: badania własne

Wyznaczone wartości pozwalają zapisać równanie regresji wraz z błędami szacunku w postaci:

$$\begin{aligned}
 \text{„miesięczna produkcja słoðu”} &= -1,026(\pm 0,135) \\
 &+ 0,005(\pm 0,001) \cdot \text{„poziom jakości słoðu”} \\
 &+ 0,216(\pm 0,003) \cdot \text{„liczba grzęd w miesiącu”} \pm 0,06
 \end{aligned}
 \tag{8.2}$$

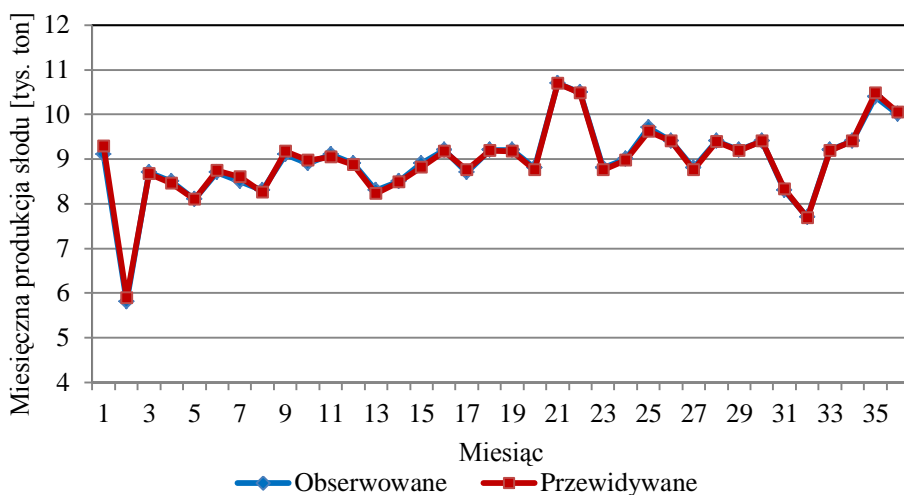
Interpretacje zależności 8.2.

Miesięczna produkcja słoðu w przedstawionym modelu matematycznym zależna jest od poziomu jakości słoðu (wpływ dodatni) oraz liczby grzęd w miesiącu (również wpływ dodatni). Wolny wyraz posiada znak ujemny.

Praktyczna interpretacja zależności (8.2.) jest następująca:

- jeśli wartość zmiennej „poziom jakości słoðu” zwiększy się o jeden punkt procentowy, to wartość zmiennej „miesięczna produkcja słoðu” wzrośnie o $0,005 \pm 0,001$ tysięcy ton, przy pozostałej zmiennej pozostającej na stałym poziomie,
- jeśli wartość zmiennej „liczba grzęd w miesiącu” zwiększy się o jedną sztukę, to wartość zmiennej „miesięczna produkcja słoðu” wzrośnie o $0,216 \pm 0,003$ tysięcy ton, przy pozostałej zmiennej pozostającej na stałym poziomie.

Chociaż na miesięczną produkcję słoðu wpływają tylko dwa parametry to pole pokrycia danych obliczeniowych z danymi rzeczywistymi jest bardzo wysokie i wynosi 99,5%, co można zaobserwować na wykresie 8.4.



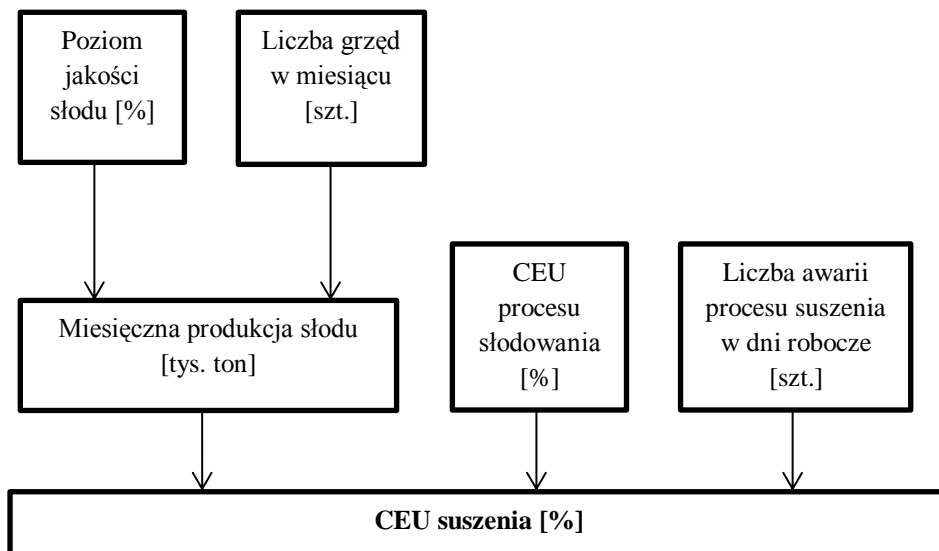
Rys. 8.4. Dopasowanie modelu regresji dla miesięcznej produkcji słoðu

Źródło: badania własne

Należy stwierdzić, że w przypadku miesięcznej produkcji słoðu z 26 czynników w sposób statystycznie istotny w modelu matematycznym kształtują go tylko dwie zmienne niezależne, tj. poziom jakości słoðu oraz liczba grzęd produkcyjnych w miesiącu.

Podsumowaniem modeli matematycznych 8.1 i 8.2 jest rysunek 8.5, który graficznie prezentuje wpływ najważniejszych zmiennych niezależnych na CEU suszenia. Z wzoru tego wynika, że CEU suszenia w praktyce określana jest miesięczną produkcją słoðu, CEU procesu słodowania i na te zmienne istnieje

realna możliwość wpływu. Natomiast trzecia zmienna, liczba awarii procesu suszenia w dni robocze, jest w warunkach słodowni ograniczana poprzez diagnostykę stanu maszyn i urządzeń technologicznych.



Rys. 8.5. Wyszczególnienie powiázań pomiędzy zmienną zale¿ną CEU suszenia a wybranymi zmiennymi niezale¿nymi

Źródło: badania wlasne

8.4. BUDOWA ALGORYTMU STEROWANIA

Jak wspomniano ju¿ wczeñniej, produkcja słoðu wymaga, aby wszystkie maszyny i urzãdzenia technologiczne realizujãce zaplanowany proces słoðowania, były w stanie zdadnoñci technicznej. Ponadto przed podjêciem decyzji o zamoczeniu kolejnej partii jêczmienia, operator musi posiadaç wiedzê o statusie wszelkich potencjalnych zagrozeñ mogãcych zakłóciç planowanã produkcjê. W tym celu opracowano stosowny algorytm, który narzuca tryb postêpowania podczas uruchomienia nowej partii produkcyjnej.

Podczas budowy algorytmu sterowania kierowano siê nastêpujãcymi wytycznymi:

I START

II Uruchomienie nowej partii produkcyjnej przy pozytywnej odpowiedzi na koñcowe pytania do podjêcia decyzji czy:

- bêdzie miejsce w silosie na zaplanowany słoð z produkcji,
- jest kupiony i wyczyszczony jêczmieñ o ¿ãdanej iloñci i gatunku,
- zaplanowany czas trwania procesu słoðowania jest standardowy,
- zabezpieczono dostawã mediów koniecznych dla tej partii produkcyjnej:

wody, odbioru ścieków, energii elektrycznej, gazu ziemnego oraz sprężonego powietrza,

- h. następujące maszyny i urządzenia są w stanie zdatności technicznej:
 - zainstalowane w linii transportu słoðu z suszarni na wieżę,
 - pracujące w suszarni: wentylatory, palniki gazowe, maszyny załadownicze oraz żaluzje,
 - zainstalowane w linii transportu zielonego słoðu ze skrzyń Saladina do komór suszarni,
 - jest zapewniona wystarczająca liczba zdatnych skrzyń Saladina,
 - zainstalowane w linii transportu ziarna z zamaczalników na skrzynie Saladina,
 - jest zapewniona wystarczająca liczba zdatnych zamaczalników,
 - obsługujące linię transportu ziarna do zamaczalników,
 - zainstalowane w linii czyszczenia szczegółowego jęczmienia,
- i. mogą być krótkie przerwy między partiami produkcyjnymi,
- j. są korzystne prognozy pogodowe,
- k. występuje brak nietypowych zagrożeń?

III Wydanie decyzji o załączeniu linii zamoczki jęczmienia.

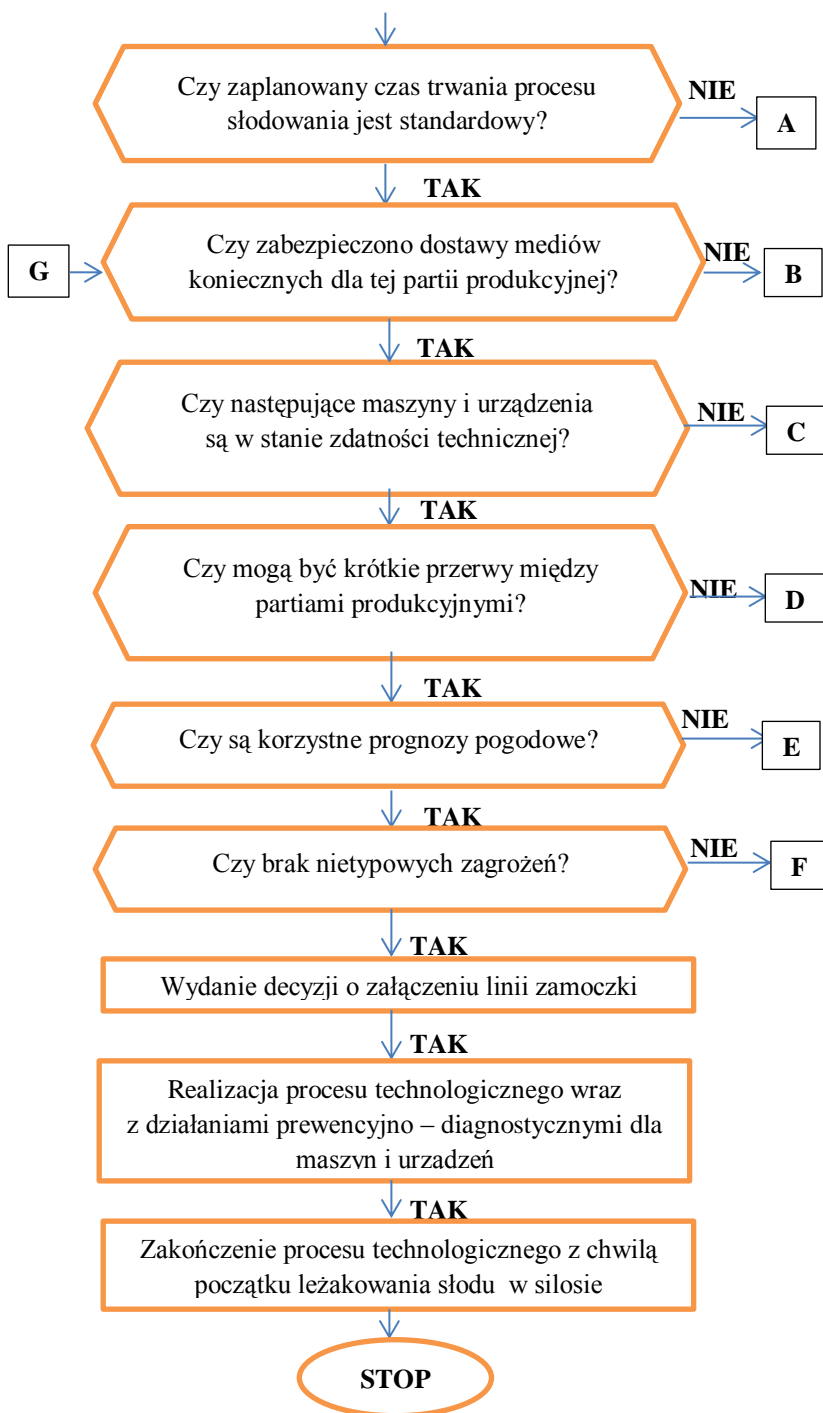
IV Realizacja procesu technologicznego wraz z działaniami prewencyjno-diagnostycznymi dla maszyn i urządzeń.

