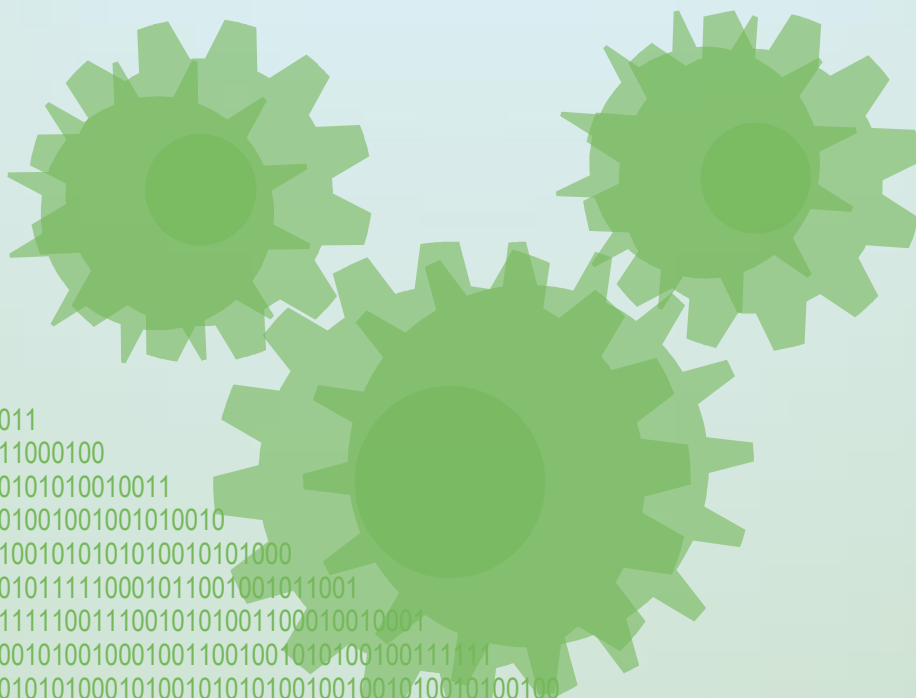


Redakcja Naukowa

Paweł Bachman

Problemy inżynierii bezpieczeństwa i nauk o pracy



2

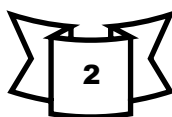
Zielona Góra 2015

**Problemy inżynierii
bezpieczeństwa
i nauk o pracy**

2

Problemy inżynierii bezpieczeństwa i nauk o pracy

Monografia naukowa



Redakcja naukowa

Paweł Bachman

**Zielona Góra
2015**

RECENZJA

Jakub Kostecki
Mirosław Matyjaszczyk
Krzysztof Łasiński
Piotr Gawłowicz

PROJEKT OKŁADKI

Paweł Bachman

OPRACOWANIE TYPOGRAFICZNE

Paweł Bachman

© Copyright by Wydawnictwo
Instytutu Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy
Uniwersytetu Zielonogórskiego

Zielona Góra 2015

Odpowiedzialność za treść artykułów ponoszą autorzy

ISBN 978-83-941516-1-4

Spis treści

WSTĘP	9
CZĘŚĆ I	
ERGONOMIA I BEZPIECZEŃSTWO	
Wykorzystanie programu EPANET do oceny bezpieczeństwa przeciwpożarowego w małych miejscowościach	13
Ocena dyskomfortu pracowników na stanowiskach pracy malarni proszkowej	21
Analiza bezpieczeństwa systemu zaopatrzenia w wodę w aspekcie awaryjności sieci wodociągowej	39
CZĘŚĆ II	
INŻYNIERIA	
Wskaźniki efektywności energetycznej systemu technologiczno – pneumatycznego	49
Badania efektywności energetycznej systemu technologiczno-pneumatycznego	63
Badanie procesów pracy maszyn współpracujących z pneumatycznymi systemami odciągowymi pracującymi w warunkach zmiennych	75
Analiza porównawcza właściwości drewna pochodzenia krajowego i egzotycznego w oparciu o najczęściej wykorzystywane gatunki drewna	87
Inteligentny system sterowania mikroklimatem w szklarni z wykorzystaniem programowalnego sterownika automatyki	105
Zastosowanie wybranych narzędzi lean manufacturing do zwiększania efektywności pracy w produkcji małoseryjnej wieloasortymentowej	123
STRESZCZENIA	142
INFORMACJE O AUTORACH	151

WSTĘP

Zbigniew Węgrzyn

Monografia ma na celu prezentację wybranych prac dyplomowych i badań naukowych, które prowadzone są we współpracy ze studentami głównie w Instytucie Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy a także w innych jednostkach współpracujących. Ze względu na interdyscyplinarny charakter Instytutu prace podzielone są na dwie części, związane z ergonomią i bezpieczeństwem oraz inżynierią.

W rozdziale pierwszym przedstawiono możliwości programu Epanet w zakresie oceny bezpieczeństwa przeciwpożarowego w małych miejscowościach. Opisano przykład obliczeniowy istniejącego układu. Wykazano brak możliwości zapewnienia bezpieczeństwa mieszkańców z uwagi na niewłaściwy dobór średnic sieci wodociągowej.

Rozdział drugi porusza zagadnienia związane z oceną dyskomfortu pracowników na stanowiskach pracy malarni proszkowej. Podstawowym założeniem pracy było scharakteryzowanie oraz ocenienie warunków pracy w malarni proszkowej w ujęciu bezpieczeństwa i higieny pracy. Podstawowe narzędzie badawcze służące ocenie warunków pracy to metoda oceny dyskomfortu OWAS. Badania przeprowadzono na grupie pracowników stanowiącej brygadę malarską. Stwierdzono, że należy zwrócić uwagę na zniwelowanie ryzyka wystąpienia monotonii pracy, która prowadzi do ryzyka mięśniowo-szkieletowego dyskomfortu.

W rozdziale trzecim przedstawiono badania naukowe dotyczące analizy bezpieczeństwa systemu zaopatrzenia w wodę w aspekcie awaryjności sieci wodociągowej. Stwierdzono, że systemy zaopatrzenia w wodę są złożonymi układami. Ich zadaniem jest dostawa wody w odpowiedniej ilości, o odpowiedniej jakości i pod wystarczającym ciśnieniem. Ich bezpieczeństwo uzależnione jest od wielu czynników i może być rozpatrywane w różnych aspektach. W artykule przeprowadzono analizę bezpieczeństwa w kontekście awaryjności sieci wodociągowej.

W rozdziale czwartym zaprezentowano zarys metodologii obliczania efektywności energetycznej Systemu Technologiczno – Pneumatycznego (STP). Przedstawiono sposób wyznaczania wskaźników efektywności energetycznej pneumatycznych instalacji odciągowych wraz z pozostałymi składnikami wchodzącymi w skład Systemu Technologiczno – Pneumatycznego. Możliwość określenia efektywności energetycznej STP pozwala podejmować działania służące oszczędności energii oraz wprowadzaniu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej STP.

W rozdziale piątym przedstawiono badania efektywności energetycznej systemu technologiczno-pneumatycznego. Zgodnie z wymaganiami prawa w Europie i w Polsce należy podejmować działania zmierzające do poprawy efektywności

energetycznej na wielu płaszczyznach i w różnych dziedzinach gospodarki. Poprawa efektywności wykorzystania energii dotyczy również użytkowników końcowych. System Technologiczno – Pneumatyczny niestety cechuje się dużą energochłonnością. W artykule przedstawiono wyniki badań efektywności energetycznej STP w zależności od zastosowanego dodatkowego wyposażenia technicznego instalacji oraz strukturę zużycia energii pierwotnej w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u .