V Zakończenie procesu technologicznego z chwilą początku leżakowania wysuszonego słoðu w silosie.

VI STOP

Szczegółowe elementy podmiotowego algorytmu zawarte są na rys. 8.6.



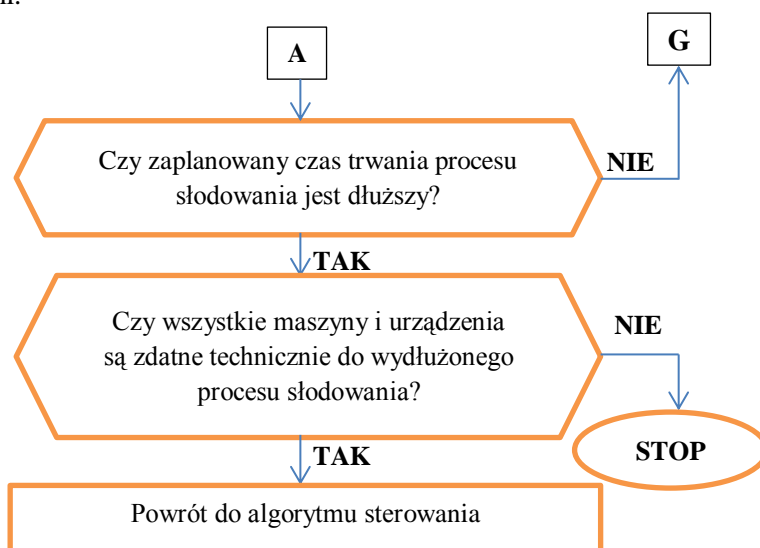


Rys. 8.6. Algorytm główny sterowania produkcją siodu w oparciu o informacje o stanie zdatności technicznej maszyn i urządzeń

Źródło: badania własne

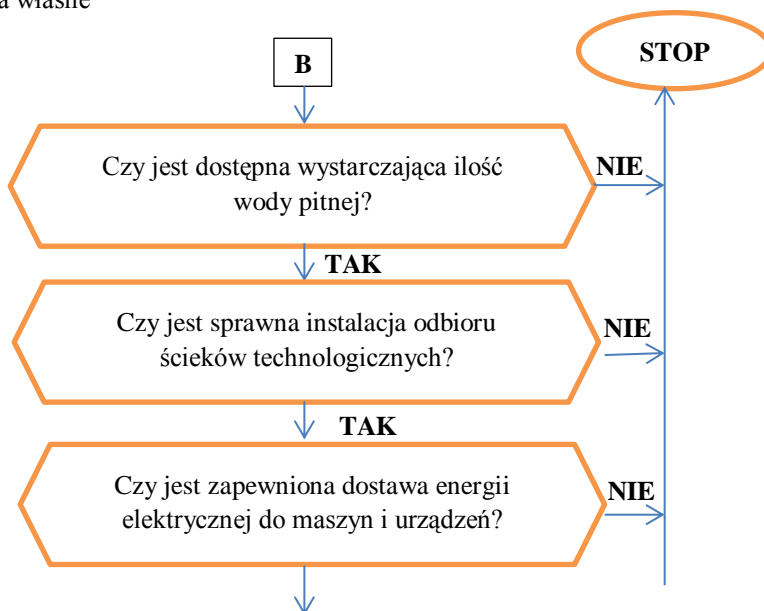
Na kolejnych rysunkach (od rys. 8.7 do 8.12) zostały przedstawione wszystkie sytuacje od punktu A do F, kiedy to wystąpiły odpowiedzi NIE.

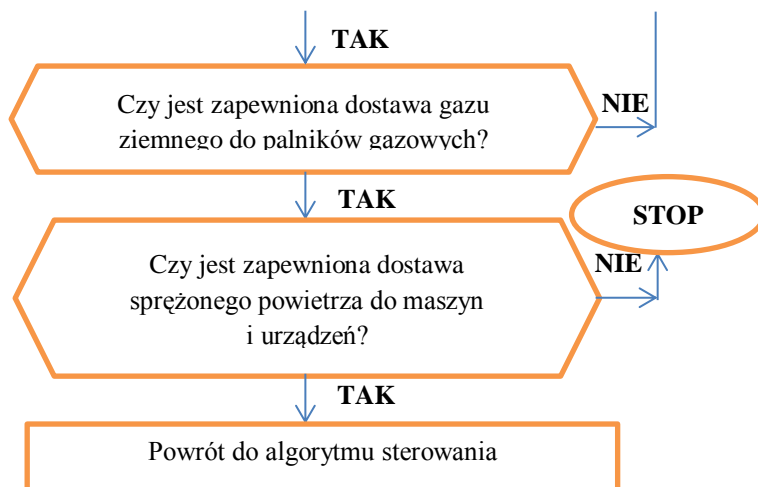
Na rys. 8.7 zaprezentowano algorytm sterowania w przypadku pytań z zakresu czasu trwania procesu słodowania. Krótsze czasy trwania procesu automatycznie mniej obciążają wszystkie maszyny i urządzenia oraz przeważnie skutkują także krótszymi przerwami między kolejnymi partiami produkcyjnymi.



Rys. 8.7. Algorytm sterowania produkcją siodu w przypadku istotnie odmiennego czasu trwania procesu słodowania

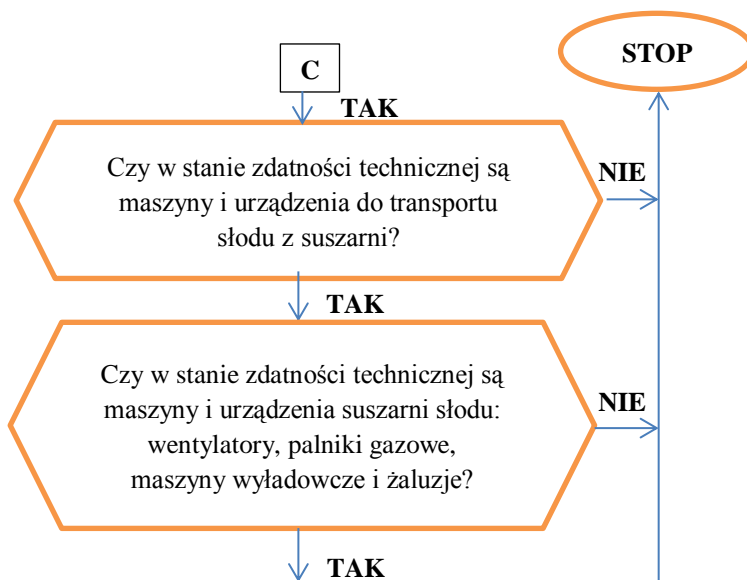
Źródło: badania własne

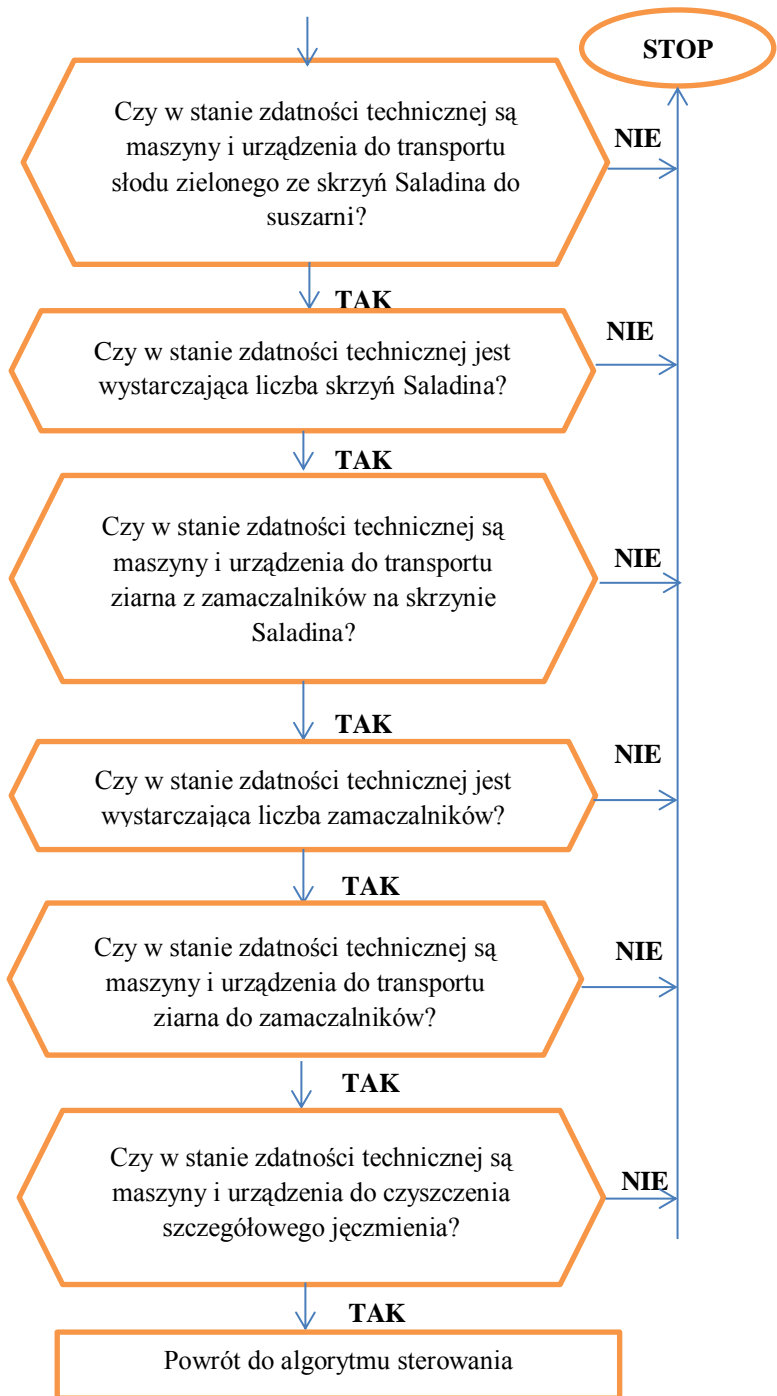




Rys. 8.8. Algorytm sterowania produkcją słoðu w przypadku ograniczenia dostaw koniecznych mediów
 Źródło: badania własne

Bardzo istotnym algorytmem, z punktu widzenia eksploatacji maszyn i urządzeń zakładu, jest algorytm sterowania produkcją w przypadku braku zdatności technicznej koniecznej do realizacji produkcji maszyny lub urządzenia pokazany na rysunku 8.9.