Rozdział szósty dotyczy badań procesów pracy maszyn współpracujących z pneumatycznymi systemami odciągowymi pracującymi w warunkach zmiennych. Do przemysłu wprowadza się coraz więcej pneumatycznych instalacji odciągowych dostosowanych do procesów pracy. W artykule przedstawiono zagrożenia występujące przy eksploatacji pneumatycznych instalacji odciągowych. Przy projektowaniu trzeba uwzględnić procesy pracy obrabiarek. Pokazano w nim metodę obserwacji ciągłych wykorzystaną do badania współczynnika użytkowania obrabiarek. Przedstawiono wyniki badań przemysłowych procesów pracy dla różnych rodzajów obrabiarek.

Rozdział siódmy prezentuje zagadnienia związane z analizą porównawczą właściwości drewna pochodzenia krajowego i egzotycznego w oparciu o najczęściej wykorzystywane gatunki drewna. W pracy przeprowadzono analizę wyników przeprowadzonych badań. W części teoretycznej porównano i przeanalizowano pochodzenie wszystkich gatunków, ich warunków wzrostu, budowy mikroskopowej i makroskopowej. Przeanalizowano właściwości fizyczne i mechaniczne. W części badawczej wyznaczono gęstość, nasiąkliwość, pęcznienie i udarność wszystkich omawianych gatunków drewna w zależności od wilgotności. Wyniki i wnioski z przeprowadzonych badań mogą być przydatne dla efektywniejszego wykorzystania omawianych gatunków drewna.

Rozdział ósmy stanowi opis inteligentnego systemu sterowania mikroklimatem w szklarni z wykorzystaniem programowalnego sterownika automatyki. W pracy opisano inteligentny system automatycznej regulacji klimatu w szklarni. Jego zadaniem jest regulacja temperatury, wilgotności, oświetlenia oraz zawartości dwutlenku węgla w powietrzu za pomocą programowalnego sterownika automatyki. Podczas sterowania uwzględnia on zmienne zapotrzebowanie na różne czynniki klimatu podczas różnych faz wzrostu roślin. Opisano wybrane urządzenia do regulacji klimatu oraz elementy wykonawcze oraz czujniki. W części końcowej zaprezentowano założenia dotyczące działania systemu oraz omówiono zastosowane komponenty, algorytm działania i przykładowe bloki programu oraz wizualizację i sposób komunikacji pomiędzy poszczególnymi komponentami.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono podstawowe informacje dotyczące Lean Manufacturing. Opisano badania przeprowadzone w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Przeprowadzono analizę przypadku za pomocą dwóch metod badawczych. Zdiagnozowano szereg zakłóceń w obszarze zarządzania dostępnymi zdolnościami produkcyjnymi. Dzięki zastosowanemu narzędziu wykazano, że możliwa jest taka zmiana organizacji produkcji, która spowoduje znaczne zmniejszenie kosztów produkcji i zwiększenie wydajności.

ERGONOMIA
I
BEZPIECZEŃSTWO

CZĘŚĆ I

WYKORZYSTANIE PROGRAMU EPANET DO OCENY BEZPIECZEŃSTWA PRZECIWOPOŻAROWEGO W MAŁYCH MIEJSCOWOŚCIACH

Waldemar Uździcki, Ireneusz Nowogoński, Ewa Ogiółda, Michał Tesz

1. Wstęp

Projektowanie sieci wodociągowych jest z punktu widzenia obliczeniowego zadaniem skomplikowanym. Zadanie komplikuje się z uwagi na fakt, że oprócz zwykłych zadań, realizowanych przez klasyczny system wodociągowy, konieczne jest zapewnienie warunków umożliwiających utrzymanie bezpieczeństwa przeciwpożarowego nawet w warunkach maksymalnego zapotrzebowania na wodę mieszkańców i przemysłu. Paradoksalnie, największe problemy obserwować można w małych miejscowościach, gdzie dysproporcje między warunkami normalnej eksploatacji a warunkami występującymi w czasie pożaru są największe. W konsekwencji ocenie podlegają dwie sprzeczne tendencje. Z jednej strony należy zachować optymalne warunki w czasie zwykłych warunków eksploatacyjnych, tzn. wystarczające ciśnienia rozporządzalne, ilość wody, jej jakość oraz czas przetrzymania wody w sieci zwany „wiekiem” wody. Z drugiej strony w czasie pożaru występujące okresowo powiększone rozbiory wymuszają „sztuczne” zwiększanie średnic rurociągów. Skutkiem może być uniemożliwienie zachowania optymalnych warunków w warunkach typowych.