Rys. 8.9. Algorytm sterowania produkcją słođu w przypadku braku zdadności technicznej maszyn i urządzeń
 Źródło: badania własne

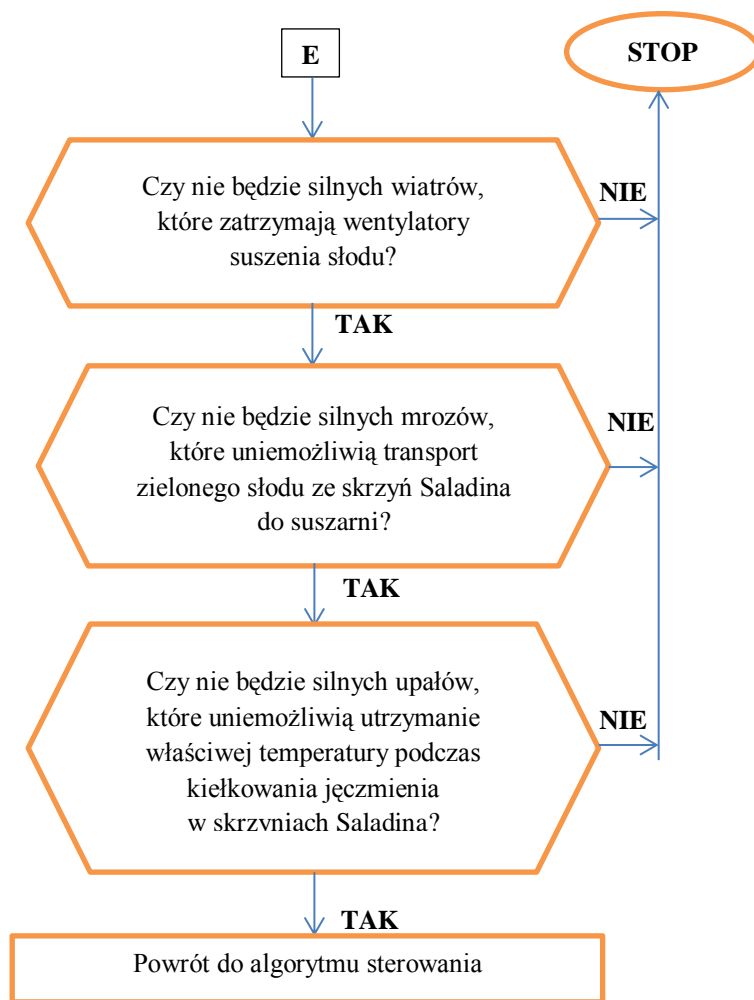
Kolejny algorytm, zaprezentowany na rys. 8.10, omawia przypadek wystąpienia krótkich przerw między partiami produkcyjnymi. Z reguły, sytuacja taka nie jest problemem dla realizacji prac eksploatacyjnych. Jednakże w przypadku uzyskania informacji, z wykonanej diagnostyki technicznej maszyn i urządzeń, o konieczności pilnego wykonania prac naprawczych, to wówczas zmusza operatora do skontaktowania się z działem utrzymania ruchu w celu uzyskania pełniejszej wiedzy na temat planowanego terminu zakończenia prac naprawczych. Takie działanie operatora zapewni możliwość uzyskania zaplanowanego poziomu jakości produkowanego słoju i zniweluje do minimum zagrożenie ze strony niesprawnych maszyn i urządzeń realizujących proces słodowania.



Rys. 8.10. Algorytm sterowania produkcją słoju w przypadku wystąpienia krótkich przerw między partiami produkcyjnymi
 Źródło: badania własne

Kolejnym poważnym zagrożeniem, mogącym w istotny sposób zakłócić planowaną produkcję słoju, są niekorzystne warunki pogodowe. Algorytm opisujący tok postępowania operatora w takiej sytuacji został pokazany na rys. 8.11. Zarówno silne mrozy, porywiste wiatry jak i upalne dni, mogą być powodem nietypowych warunków eksploatacji maszyn i urządzeń oraz mogą przyczynić się do wystąpienia obniżenia poziomu jakości produkowanego słoju. Dla przykładu, w czasie porywistych wiatrów istnieje zagrożenie

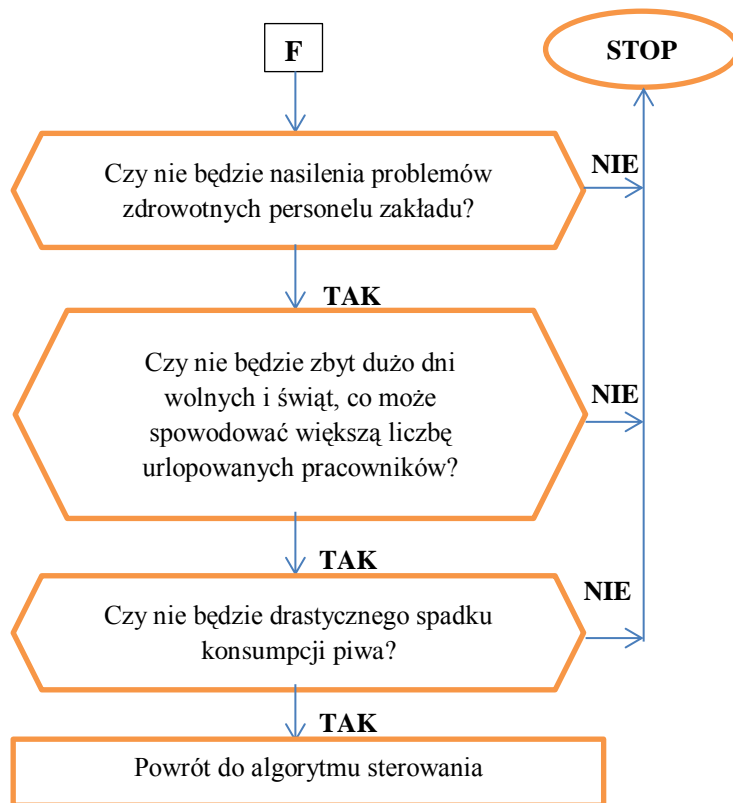
wyłączania się wentylatorów suszarni, co może prowadzić do wydłużenia czasu trwania suszenia kolejnej partii produkcyjnej. Jak wiadomo, zachwianie rytmu pracy suszarni natychmiast spowoduje zablokowanie się skrzyń Saladina i zamaczalni. Tym samym operator zostanie zmuszony do wstrzymania startu kolejnej nowej partii produkcyjnej. Można takiej sytuacji uniknąć, jeżeli sprawdzi się wcześniej prognozy pogody na 5 -6 dni naprzód.



Rys. 8.11. Algorytm sterowania produkcją słoðu w przypadku wystąpienia niekorzystnych prognoz pogodowych
Źródło: badania własne

Rysunek 8.12 przedstawia algorytm postępowania dla sytuacji spowodowanej przez nietypowe zagrożenia, takie jak: nasilenie się problemów

zdrowotnych pracowników, kumulacja urlopów pracowniczych oraz negatywne zmiany na rynku konsumentów piwa (problemy ekonomiczne). Wspomniane sytuacje mogą także niekorzystnie wpływać na rytmiczność produkcji słoðu, a co za tym idzie - mogą być początkiem wystąpienia problemów jakościowych w trakcie procesu słodowania. Przez cały czas trzeba mieć na uwadze, że zaplanowany poziom jakości słoðu trzeba uzyskać za pierwszym razem, gdyż negatywnego wyniku nie można już poprawić w przyszłości żadnym innym procesem.



Rys. 8.12. Algorytm sterowania produkcją słoðu w przypadku wystąpienia nietypowych zagrożeń

Źródło: badania własne

W załączniku nr 8 przedstawiono algorytm usuwania powstałej awarii maszyn i urządzeń słodowni. Znajomość i przestrzeganie tego algorytmu, zarówno przez służby utrzymania ruchu jak i dział produkcji, ułatwia operatorowi nadanie właściwego priorytetu zaistniałej awarii i przystąpienie do prac naprawczych przy maszynie lub urządzeniu, które jest w danej chwili najbardziej istotne z punktu widzenia jakości słoðu. Jednoznaczne

i powszechnie znane reguły postępowania w takich sytuacjach awaryjnych ułatwiają personelowi skutecznie i szybko przywrócić zdolność techniczną uszkodzonemu obiektowi technicznemu, przy uzasadnionych kosztach realizacji prac działu utrzymania ruchu oraz przy minimalizacji strat w produkcji słoju.

9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Uogólnienie wyników i przeprowadzonej ich analizy

Dane były archiwizowane z następującym grupowaniem zdarzeń awaryjnych:

- data i godzina,
- czas trwania z dokładnością do 0,5 h,
- nazwa działu zakładu,
- nazwa obiektu technicznego wraz z opisem części,
- wpływ na przerwę w produkcji.

Tabela 9.1 obrazuje wpływ interwencji naukowej na zapewnienie jakości słodu bez względu na problemy technologiczne i eksploatacyjne. Bez działań naprawczych prowadzonych podczas badania obiektu z pewnością otrzymanoby słód o nieodpowiednim poziomie jakości.

Tabela 9.1. Wykaz zmian rocznych wskaźników zakładu w latach 2007 - 2015

Lp	Kampania produkcyjna	Liczba wszystkich interwencji w dni wolne[szt.]	Czas trwania wszystkich interwencji w dni wolne [h]	Zgodność jakościowa grzęd produkcyjnych [%]	Realizacja planu produkcji [%]
1	2007 / 2008	436	844	89	103
2	2008 / 2009	286	433	91	97
3	2009 / 2010	157	289	95	90
4	2010 / 2011	123	190	81	91
5	2011 / 2012	142	233	98	102
6	2012 / 2013	109	139	99	105
7	2013 / 2014	105	97	100	106
8	2014 / 2015	53	73	99	104

Źródło: badania własne

Tabela 9.1 zawiera wszystkie awarie, które wystąpiły w dni wolne od pracy, co skutkowało koniecznością wezwania pracowników działu utrzymania ruchu w celu ich usunięcia. Należy dodać, że nie wszystkie zdarzenia awaryjne miały wpływ na wydłużenie procesu produkcji słodu.

Z analizy danych tabeli 9.1 można zauważyć, że w pewnym okresie realizacja planu produkcji obniżyła się ze 103% do 91%. Inna kolumna tej tabeli podaje, że zgodność jakościowa grzęd produkcyjnych z 89% zmalała do 81%. Przy czym, w analizowanym okresie, stwierdzono również taką zgodność jakościową na poziomie 91 i 95%, która w następnym roku zmalała już do wymienionego poziomu, czyli 81%. Interesujący jest także fakt, że dane

dotyczące zarówno liczby awarii jak i czasu ich trwania stopniowo malały. Analizowany okres trwał cztery lata od kampanii 2007/2008 do 2010/2011. Dane jakościowe z zakresu wydajności wykazały jednak wyraźnie, że system produkcyjny realizowany przez maszyny i urządzenia nie spełniał oczekiwanych wymagań. Zaczęto więc interweniować w proces produkcji słoðu. Rodzaj interwencji i czas trwania są obszarami badawczymi prezentowanej pracy. Z pobieżnej analizy wynika, że już w pierwszym roku naukowej interwencji przekroczono poziom planowanej ilości wyprodukowanego słoðu. W okresie badawczym we wszystkich latach przekraczał on 100%. Należy podkreślić, że pierwszy rok interwencji naukowej to zwiększenie o 17% zgodności jakościowej (z 81 do 98%). Ingerencja naukowa w pierwszym roku badań nieznacznie zwiększyła zarówno liczbę awarii jak i czas ich trwania, by w piątym roku osiągnąć poziom odpowiednio 53 i 73. Porównując te wymienione wielkości z danymi wejściowymi stwierdzamy, że w okresie 8 lat parametry te obniżyły się ponad 8- i 11-krotnie.

W podsumowaniu wyników pracy zwrócono uwagę na podział liczby zdarzeń awaryjnych wpływających bezpośrednio na przerwę w produkcji słoðu z podziałem na dni wolne i dni robocze (tabela 9.2). Dni wolne od pracy to soboty, niedziele i święta, czyli łącznie przypada ich w roku około 115. Oznacza to, że średnio dni roboczych w ciągu roku było 250, czyli z porównania liczby wynika, że relacja między liczbą dni roboczych a liczbą dni wolnych od pracy wynosi 2,17. Dane tabeli 9.2 wskazują, że w badanym okresie zależność ta wynosiła odpowiednio 1,63; 2,06 i 1,82. Wynika z tego, że relacja teoretyczna jest większa od relacji praktycznej.