2. Wymagania stawiane sieci wodociągowej

Zapewnienie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę do zewnętrznego gaszenia pożaru według obowiązującego w Polsce prawa jest wymagane dla jednostek osadniczych o liczbie mieszkańców przekraczającej 100 osób [6], niestanowiących zabudowy kolonijnej, a także znajdujących się w ich granicach: budynków użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego oraz obiektów budowlanych produkcyjnych i magazynowych.

Sieć wodociągowa stanowiąca źródło wody do celów przeciwpożarowych w warunkach polskich powinna spełniać następujące wymagania [6]:

- Sieć wodociągowa powinna być zasilana z pompowni, zbiornika wieżowego, studni lub innych urządzeń, zapewniających wymaganą wydajność i ciśnienie w hydrantach zewnętrznych, nawet tych niekorzystnie ulokowanych, przez co najmniej 2 godziny;
- Sieć wodociągowa przeciwpożarowa powinna zapewniać wydajność nie mniejszą niż $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i ciśnienie w hydrancie zewnętrznym nie mniejsze niż 0,1 MPa, przez co najmniej 2 godziny;

- Sieć wodociągową przeciwpożarową należy wykonywać jako sieć obwodową. Dopuszcza się budowę sieci wodociągowej przeciwpożarowej rozgałęzieniowej poza obszarami miejskimi oraz tam, gdzie łączna wymagana ilość wody nie przekracza $20 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- W przypadku, gdy łączna wymagana ilość wody przekracza $30 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sieć obwodową zasila się w dwóch punktach znajdujących się w możliwie największej odległości od siebie, nie mniejszej jednak niż 1/4 obwodu sieci;
- Sieć wodociągową przeciwpożarową, dla której łączna wymagana ilość wody przekracza $20 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, należy tak zaprojektować i budować, aby możliwe było jednoczesne pobieranie wody z dwóch sąsiednich hydrantów zewnętrznych;
- Wyrażone w milimetrach średnice nominalne (DN) przewodów wodociągowych wykonanych z rur stalowych, na których przewiduje się instalowanie hydrantów zewnętrznych przeciwpożarowych, powinny wynosić co najmniej: DN 100 w sieci obwodowej, DN 125 w sieci rozgałęzieniowej, w odgałęzieniach sieci obwodowej według obliczeń hydraulicznych, DN 80 przy rozbudowie lub modernizacji istniejącego wodociągu o wydajności $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w jednostce osadniczej o liczbie mieszkańców nieprzekraczającej 2000.

Spełnienie wszystkich wymienionych warunków oraz wymagań dostawy dla użytkowników wymaga wykonania skomplikowanych obliczeń. Zagadnienie jest tym bardziej skomplikowane w przypadku sieci obwodowych. Ich realizacja bez użycia specjalizowanego oprogramowania jest praktycznie niemożliwa nawet dla małych jednostek osadniczych. Jednym z rozwiązań jest zastosowanie programu Epanet opracowanego przez Dział Zaopatrzenia w Wodę i Gospodarki Wodnej Agencji Ochrony Środowiska USA, który udostępniony jest na zasadzie licencji publicznej.

Mimo, że typowe wartości ciśnienia i wymogi przeciwpożarowe w warunkach amerykańskich różnią się od stosowanych w Polsce, to narzędzie jest akceptowalne w obu przypadkach. Wymagania stosowane w Stanach Zjednoczonych sugerują minimalne ciśnienie niezbędne do prowadzenia akcji gaśniczej równe ok. 14 m H_2O na poziomie gruntu [2]. W przeciwieństwie do polskich warunków i praktycznie stosowanych rozwiązań zaleca się stosowanie rozproszonego systemu magazynowania wody do celów gaśniczych w przeciwieństwie do scentralizowanego stosowanego w Polsce.

Nadrzędność podstawowego zadania systemu wodociągowego, tzn. dostarczania wody o jakości akceptowalnej do spożycia przez mieszkańców określana przez Agencję Ochrony Środowiska (EPA) nad zadaniem dostarczania wody do celów przeciwpożarowych powoduje występowanie miejscowości w których nie pojawiają się klasyczne rozwiązania w postaci hydrantów. Obserwuje się, że znaczna liczba miejscowości, w których mieszka co najwyżej 5000 mieszkańców nie jest wyposażona w hydranty przeciwpożarowe, z uwagi na brak możliwości utrzymania odpowiedniej jakości wody w sieci wodociągowej [7].

3. Model Epanet

Zastosowany model wykorzystuje metodę gradientową [8] i określa wysokości ciśnienia oraz przepływy odcinkowe dla założonego zbioru poziomów wody w zbiornikach zasilających, zbiornikach magazynowo-wyównawczych i rozbiorów w węzłach dla serii punktów w czasie.

Program posiada cechy wspólne z innymi tego typu rozwiązaniami, które uznać za standardowe [1]:

- możliwość graficznego budowania modelu, co pozwala na dodawanie, wstawianie, przesuwanie, edycję i usuwanie elementów sieci;
- wyświetlanie w tle obrazów rastrowych;
- eksport i import danych tabelarycznych;
- edycja grupy elementów modelu;
- wizualizacja otrzymanych wyników (parametrów pracy sieci takich jak, na przykład prędkości przepływu wody w rurociągach, wysokość ciśnienia itp.);
- przypisanie wielu profili rozbiorów do tego samego węzła;
- symulacje pracy sieci w dowolnym przedziale czasowym z wybranym krokiem czasowym;
- symulacje pracy armatury specjalistycznej i pomp ze zmienną prędkością;
- użycie powszechnych i standardowych metod obliczania spadków naporu hydraulicznego;
- określenie wieku wody w każdym węźle i elemencie analizowanego systemu;
- użycie do budowy modelu różnych typów źródeł zasilania i retencjonowania wody;
- tworzenie raportów, wykresów i profili;
- wyświetlenie wyników w formie serii czasowych;
- kompatybilność ze standardowymi systemami operacyjnymi.

W skład analizowanej sieci oprócz przewodów, zbiorników i pompowni mogą wchodzić również[4]:

- Emitery umożliwiające symulację wpływu instalacji zraszających, wpływy przez nieszczelności lub zwiększone pobory w czasie pożaru;
- Zawory ograniczające przepływ, ciśnienie poprzez podanie wartości granicznej lub opisane przez charakterystykę;
- Elementy sterujące umożliwiające symulowanie wpływu systemów automatyki na działanie elementów układu.

Program umożliwia również symulację zmian wybranych chemicznych wskaźników jakości wody oraz symulację rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w sieci przewodów [5] i zbiornikach magazynujących.

4. Metodyka analizy

Do przygotowania modelu podsystemu wodociągowego wykorzystano program Epanet. Program daje możliwość przeprowadzenia symulacji zmian warunków hydraulicznych przepływu wody w sieci, symulacji pracy systemu wodociągowego, obliczenia kosztów zużywanej energii, a także przeprowadzenia analizy wybranych parametrów jakości wody. Umożliwia również generowanie zestawień wyników w tabelach oraz graficzną prezentację wyników obliczeń na wykresach.

Dane wejściowe niezbędne do realizacji obliczeń to:

- graf sieci (węzły, odcinki, pompownie, zbiorniki),
- dla rurociągów: długości, średnice, chropowatość,
- dla węzłów: rzędne osi rurociągu, wielkość rozbiorów wody,
- współrzędne charakterystyk pomp,
- rzędne zwierciadła wody w zbiornikach.

Na wyniki obliczeń hydraulicznych składają się:

- rzędne ciśnienia w poszczególnych węzłach,
- wartości natężenia, prędkości przepływu, spadku hydraulicznego w poszczególnych odcinkach rurociągów.