Tabela 9.2. Liczba zdarzeń awaryjnych całego zakładu mających wpływ na przerwę w produkcji w podziale na dni wolne i robocze w latach 2011 - 2014

Rodzaj zmiany	Liczba zdarzeń mających wpływ na przerwę w produkcji [szt.]		
	2011-2012	2012-2013	2013-2014
SUMA w dniach roboczych	183	99	71
SUMA w dniach wolnych	112	46	39
OGÓLEM	295	145	110

Źródło: badania własne

Odnosząc przyjęte kryteria (tabela 9.3), do czasu trwania awarii mających wpływ na przerwę w produkcji zauważamy, że relacje są następujące 1,5; 2,06 oraz 1,37.

Tabela 9.3. Liczba godzin trwania zdarzeń awaryjnych całego zakładu mających wpływ na przerwę w produkcji w podziale na dni wolne i robocze w latach 2011 - 2014

Rodzaj zmiany	Liczba godzin trwania awarii mających wpływ na przerwę w produkcji [h]		
	2011-2012	2012-2013	2013-2014
SUMA w dniach roboczych	252	148	81
SUMA w dniach wolnych	167,5	72	59
OGÓLEM	419,5	220	140

Źródło: badania własne

W pracy doktorskiej, zgodnie z praktyką podziału zdarzeń awaryjnych na mechaniczne i elektryczne, dokonano liczbowego zestawienia w analizowanym okresie (tabela 9.4).

Analizując pobieżnie dane tej tabeli zauważamy, że we wszystkich przypadkach liczba zdarzeń awaryjnych typu elektrycznego jest zawsze większa od liczby zdarzeń natury mechanicznej. Dla całego obiektu badawczego, w odniesieniu do wszystkich zdarzeń, relacja ta wynosi 2,99, natomiast w poszczególnych okresach badawczych 5,02; 1,3 i 3,23 odpowiednio do wyszczególnionych w tablicy lat wykonanych badań.

Tabela 9.4. Liczba zdarzeń awaryjnych całego zakładu mających wpływ na przerwę w produkcji w podziale na rodzaj interwencji w latach 2011 - 2014

Rodzaj interwencji	Liczba usterek mających wpływ na przerwę w produkcji [szt.]							Procent zmiany ostatniego roku do pierwszego [%]
	2011-2012	% sumy	2012-2013	% sumy	2013-2014	% sumy	Razem	
mechaniczne	49	16,6	63	43,4	26	23,6	138	53,06
elektryczne	246	83,4	82	56,6	84	76,4	412	34,15
suma	295		145		110		550	37,29

Źródło: opracowanie własne

Jak wykazały badania jednym z centralnych etapów produkcji słodu są zjawiska zachodzące w suszarni słodu (tabela 9.5). Tabela ta zawiera dane do podmiotowej analizy. We wspomnianej tabeli są zaprezentowane dwie grupy danych, tj. liczba zdarzeń awaryjnych oraz liczba godzin trwania awarii wpływających na przerwę w produkcji słodu. Bez względu na rodzaj przyjętego kryterium we wszystkich sześciu przypadkach parametry ilościowe dotyczące awarii typu elektrycznego są większe od danych dotyczących awarii typu mechanicznego. Relacje liczby zdarzeń elektrycznych do mechanicznych

wynoszą odpowiednio w kolejnych latach badań 6,73; 3,07 i 4,29. Natomiast relacje liczby godzin trwania awarii w suszarni przedstawiają się następująco 4,46; 1,4 i 2,17.

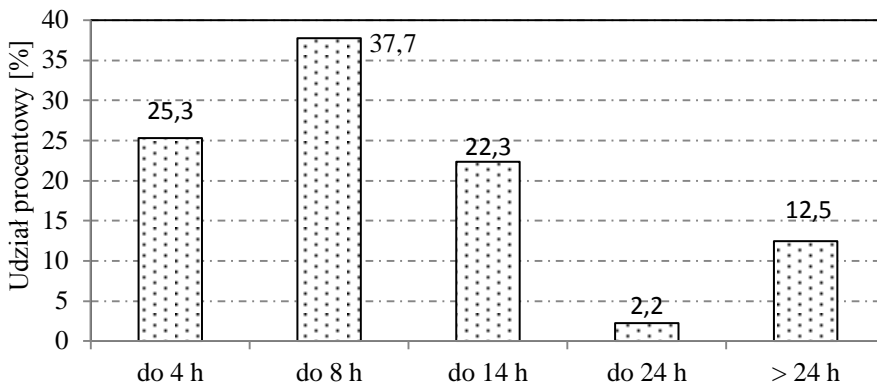
Tabela 9.5. Liczba zdarzeń awaryjnych i ich czasu trwania w suszarni słoðu mających wpływ na przerwę w produkcji w podziale na rodzaj interwencji w latach 2011 - 2014

Kampania produkcyjna	Rodzaj interwencji w suszarni	Liczba usterek mających wpływ na przerwę w produkcji [szt.]	Liczba godzin usterek mających wpływ na przerwę w produkcji [h]
2011 - 2012	mechaniczna	11	17,5
	elektryczna	74	78
2012 - 2013	mechaniczna	14	26,5
	elektryczna	43	37,0
2013 - 2014	mechaniczna	7	11,5
	elektryczna	30	25,0
Ogółem	mechaniczna	32	55,5
	elektryczna	147	140
	suma	179	195,5

Źródło: opracowanie własne

Z kolei dla sumy z trzech lat badań wspomniane relacje mają wartość 4,59 dla liczby zdarzeń oraz dla sumy godzin trwania awarii są równe 2,52. Porównując obliczoną relację (4,59) zarejestrowanych w suszarni zdarzeń elektrycznych do zdarzeń natury mechanicznej z relacją całego zakładu (2,99) zauważamy, że w suszarni relacja ta była wyższa o 1,6 niż w całym badanym obiekcie.

W analizie warunków eksploatacji maszyn i urządzeń, pracujących przy zmiennym obciążeniu technologicznym, analizowano te maszyny i urządzenia, które pracują w określonym czasie na jeden cykl produkcji słoðu (grzęda produkcyjna 240 t jęczmienia) trwający 219 h. Dane rysunku 9.1 wskazują, że technologie wymagane podczas produkcji słoðu są realizowane przez maszyny oraz urządzenia pracujące na jeden cykl do 8 h przy największym ich udziale (37,7%). Podobny poziom udziału wg kryterium czasowego zajmują maszyny oraz urządzenia pracujące na jeden cykl do 4 h czy też do 14 h. Stosunkowo duży udział (12,5%) biorą maszyny i urządzenia realizujące wymaganą technologię w czasie ponad 24 h.

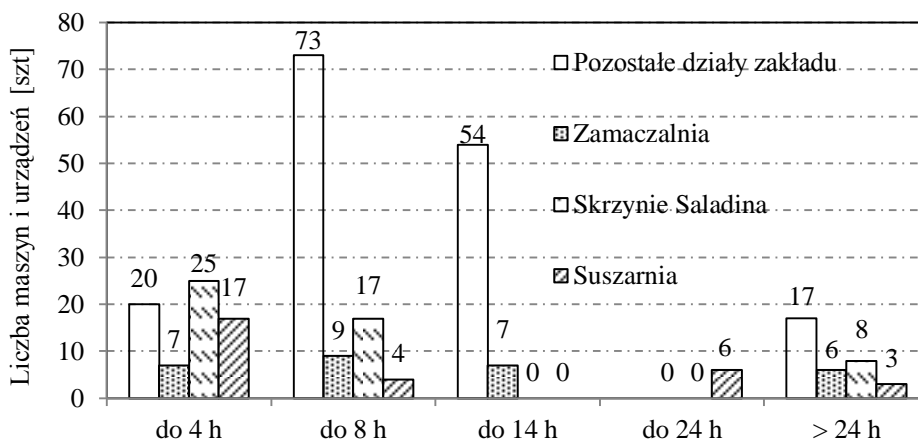


Czas pracy maszyn i urządzeń na jeden cykl procesu [h]

Rys. 9.1. Wykres udziału procentowego maszyn i urządzeń w zależności od czasu ich pracy na jeden cykl produkcji

Źródło: badania własne

Uszczegóławiając dane rysunku 9.1 uzyskujemy interpretację graficzną przedstawioną na rysunku 9.2. Informacje zawarte na tym rysunku wskazują, że najwięcej maszyn i urządzeń realizujących technologię do 8 h wykonywanych jest przez pozostałe działy zakładu. Podobna zależność istnieje dla maszyn oraz urządzeń pracujących do 14 h. Skrajne czasy pracy czyli 4 h oraz powyżej 24 h dotyczą wszystkich interesujących nas operacji technologicznych realizowanych w zamaczalni, skrzyniach Saladina czy też w suszarni słodu oraz w szczególności w pozostałych działach zakładu.



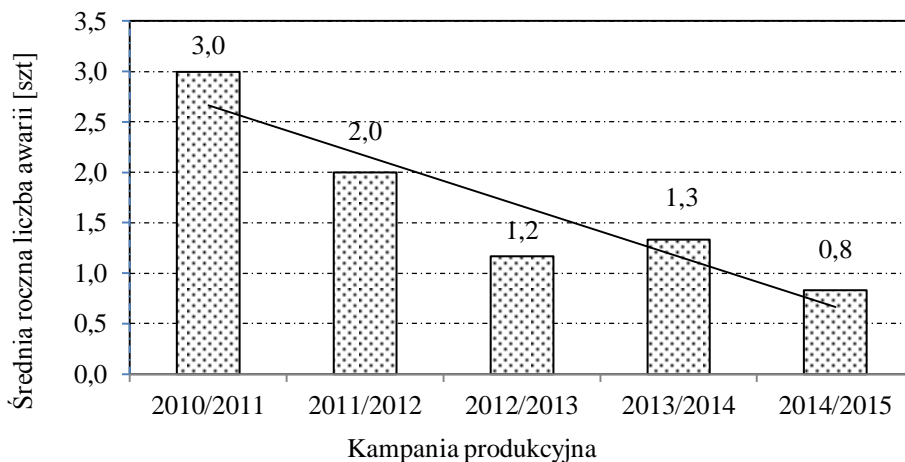
Czas pracy maszyn i urządzeń na jeden cykl produkcji

Rys. 9.2. Wykres liczby maszyn i urządzeń w różnych lokalizacjach zakładu w zależności od czasu ich pracy na jeden cykl produkcji

Źródło: badania własne

Jak już wcześniej nadmieniono, podczas realizacji pracy doktorskiej interweniowano w realizację problemu po to, aby otrzymać określone wyniki produkcyjne na wymaganym poziomie lub je systematycznie obniżać. W analizowanym obiekcie została wdrożona diagnostyka termowizyjna, dzięki której wykrywano systematycznie awarie (rys. 9.3).

Dane tego rysunku wskazują na celowość wdrożenia diagnostyki termowizyjnej do obniżenia liczby awarii. W kampanii 2010/2011 wykazano, że wykryto dzięki termowizji średnio 3 awarie na każdą wykonaną kontrolę.