Do obliczenia strat ciśnienia w programie Epanet wybrać można jedną z formuł: Darcy – Weisbacha, Chezy – Manninga lub Hazena- Williamsa. W prezentowanych obliczeniach wybrano najczęściej stosowaną w warunkach polskich metodę Darcy – Weisbacha [3]:

$$\Delta h_l = \lambda \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{l}{d} \quad (1)$$

gdzie:

Δh_l - straty ciśnienia na długości przewodu, m;

λ - współczynnik liniowych oporów tarcia;

v - średnia prędkości przepływu wody, $m \cdot s^{-1}$;

g - przyspieszenie ziemskie, $m \cdot s^{-2}$;

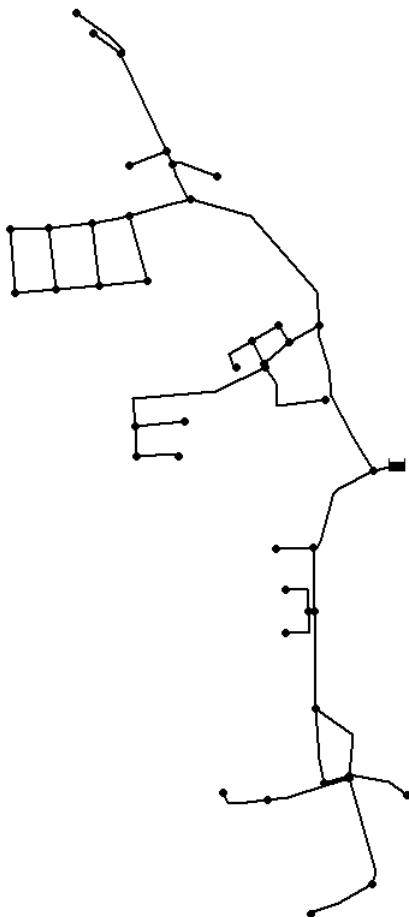
l - długość przewodu, m;

d - średnica wewnętrzna przewodu, m.

5. Przykład obliczeniowy

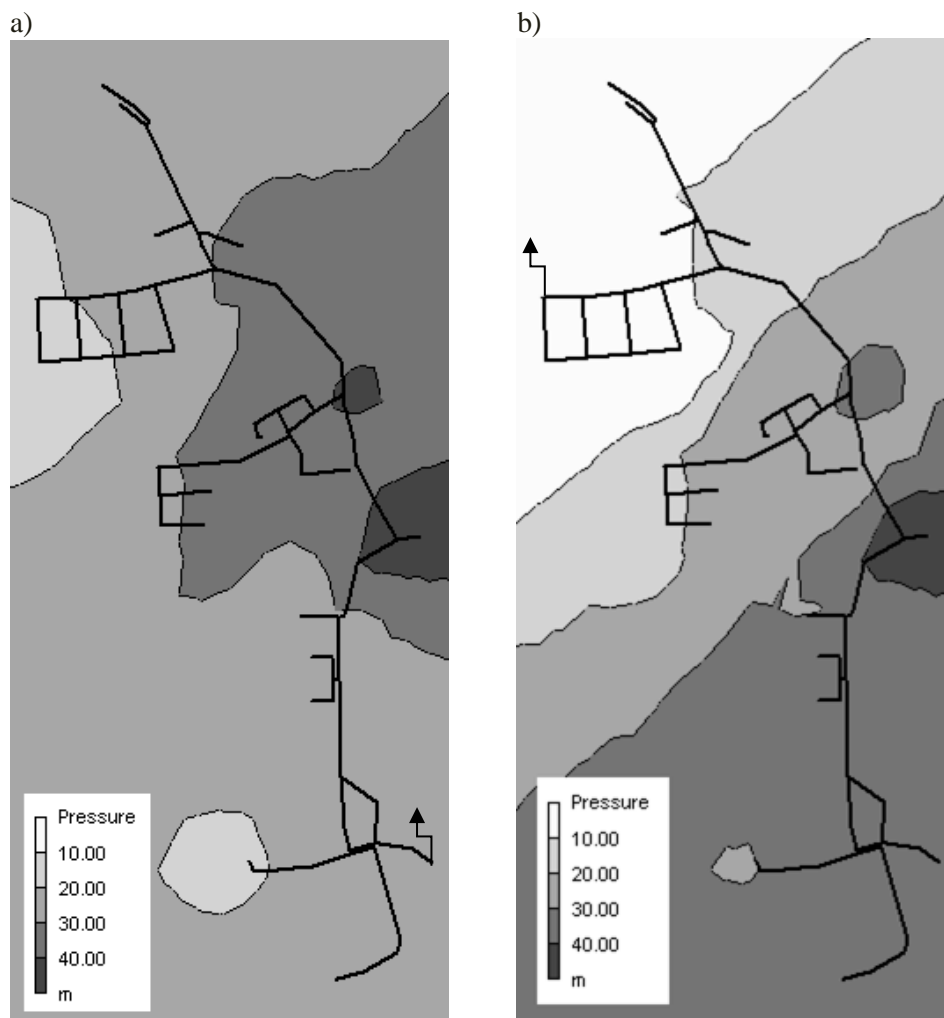
Obliczenia zrealizowano w oparciu o dane uzyskane z miasta Sulęcina położonego w województwie lubuskim. System wodociągowy zaopatruje teren całego miasta oraz wsie: Żubrów, Długoszyn, Drogomin i Ostrów, obsługując około 12 tysięcy odbiorców. Dobowa wydajność stacji uzdatniania to $1270 m^3 \cdot d^{-1}$. Długość sieci wodociągowej na terenie miasta Sulęcina wynosi około 29,9 km, za jej pośrednictwem woda dostarczana jest do 726 budynków. Średnie jednostkowe zużycie wody na mieszkańca w ciągu doby wynosi około $115 dm^3 \cdot d^{-1}$. Na terenach wiejskich długość sieci wynosi około 56,5 km, podłączonych jest do niej 755 budynków.

Ujęcie wody w Sulęcinie składa się z 5 studni wierconych, stacji pomp I stopnia, stacji pomp II stopnia, deszczowni, stacji filtrów otwartych pośpiesznych oraz zbiornika wody czystej. Studnie nr 1 i nr 2 zostały wykonane przed 1945 rokiem, studnie nr 1a i 2a w 1975 roku, a studnia 3a w 1995 roku.



Rys. 1. Graf podsystemu wodociągowego w Sulęcinie (opracowanie własne)

Analizie poddany został podsystem wodociągowy miasta Sulęcinek, zaopatrujący teren znajdujący się po zachodniej stronie rzeki Postomii, którego obszar zamieszkuje 927 osób (stan z dnia 30.09.2014). Graf analizowanego podsystemu przedstawiono na rysunku nr 1. Układ sieci zrealizowano na większości analizowanego obszaru jako rozgałęziony. Niewielkie obszary posiadają sieć obwodową. Zaopatrywane w wodę są budynki mieszkalne jednorodzinne jedno- i dwukondygnacyjne, a także stadion sportowy wyposażony w system nawadniania murawy.



Rys. 2. Warstwy wysokości ciśnienia w sieci podczas rozbioru maksymalnego z pożarem: a) Al. Ostrowskie b) ul. Willowa (opracowanie własne)

Symulację parametrów przepływu podczas poboru wody do gaszenia pożaru przeprowadzono w dwóch wariantach. W pierwszym z nich założono wystąpienie rozbioru pożarowego wody w północnej części analizowanego terenu (ul. Willowa), w drugim- w części południowej (Al. Ostrowskie). Zgodnie z w Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych dla obszaru zamieszkanego przez mniej niż 2000 osób, rozbiór wody do celów gaszenia pożaru powinien wynosić $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Założono punktowy rozbiór o tej wartości w wybranych węzłach modelu a obliczenia wykonano w czasie występowania maksymalnych rozbiorów wody przez mieszkańców.