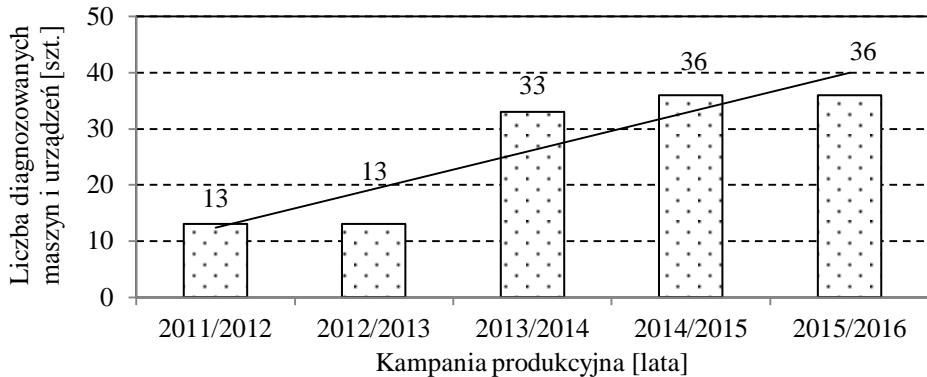


Rys. 9.3. Wykres udziału średniej rocznej liczby awarii wykrytych dzięki zrealizowanej diagnostyce termowizyjnej w latach 2010 - 2015

Źródło: badania własne

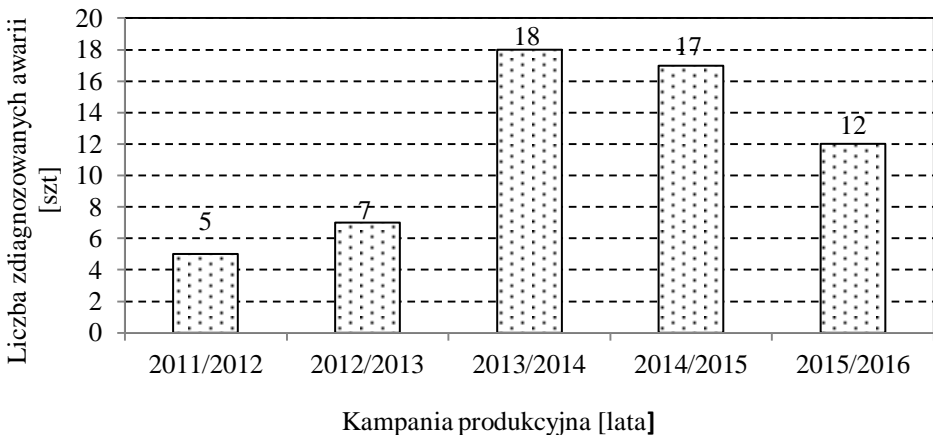
Dane dotyczące opisu osi Y zawierają średnią roczną liczbę awarii obliczoną jako stosunek rocznej sumy wykrytych awarii do sumy wykonanych kontroli termowizyjnych. Po zainteresowaniu się naukowym termowizją wskaźnik ten zmalał do 2, a w ostatnim roku badawczym wyniósł 1,3. Warto wspomnieć, że w rok po wspomnianym okresie zmniejszył się do 0,8. Dane tego rysunku wskazują na celowość stosowania diagnostyki termowizyjnej w zakładach produkcyjnych typu słodownia.

W zapobieganiu awarii w badanym obiekcie wykorzystano także wibrodiagnostykę. Dane dotyczące tej metody badania stanu technicznego maszyn i urządzeń podzielono na dwie grupy, a mianowicie na liczbę diagnozowanych maszyn i urządzeń oraz liczbę wykrytych awarii dzięki tej technologii. Wyniki odnoszące się do pierwszej zależności przedstawione są na rys. 9.4, z którego wynika, że wraz z upływem czasu badań liczba diagnozowanych maszyn i urządzeń zakładu metodą wibrodiagnostyczną zwiększała się.



Rys. 9.4. Wykres liczby diagnozowanych maszyn i urządzeń metodą wibrodiagnostyczną w kampaniach produkcyjnych od 2011/2012 do 2015/2016
 Źródło: badania własne

Logiczne są zależności przedstawione na rys. 9.5, które wskazują, że liczba wykrytych awarii maszyn oraz urządzeń z upływem okresu badawczego rośnie, a następnie maleje. Wzrost liczby zdiagnozowanych awarii przez trzy pierwsze kampanie produkcyjne zawdzięczamy zwiększonej liczbie maszyn oraz urządzeń poddanych tego typu diagnozie. Obniżenie liczby zdiagnozowanych awarii przy zwiększającej liczbie maszyn i urządzeń poddanych badaniom jest skutkiem wykrycia, już w poprzednich okresach badawczych, przyczyn awarii maszyn i urządzeń, które zostały następnie usunięte, a tym samym maszyny i urządzenia zostały odnowione. Takie działania spowodowały obniżenie liczby potencjalnych awarii maszyn i urządzeń.



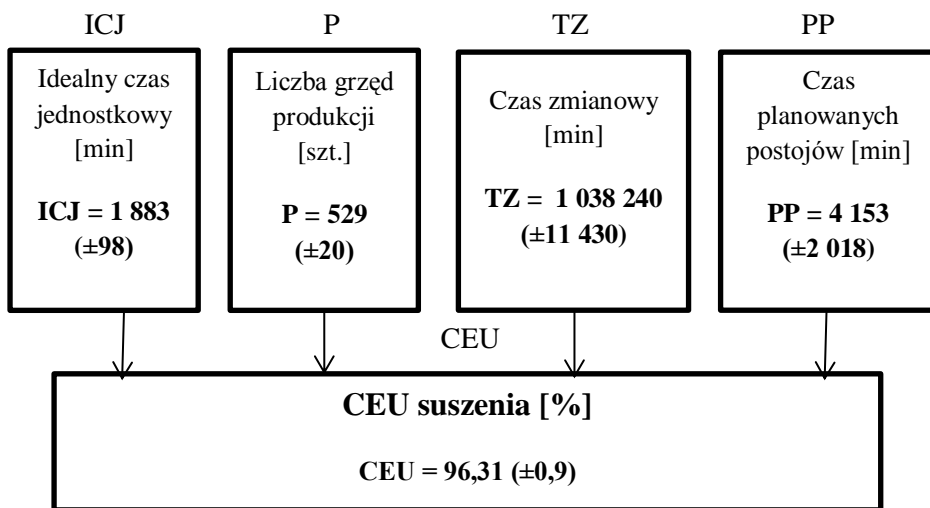
Rys. 9.5. Wykres liczby zdiagnozowanych awarii maszyn i urządzeń metodą wibrodiagnostyczną w kampaniach produkcyjnych od 2011/2012 do 2015/2016
 Źródło: badania własne

Jednym z celów podjęcia się realizacji pracy doktorskiej było określenie warunków eksploatacji maszyn i urządzeń w oparciu o stosowane współczynniki. Podczas analizy zwrócono uwagę na fakt, że najbardziej przydatnym jest **CEU (Częściowa Efektywność Urządzenia)** określona wzorem 9.1.

$$CEU = \frac{ICJ \cdot P}{TZ - PP} \cdot 100 [\%] \quad (9.1)$$

Współczynnik ten, dla zapewnienia planowanego poziomu produkcji słodu i o określonym poziomie jego jakości, powinien mieć wartość równą 96,33%. W tytule rozprawy doktorskiej i tezie znajdują się terminy zmienne obciążenia technologiczne. Jak wykazały badania, zmienne obciążenia technologiczne, dla zapewnienia wymaganego CEU, mogą być korygowane poprzez: ICJ (idealny czas jednostkowy), liczbę grzęd produkcyjnych, czas zmianowy oraz czas planowanych postojów w celu wykonania przeglądów maszyn i urządzeń. Wyżej wymienione cztery parametry nazwano regulatorami efektywności produkcji, ponieważ, np. skrócenie ICJ dla utrzymania określonego CEU skutkuje zredukowaniem czasu zmianowego, co niewątpliwie przyczynia się do przekroczenia planu produkcji.

Przedstawiony model regulacji parametrów technologicznych (rys. 9.6) jest jednym z ważniejszych osiągnięć rozprawy doktorskiej.



Rys. 9.6. Regulator efektywności produkcji słodu

Źródło: badania własne

Regulator efektywności produkcji słodu odnosi się zarówno do hipotezy głównej pracy jak również jej celu głównego. Poprawność realizacji procesu technologicznego produkcji słodu w warunkach badanego przedsiębiorstwa

mierzona jest częściowym współczynnikiem efektywności suszenia, który powinien wynosić 96,31% ($\pm 0,9$).

Jak wynika z tematu pracy, analizowany proces charakteryzuje się dużą zmiennością obciążeń technologicznych. Wyniki badań i ich analizę liczby czynników generujących zmienność sprowadzono tylko do czterech:

- idealny czas jednostkowy (ICJ),
- liczba grzęd produkcji (P),
- czas zmianowy (TZ),
- czas planowanych postojów (PP).

Należy nadmienić, że dla każdego z wymienionych czynników przedstawiono wartości średnie i przedział zmian.

Identyfikacja czynników gwarantujących podstawowy warunek procesu słodowania.

Podstawowy warunek procesu słodowania

Raz namoczone ziarno musi przejść cały proces słodowania i musi być zakończone procesem suszenia słodu w zaplanowanym czasie i w wymaganej temperaturze.

Z tematu pracy doktorskiej wynika, że proces słodowania charakteryzuje się dużą zmiennością obciążeń technologicznych. Zmienność w tej technologii wywoływana jest przez następujące czynniki:

- wymagania klientów względem jakości słodu,
- jakość zakupionego jęczmienia,
- rodzaj ziarna jęczmienia,
- wielkość zamówień,
- wielkość partii produkcyjnej,
- porę roku, w której trwa proces słodowania (lato, zima),
- wilgotność powietrza zewnętrznego,
- liczbę maszyn i urządzeń będących w dyspozycji.

Z powyższego wynika, że ograniczenie zmienności dokonywane jest poprzez:

- a) podniesienie jakości przyjmowanego jęczmienia,
- b) zmiany w procesie technologicznym (programy moczenia, kielkowania oraz suszenia słodu) w celu minimalizacji wpływu rodzaju jęczmienia oraz pory roku na tempo produkcji,
- c) dbałość o właściwy poziom zdolności technicznej maszyn i urządzeń.

Z kolei ingerencja w przebieg procesu technologicznego, która zagwarantuje jego dokończenie, z uwzględnieniem poziomu jakości słodu, dotyczy:

- przeciwdziałania skutkom potencjalnych uszkodzeń maszyn oraz urządzeń wskutek zaplanowanej ich eksploatacji,
- stosowanie metod diagnostycznych,
- zwiększenie naprawialności,
- przedłużenie okresu użytkowania maszyn i urządzeń (przedeksploatacyjne oraz eksploatacyjne).

Osiągnięcie celów pracy.

Cel główny został osiągnięty. Przedstawiono bowiem narzędzie - regulator efektywności produkcji słoðu (rys. 9.6). Danymi potwierdzającymi osiągnięcie celów pomocniczych są:

1. Wprowadzenie systemu diagnostycznego maszyn oraz urządzeń słodowni, który polega na wykonywaniu badań z zakresu: termowizji, wibrodiagnostyki oraz badania jakości olejów przekładniowych. Wynikami funkcjonowania tego systemu są liczba badań i awarii (liczba awarii zmniejszyła się, ponieważ wskutek badań diagnostycznych zapobieżono im).
2. Analiza parametrów procesu technologicznego słodowania wykazała, że jego przebieg uwarunkowany jest maszynami i urządzeniami odpowiadającymi za czas i temperaturę procesów zamaczania, kielkowania oraz suszenia.
3. Wprowadzenie systemu diagnostycznego dla eksploatowanych maszyn oraz urządzeń zakładu pozwoliło powiązać system techniczny z procesem technologicznym słodowania. Po uruchomieniu tego systemu poziom jakości słoðu wzrósł (z wartości 91% do 100%) i ustabilizował się na poziomie 99%.
4. Wprowadzono system racjonalnej strategii eksploatacji maszyn i urządzeń. Dowodem tego są dane z zakresu OEE procesu słodowania z początkowego okresu badań (90,4%) oraz po jego zakończeniu (93%).
5. Zidentyfikowanie parametrów decydujących o jakości słoðu oraz utrzymanie maszyn i urządzeń w stanie zdatności technicznej pozwoli wprowadzić system informatyczny pomocny do sprawnego nimi zarządzania. Potwierdzają to algorytmy sterowania produkcją słoðu, stworzone w oparciu o informacje o stanie zdatności technicznej maszyn i urządzeń zakładu (rysunki od 8.6 do 8.12).

Wnioski

Wyniki uzyskane bezpośrednio z produkcji, ich analiza z wykorzystaniem metod statystycznych, uogólnienie wyników i przeprowadzonej analizy, odniesienie się do spełnienia wymogów wynikających z podstawowego warunku procesu słodowania oraz udokumentowanie osiągnięcia celów pracy, upoważniają do postawienia następujących wniosków:

1. Wykazano, że najważniejszą przyczyną niezgodności (spośród 7 niezgodności) jest barwa słoðu. Niemniej jednak, odnotowano następujące reklamacje złożone przez klientów, dotyczące słoðu: pleśń, wilgotność, ekstrakt (w suchej substancji), ziarna szkliste, PUG, kruchość i pestycydy.

2. Zidentyfikowano przyczyny wywołujące w słodowni zmienności obciążeń technologicznych. Podzielone je na dwie grupy - zewnętrzne i wewnętrzne. Przyczynami zewnętrznymi są: liczba odmian jęczmienia użytego do produkcji słodu, pora roku oraz wilgotność powietrza zewnętrznego. Liczniejsza jest grupa przyczyn wewnętrznych (zidentyfikowano aż 6 przyczyn), które dotyczą eksploatacji maszyn i urządzeń. Najważniejszą przyczyną wewnętrzną jest liczba stosowanych programów suszenia słodu. Ma ona istotny wpływ na wymagane tempo produkcji całego zakładu i tym samym rzutuje na eksploatację parku maszynowego słodowni.
3. Proces słodowania jęczmienia obsługiwany jest przez 273 maszyny oraz urządzenia, w których występuje 2 843 części ruchomych. Zestawienie to wskazuje na złożoność problemu związanego ze zdatnością techniczną maszyn i urządzeń realizujących proces słodowania.
4. Zdatność techniczna maszyn oraz urządzeń została zwiększona dzięki ograniczeniu liczby awarii wykorzystując metody i techniki diagnostyczne. W ciągu trzech lat liczba awarii spadła w skali roku z 295 do 110 (czyli mniej o 63%).
5. Wykorzystując teorie z zakresu kompleksowego utrzymania maszyn (TPM) wykazano, że parametrami technologicznymi, w przypadku słodowni, gwarantującymi osiągnięcie wymaganego poziomu jakości słodu są temperatura i czas suszenia słodu jęczmiennego.
6. Wynikiem pracy doktorskiej jest wdrożony system utrzymania zdatności technicznej maszyn i urządzeń oraz sterowanie procesem technologicznym słodowania jęczmienia. Opracowano model regulatora produkcji słodu, uwzględniający cztery parametry czasowe.
7. Zbudowano algorytm główny do załączenia nowej partii produkcyjnej w sytuacji idealnej oraz algorytmy pomocnicze stosowane w przypadku konieczności interwencji w proces technologiczny w razie wystąpienia problemów związanych z wystąpieniem:
 - istotnie odmiennego czasu trwania procesu słodowania,
 - ograniczeń dostaw koniecznych mediów,
 - braku zdatności technicznej maszyn i urządzeń,
 - krótkich przerw między partiami produkcyjnymi,
 - niekorzystnych prognoz pogodowych,
 - nietypowych zagrożeń (epidemie, urlopy, spadek popytu na piwo).
8. Z przeprowadzonej analizy statystycznej wnioskujemy, że na ogólną liczbę 26 zmiennych niezależnych 16 zmiennych wpływają istotnie statystycznie na CEU suszenia. Natomiast miesięczna produkcja słodu jest skorelowana tylko z 7 czynnikami. Modele regresji opisujące wymienione zmienne zależne wskazują, że w przypadku CEU suszenia zawierają tylko 3 zmienne, natomiast w odniesieniu do miesięcznej produkcji słodu liczba zmiennych wynosi tylko 2.

RESUME

Uwzględniając rezultaty wieloaspektowej analizy wyników uzyskanych bezpośrednio podczas produkcji słoju, w odpowiedzi na cele dysertacji oraz odniesienie się do tytułu pracy i jej hipotez należy stwierdzić, że:

1. Treść dysertacji odpowiada jej tytułowi.
2. Osiągnięto cele pracy.
3. Zweryfikowano hipotezy badawcze.

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik nr 1. Tabela Z.1. Wykaz rodzajów eksploatacji prewencyjnej maszyn oraz urządzeń realizowanych w suszarni słoju

Lp.	Symbol maszyny lub urządzenia	Nazwa maszyny lub urządzenia suszarni słoju	Serwis (eksploatacja prewencyjna) [szt.]		
			wewnętrzny wg resursu okresowego	zewnętrzny wg godzin pracy	zewnętrzny wg resursu okresowego
1	P04	Podnośnik kubełkowy	1		
2	P04'	Podnośnik kubełkowy	1		
3	P37	Podnośnik kubełkowy	1		
4	R31	Przenośnik łańcuchowy			1
5	R41	Przenośnik łańcuchowy			1
6	R34	Przenośnik łańcuchowy			1
7	R36	Przenośnik łańcuchowy			1
8	R44	Przenośnik łańcuchowy			1
9	T01	Przenośnik taśmowy	1		
10	T02	Przenośnik taśmowy	1		
11	T03	Przenośnik taśmowy	1		
12	T05	Przenośnik taśmowy	1		
13	T06	Przenośnik taśmowy	1		
14	W63	Wentylator	1		
15	W83	Wentylator	1		
16	W57	Wentylator	1		
17	W55	Wentylator	1		
18	W64	Wentylator	1		
19	W84	Wentylator	1		
20	siatka 1	Maszyna suszarni 1	1		
21	siatka 2	Maszyna suszarni 2	1		
22	PG 55	Palnik wstępny			1
23	PG 64	Palnik suszarni 1			1
24	PG 84	Palnik suszarni 2			1
25	KL 66	Klapy powietrza S1	1		
26	KL 86	Klapy powietrza S2	1		
27	KL 68	Klapy powietrza S1	1		
28	KL 88	Klapy powietrza S2	1		
29	KL 65	Klapy powietrza S1	1		
30	KL85	Klapy powietrza S2	1		
Suma w poszczególnych grupach [szt.]			22	0	8
Udział procentowy [%]			73,3	0,0	26,7

Źródło: badania własne

Załącznik nr 2. Tabela Z.2. Raport z badań jakości oleju Galloway firmy Kernite używanych w przekładniach taśmociągów: T - 05 (pozytywna) oraz T - 03 (negatywna)

WYNIKI ANALIZ	Aktualna próbka	Aktualna próbka
NUMER LABORATORYJNY	2490207	2490220
OCENA CAŁKOWITA	Pozytywna	Negatywna
Data badania	15.10.2013	15.10.2013
Data poboru próbki	04.10.2013	04.10.2013
ZUŻYCIE		
Żelazo Fe mg/kg	9	463
Chrom Cr mg/kg	0	1
Cyna Sn mg/kg	0	0
Aluminium Al mg/kg	0	12
Nikiel Ni mg/kg	0	0
Miedź Cu mg/kg	0	1
Ołów Pb mg/kg	0	0
Mangan Mn mg/kg	0	3
Indeks PQ - mg/kg	< 25	446
ZANIECZYSZCZENIE		
Krzem Si mg/kg	24	35
Potas K mg/kg	1	4
Sód Na mg/kg	0	4
Tytan Ti mg/kg	7	1
Woda % mg/kg	< 0.10	< 0.10
WŁASNOŚCI OLEJU		
Lepkość w 40 °C mm ² /s	207,83	218.01
Lepkość w 100 °C mm ² /s	27,79	22,02
Indeks lepkości -	171	122
Oksydacja A/cm	1	1
DODATKI		
Wapń Ca mg/kg	3	10
Magnez Mg mg/kg	0	0
Bor B mg/kg	0	0
Cynk Zn mg/kg	4	152
Fosfor P mg/kg	366	785
Bar Ba mg/kg	5	1
Molibden Mo mg/kg	0	0
Siarka S mg/kg	205	5135
TESTY DODATKOWE		
Liczba neutralizacji mgKOH/g	0.39	0.83

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań- Ecol Rybnik -październik 2013r.

Załącznik nr 3. Tabela Z.3. Zestawienie istotnych parametrów diagnostyki oleju przekładniowego wentylatorów komór suszarniczych suszarni słoju

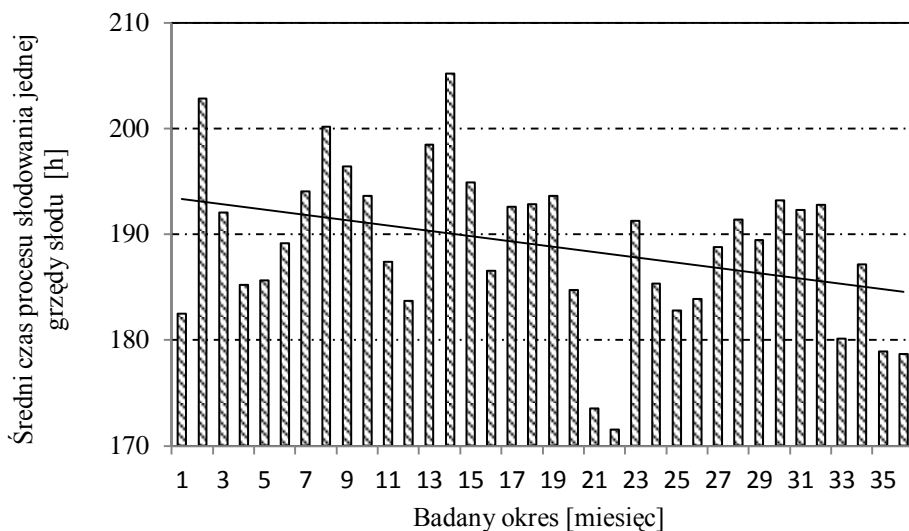
Nazwa oleju			Kernite Top Blend FG 460		
Miejsce pobrania			Magazyn	Wentylator nr 1	Wentylator nr 2
OCENA CAŁKOWITA			referencyjny	Norma	do dalszej obserwacji
Data badania			04.11.2013	15.10.2013	15.10.2013
ZUŻYCIE					
Żelazo	Fe	mg/kg	0	4	7
Indeks PQ			< 25	< 25	< 25
ZANIECZYSZCZENIE					
Krzem	Si	mg/kg	0	0	3
Woda		%	< 0,10	< 0,10	< 0,10
WŁASNOŚCI OLEJU					
Lepkość w 40 ⁰ C		mm ² /s	443,94	421,85	422,73
Lepkość w 100 ⁰ C		mm ² /s	38,88	39,96	40,24
Indeks lepkości			133	143	144
Oksydacja		A/cm	0	1	1
DODATKI					
wapń	Ca	mg/kg	0	49	10
Cynk	Zn	mg/kg	0	1	1
Fosfor	P	mg/kg	444	422	413
Molibden	Mo	mg/kg	3	0	0
Siarka	S	mg/kg	483	704	1721
TESTY DODATKOWE					
Liczba neutralizacji		mgKOH/g	0,43	0,3	0,45

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań Ecol Rybnik badania jakości oleju przekładniowego z 2013r.

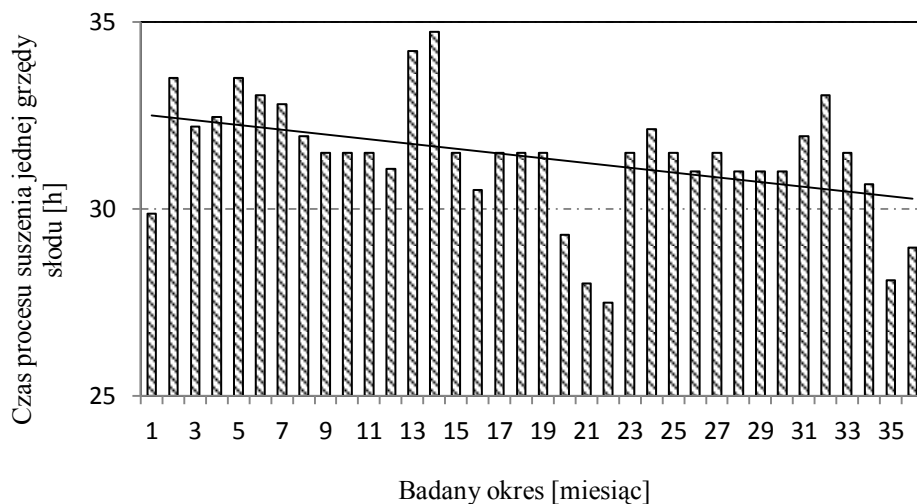
Załącznik nr 4. Tabela Z.4. Wykaz elementów ruchomych w maszynach i urządzeniach suszarni siodu

Lp.	Numer	Nazwa urządzenia	Suma
1	P04	Podnośnik kubelkowy	5
2	P04'	Podnośnik kubelkowy	5
3	P37	Podnośnik kubelkowy	5
4	R31	Przeñośnik łańcuchowy	5
5	R41	Przeñośnik łańcuchowy	5
6	R34	Przeñośnik łańcuchowy	5
7	R36	Przeñośnik łańcuchowy	5
8	R44	Przeñośnik łańcuchowy	5
9	T01	Przeñośnik taśmowy	65
10	T02	Przeñośnik taśmowy	65
11	T03	Przeñośnik taśmowy	45
12	T05	Przeñośnik taśmowy	45
13	T06	Przeñośnik taśmowy	21
14	W63	Wentylator	6
15	W83	Wentylator	6
16	W57	Wentylator	5
17	W55	Wentylator	5
18	W64	Wentylator	5
19	W84	Wentylator	5
20	siatka 1	Maszyna za- i wyładowcza w suszarni 1	11
21	siatka 2	Maszyna za- i wyładowcza w suszarni 2	11
22	PG 55	Palnik gazowy wstępny	2
23	PG 64	Palnik gazowy suszarni nr 1	2
24	PG 84	Palnik gazowy suszarni nr 2	2
25	KL 66	Kłapy mokrego powietrza w suszarni nr 1	3
26	KL 86	Kłapy mokrego powietrza w suszarni nr 2	3
27	KL 68	Kłapy suchego powietrza w suszarni nr 1	3
28	KL 88	Kłapy suchego powietrza w suszarni nr 2	3
29	KL 65	Kłapy chłodzenia powietrza w suszarni nr 1	5
30	KL 85	Kłapy chłodzenia powietrza w suszarni nr 2	5
ogółem			363

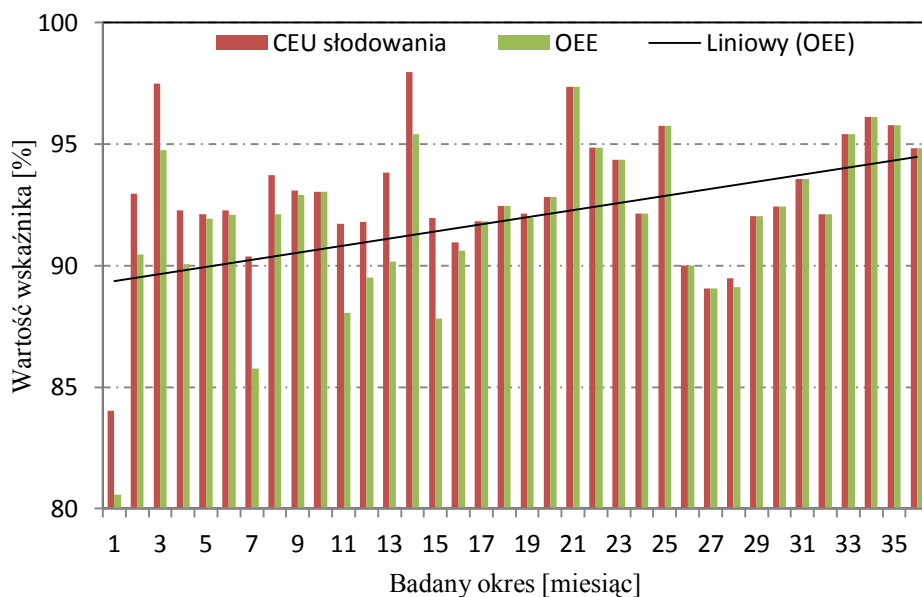
Źródło: badania własne



Załącznik nr 5. Rys. Z.1. Wykres średnich miesięcznych czasów procesu słodowania z lat badań 2011 – 2014
 Źródło: badania własne



Załącznik nr 6. Rys. Z.2. Wykres średnich miesięcznych czasów procesu suszenia jednej grzędy słoju z lat badań 2011 – 2014
 Źródło: badania własne



Załącznik nr 7. Rys. Z.3. Wykres średnich miesięcznych wartości CEU procesów śledowania z lat badań 2011 – 2014

Źródło: badania własne

ZAŁĄCZNIK NR 8

ALGORYTM USUWANIA POWSTAŁEJ AWARII MASZYN I URZĄDZEŃ

- I START
- II Czy awarii uległa maszyna lub urządzenie realizujące proces technologiczny słodowania?
- III Czy uszkodzona maszyna lub urządzenie teraz realizuje proces technologiczny słodowania?
- IV Czy wystarczy regulacja lub zmiana parametrów pracy maszyny lub urządzenia w celu dokończenia obecnego procesu technologicznego słodowania?
- V Czy jest możliwa naprawa doraźna maszyny lub urządzenia w celu dokończenia obecnego procesu technologicznego? Naprawa główna zaistniałego uszkodzenia będzie wykonana natychmiast po zakończeniu się obecnego procesu technologicznego słodowania?
- VI Czy są w magazynie konieczne części zapasowe lub podzespoły wymagane do usunięcia obecnej awarii maszyny lub urządzenia?
- VII Czy na danej zmianie roboczej jest wystarczająca liczba pracowników działu Utrzymania Ruchu?
- VIII Czy przewiduje się, że naprawa uszkodzenia potrwa na tyle długo aby konieczna była zmiana harmonogramu produkcji słodu, a zwłaszcza wprowadzenie opóźnienia w procesie zamaczania kolejnej partii jęczmienia?
- IX Wyłączenie z ruchu uszkodzonej maszyny lub urządzenia.
- X Realizacja naprawy uszkodzenia maszyny lub urządzenia zgodnie z Dokumentacją Techniczną.
- XI Wykonanie analizy zdarzenia pod kątem ustalenia przyczyn powstania awarii i wdrożenia koniecznych działań prewencyjnych w celu wyeliminowania podobnych zdarzeń w przyszłości.
- XII Kontrola pracy w ruchu ręcznym maszyny lub urządzenia.
- XIII Włączenie do ruchu naprawionej maszyny lub urządzenia.
- XIV Złożenie zamówienia na zakup zużytych do naprawy części zamiennych lub podzespołów maszyny lub urządzenia.
- XV STOP

LITERATURA

- [1] Antosz K., Ciecńska B. 2011. Podstawy zarządzania parkiem maszynowym w przedsiębiorstwie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów.
- [2] Arendarski J. 2006. Niepewność pomiarów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa.
- [3] Asefeso A. 2014. TPM Simplified. AA Global Sourcing Ltd New York.
- [4] Bamforth Ch. W., 2006. Scientific Principles of Malting and Brewing. American Society of Brewing Chemists St. Paulo.
- [5] Batko W. 2005. Nowoczesne metody badania procesów wibroakustycznych cz.1. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
- [6] Bednarski Wł., Fiedurek J. 2012. Podstawy biotechnologii przemysłowej. WNT Warszawa.
- [7] Bednarski Wł. 2013. Biotechnologia żywności. Wydawnictwo WNT Warszawa.
- [8] Bernstein R. 2005. TPM Collected Practices and Cases. Productivity Press New York.
- [9] Bhushan B. 2002. Introduction to Tribology. John Wiley New York.
- [10] Błażej St. 2014. Wybrane zagadnienia z technologii przemysłu fermentacyjnego. Wydawnictwo SGGW Warszawa.
- [11] Bojar P., Drelichowski L, Żółtowski M. 2012. Elementy zarządzania eksploatacją maszyn. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
- [12] Borkowski St. 2004. Mierzenie poziomu jakości. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu Sosnowiec.
- [13] Borkowski St., Selejdak J., Salamon Sz., Rychter A., Majewski M. 2006. Efektywność eksploatacji maszyn i urządzeń. Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej Częstochowa.
- [14] Borkowski St., Krocko V. 2008. TPM and PAMCO Coefficient as Basis of Estimation of Machines Exploitation Efficiency. Publishing and Press Association of Universities Russia Saint Petersburg.
- [15] Borkowski St., Ulewicz R. 2008. Zarządzanie produkcją. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu Sosnowiec.
- [16] Borkowski St., Selejdak J. 2009. Effectiveness of the machines maintenance and processes. Novosibirsk State Technical University Novosibirsk.
- [17] Borkowski St., Selejdak J. 2012. Toyotarity. Quality and machines operating conditions. Chapter 12 Borkowski St., Nowak K. Termografy of energy devices in Malteries Soufflet Poland Ltd. in Poznań. Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedżerów Jakości I Produkcji Częstochowa.

- [18] Borkowski St., Krynke M. 2014. Assessment of the Machines Conditions Operation and their Improvement. Chapter 5 Borkowski St., Krynke M., Nowak K. Analysis of failure rate and basic preventive actions in the maintenance system applied in the malting plant Soufflet Poland of Poznań. Faculty of Logistics University of Maribor Maribor.
- [19] Briggs D.E. 2011. Barley. Springer Dordrecht.
- [20] Brzeziński A. 2006. OEE, narzędzie do analizy. Zarządzanie produkcją w praktyce. Wydawnictwo Wiedza i Praktyka marzec Warszawa.
- [21] Cempel Cz., Dobry M.W. 2008. Vibrations in physical systems. Agencja Reklamowa Comprint Poznań.
- [22] Cholewa W., Kosmowski K.T., Radkowski St. 2008. Modele systemów oceny ryzyka i diagnostyki technicznej. Politechnika Śląska w Gliwicach Gliwice.
- [23] Chwarścianek F. 2011. Eksploatacja urządzeń technicznych, Cz. I i II. Bydgoska Szkoła Wyższa Bydgoszcz.
- [24] Chwarścianek F. 2011. Procesy i techniki produkcyjne. Bydgoska Szkoła Wyższa Bydgoszcz.
- [25] Chwarścianek F. 2012. Podstawy i zasady eksploatacji urządzeń technicznych, Cz. 1 i 2. Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Gospodarki w Bydgoszczy Bydgoszcz.
- [26] Czerska J. 2007. Jak wyznaczyć wskaźnik efektywności maszyn OEE? Zarządzanie produkcją w praktyce. Wydawnictwo Wiedza i Praktyka styczeń / luty Warszawa.
- [27] Dave T. 2014. The Craft Maltsters' Handbook. White Mule Press New York.
- [28] Dąbrowski A. 2009. Podstawy techniki w przemyśle spożywczym wyd.9. WSiP Warszawa.
- [29] Diakun J. 2005. Eksploatacja w praktyce inżynierskiej przemysłu spożywczego. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej Koszalin.
- [30] Dobry M.W. 2012. Podstawy diagnostyki energetycznej systemów mechanicznych i biomechanicznych. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Poznań Radom.
- [31] Durlik I. 2005. Inżynieria zarządzania cz. II wyd. 4. Wydawnictwo PLACET Warszawa.
- [32] Durlik I. 2007. Inżynieria zarządzania cz. I wyd. 7. Wydawnictwo PLACET Warszawa.
- [33] Dziubiński M., Kiljański T., Sęk J. 2009. Podstawy reologii i reometrii płynów. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej Łódź.
- [34] Dybała J., Mączak J., Radkowski St. 2006. Wykorzystywanie sygnału wibroakustycznego w analizie ryzyka technicznego: praca zbiorowa. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Warszawa Radom.
- [35] Dźwiarek M. 2008. Zapewnienie bezpieczeństwa użytkowania maszyn metodami sterowania: poradnik. CIOP - PIB Warszawa.

- [36] Dźwiarek M. 2012. Bezpieczeństwo funkcjonowania systemów sterowania maszynami. CIOP - PIB Warszawa.
- [37] Fałat Z. 2005. Wszystko o piwie. Ad Oculos Warszawa.
- [38] Fidali M. 2014. Metodyka termograficznej diagnostyki obiektów technicznych. Wydawnictwo Naukowe ITE – PIB w Radomiu Gliwice.
- [39] FLIR Systems. 2010. Instrukcja obsługi kamer FLIR. Corporate Headquarters FLIR Systems POLISH (PL) USA Wilsnville.
- [40] Gałązka – Friedman J., Szlachta K. 2014. Jak opracowywać i interpretować wyniki pomiarów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa.
- [41] Hanus R. 2010. Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. Podstawy statystyki. Laboratorium. Politechnika Rzeszowska Rzeszów.
- [42] Hebda M. 2007. Procesy tarcia, smarowania i zużywania maszyn. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
- [43] Holka H. 2011. Drgania i dynamika maszyn. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
- [44] Hrubec J., Borkowski St. 2006. Efektywność eksploatacji maszyn i zdolność jakościowa procesu. Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemśle „Orgmasz” Warszawa.
- [45] Jarmocik E., Bochat A., Borowski S., Dulcet E., Kankowiak J., Ziętara W.: Praca zbiorowa. 2006. Maszyny i narzędzia rolnicze, Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
- [46] Jezierski L., Borkowski St. 2008. Zarządzanie Doskonalenie Zmiany. Oficyna Wydawnicza „Humanitas” Sosnowiec.
- [47] Kałaczyński T., Żółtowski M. 2011. Techniki wirtualne w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn. Wydawnictwo Argonex Bydgoszcz.
- [48] Kern P. 2012. Equipment Management in the Post – Maintenance Era. CRC Press Taylor & Francis Group Boca Raton London New York.
- [49] Kiljański T., Dziubiński M., Sęk J. 2009. Wykorzystanie pomiarów właściwości reologicznych płynów w praktyce inżynierskiej. Wydawnictwo EKMA Warszawa.
- [50] Knopik L. 2010. Metoda wyboru efektywnej strategii eksploatacji obiektów technicznych. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
- [51] Kornicki L., Kubik Sz. 2009. OEE dla operatorów. Całkowita Efektywność Wyposażenia. Wydawnictwo ProdPress Wrocław.
- [52] Kunze W. 2010. Technology Brewing & Malting. VLB Berlin, Germany 4th International Edition Berlin.
- [53] Kurnik Wł. 2008. Niekonwencjonalne materiały w diagnostyce i aktywnej redukcji drgań: praca zbiorowa. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Warszawa Radom.

- [54] Kurowski W. 2008. Podstawy diagnostyki systemów technicznych: metodologia i metodyka. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Warszawa Radom.
- [55] Laber St. 2011. Wybrane problemy eksploatacji maszyn. Uniwersytet Zielonogórski Wydział Mechaniczny, Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
- [56] Legutko St. 2007. Eksploatacja maszyn. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej Poznań.
- [57] Legutko St. 2011. Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń. WSiP Warszawa.
- [58] Leszek W., Wojciechowicz B. 2006. Teorie, prawa i prawidłowości w nauce o eksploatacji obiektów technicznych. Wydawnictwo Naukowe ITE – PIB w Radomiu Poznań Radom.
- [59] Leszek W., Wojciechowicz B. 2008. Informacyjne zasilanie procesów badawczych w nauce o eksploatacji obiektów technicznych. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Poznań Radom.
- [60] Leśniak Wł. 2002. Biotechnologia żywności: procesy fermentacji i biosyntezy. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego Wrocław.
- [61] Lewis Michael J., Bamforth Charles W. 2006. Essays in Brewing science. Springer Science+Business Media LLC California - Davis.
- [62] Madura H. (red.). 2004. Pomiary termowizyjne w praktyce. Wydawnictwo Agendy PAK Warszawa.
- [63] Mallett J. 2014. Malt: A Practical Guide from Field to Brewhouse (Brewing Elements). Brewers Association Colorado.
- [64] Matejczyk M. 2006. TPM – sposób na bezawaryjność maszyn. Zarządzanie produkcją w praktyce. Wydawnictwo Wiedza i Praktyka Warszawa.
- [65] McFarland B. 2010. Najlepsze piwa świata. Wydawnictwo Olesiejuk Ożarów Mazowiecki.
- [66] Minkina W., Dudzik S. 2009. Infrared Thermography - Errors and Uncertainties. John Wiley and Sons Chichester.
- [67] Młyńczak M. 2012. Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów mechanicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej Wrocław.
- [68] Olbrycht R. 2007. Applications of thermal wave method for material properties investigation. M.Sc. Thesis, Institute of Electronics, Tech. Univ. Of Lodz Łódź.
- [69] Płaza St., Margielewski L., Celichowski G. 2005. Wstęp do tribologii i tribochemia. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego Łódź.
- [70] Pruszkowski L. 2010. Zarządzanie obsługą eksploatacyjną nieruchomości i obiektów technicznych. Wydawnictwo PWSZ w Płocku Płock.
- [71] Rabiej M. 2012. Statystyka z programem Statistica. Wydawnictwo Helion Gliwice.

- [72] Rum L. 2005. Ilustrowany leksykon piwa. Wydawnictwo Kurpisz SA Poznań.
- [73] Salamon Sz. 2006. System utrzymania ruchu obiektów technicznych ukierunkowanych na produktywność (TPM), Efektywność eksploatacji maszyn. Wydawnictwo Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej Częstochowa.
- [74] Salamon Sz. 2009. Strategie zarządzania produkcją i jakością w przedsiębiorstwach przemysłowych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej Częstochowa.
- [75] Sawicki J. 2015. Zagadnienia mechaniki stosowanej tom 5. Rozdział 2 Borkowski St., Nowak K. Diagnostyka wentylatorów suszarni siodu. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
- [76] Scamell G., Colyer F. 2013. Maltings: Their Arrangement, Construction, Machinery, and Plant. White Mule Press New York.
- [77] Skibicki D. 2012. Technologia Informacyjna, Wydawnictwa Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
- [78] Skoć A., Spalek J., Markusik S. 2008. Podstawy konstrukcji maszyn t.2 Zarys dynamiki i tribologii, elementy podatne, wały i osie maszynowe, łożyska. WNT Warszawa.
- [79] Słowiński B. 2011. Podstawy sprawnego działania. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej Koszalin.
- [80] Słowiński B. 2014. Inżynieria eksploatacji maszyn. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej Koszalin.
- [81] Snarska A. 2005. Statystyka, ekonometria, prognozowanie. Wydawnictwo Placet Warszawa.
- [82] Sobczyk M. 2007. Statystyka. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- [83] Sobczyk M. 2010. Statystyka matematyczna. Wydawnictwo C.H. Beck Warszawa.
- [84] Spalek J. 2003. Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej w Gliwicach Gliwice.
- [85] Stanisławek J. 2010. Podstawy statystyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa.
- [86] Stanisław A. 2006. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny tom 1. Statystyki podstawowe. StatSoft Polska Sp. z o.o. Kraków.
- [87] Szczerek M., Wiśniewski M. 2002. Tribologia i Tribotechnika. Wydawnictwo Naukowe ITE – PIB w Radomiu Radom.
- [88] Ścieszka St., Żołnierz M. 2012. Eksploatacja maszyn. Cz.1, Trwałość eksploatacyjna i regeneracja elementów maszyn. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej w Gliwicach Gliwice.
- [89] Ścieszka St., Żołnierz M. 2012. Eksploatacja maszyn. Cz.2, Budowa systemu i zarządzanie systemem eksploatacji. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej w Gliwicach Gliwice.
- [90] Štofková J., Borkowski St. 2007. Praktyka zarządzania jakością wyrobów

- i usług. Oficyna Wydawnicza „Humanitas” Sosnowiec.
- [91] Tylicki H., Żółtowski B. 2010. Rozpoznawanie stanu maszyn. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
 - [92] Tylicki H., Żółtowski B. 2012. Genezowanie stanu maszyn. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
 - [93] Ullrich St. E. 2011. Barley – Production, Improvement and Uses. Wiley - Blackwell Washington.
 - [94] Welfe A. 2009. Ekonometria. Metody i ich zastosowanie. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
 - [95] Więcek B. 2010. Wybrane zagadnienia współczesnej termowizji w podczerwieni. Politechnika Łódzka Łódź.
 - [96] Więcek B., Gilbert De Mey. 2011. Termowizja w podczerwieni - podstawy i zastosowania. Wydawnictwo PAK Warszawa.
 - [97] Woropay M., Landowski B., Jaskulski Z. 2004. Wybrane problemy eksploatacji i zarządzania systemami technicznymi. Wydawnictwo Uczelniane ATR w Bydgoszczy Bydgoszcz.
 - [98] Woźniakowski A. 2006. Kompleksowe produktywne utrzymanie zakładów przemysłowych. Politechnika Śląska w Gliwicach Katowice.
 - [99] Wróbel A. 2010. Termografia w pomiarach inwentaryzacyjnych obiektów budowlanych., Wydawnictwo AGH w Krakowie Kraków.
 - [100] Zwierzycki W. 2001. Oleje, paliwa i smary dla motoryzacji i przemysłu. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
 - [101] Żółtowski B., Tylicki H. 2008. Elementy diagnostyki technicznej maszyn. PWSZ w Pile Piła.
 - [102] Żółtowski B., Niziński St. 2010. Modelowanie procesów eksploatacji maszyn. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
 - [103] Żółtowski B., Wilczarska J. 2010. Mikroekonomia eksploatacji i diagnostyki maszyn. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
 - [104] Żółtowski B. 2011. Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
 - [105] Żółtowski B. 2012. Metody inżynierii wirtualnej w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
 - [106] Żółtowski B., Łukasiewicz M., Kałaczyński T. 2012. Techniki informatyczne w badaniach stanu maszyn. Wydawnictwo Uczelniane UTP w Bydgoszczy Bydgoszcz.
 - [107] Żółtowski B., Łukasiewicz M. 2012. Diagnostyka drganiowa maszyn. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.
 - [108] Żółtowski B., Landowski B., Przybyliński B. 2012. Projektowanie eksploatacji maszyn. Wydawnictwo Naukowe ITE – PIB w Radomiu Radom.
 - [109] Żółtowski M. 2011. Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. Wydawnictwo Naukowe ITE - PIB w Radomiu Radom.