Wyniki obliczeń - zakresy prędkości przepływu w rurociągach i wysokości ciśnienia w węzłach zamieszczono w tabeli 1, a warstwicę wysokości ciśnienia wraz z lokalizacją rozbiorów pożarowych w sieci na rysunku 2.

Tab. 1. Zakresy wysokości ciśnienia i prędkości przepływu dla rozbioru maksymalnego z pożarem

ulica	ciśnienie [m]	prędkość przepływu [$m \cdot s^{-1}$]
Willowa	-5,51 - 44,24	0,00 - 1,80
Al. Ostrowskie	13,34 - 44,21	0,00 - 1,81

Przy założeniu poboru wody w północno-zachodniej części analizowanego obszaru, ciśnienie spada do wartości niższych od wymaganych, w związku z czym stwierdzić należy, że analizowana sieć wodociągowa nie zapewnia przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę. Przy założeniu rozbioru pożarowego w południowej części wodociągu, ciśnienie wody niezbędne do gaszenia pożaru jest zapewnione.

6. Podsumowanie

Analizie poddano podsystem wodociągowy w Sulęcinie w województwie lubuskim. Przy użyciu programu EPANET opracowano jego model, który umożliwił analizę eksploatacji sieci w zróżnicowanych warunkach rozbiorów wody. Z przeprowadzonej analizy wyciągnięto następujące wnioski:

- analizowana sieć nie spełnia wymogów dotyczących zaopatrzenia w wodę podczas pożaru w części północnej, ale w części południowej są one spełnione,
- w związku z tym, że analizowany obszar zasilany jest z sieci o układzie otwartym, w przypadku awarii istnieje możliwość przerw w dostawie wody,

Opracowany model posłużył do przeprowadzenia analizy podsystemu wodociągowego. Może być on także podstawą przygotowania modelu całego systemu, który pozwoli na wykonywanie obliczeń zarówno parametrów eksploatacyjnych, jak i symulacyjnych.

Bibliografia

1. BIEDUGNIS S., *Metody informatyczne w wodociągach i kanalizacji*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 1998.
2. HICKEY H. E., *Water Supply Systems and Evaluation Methods*, FEMA US Department of Homeland Security, Washington, DC, 2008.
3. MIELCARZEWICZ E., *Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę*, Arkady, Warszawa 2000.

4. NOWOGOŃSKI I., *Obliczanie wielopięściennych sieci wodociągowych*, Natura, 2005, z. 11, s. 93-100.
5. ROSSMANN, L.; 2000. *EPANET 2, Users Manual*, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 2000.
6. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych (Dz.U.2009.124.1030)
7. SENYONDO S. N., *Using EPANET to optimize operation of the rural water distribution system at Braggs, Oklahoma*, Oklahoma State University 2009, s. 7.
8. TODINI E., PILATI S., *A gradient algorithm for the analysis of pipe networks*, *Proceedings of the International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution*, Leicester, UK 1997.

OCENA DYSKOMFORTU PRACOWNIKÓW NA STANOWISKACH PRACY MALARNI PROSZKOWEJ

Łukasz Michalski, Maria Kowal

1. Wstęp

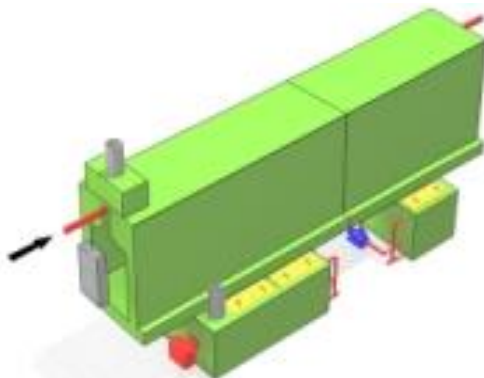
Warunki pracy to ogół czynników mających związek z wykonywaną pracą zawodową. Należy do nich charakter pracy, miejsce w którym praca jest wykonywana jak i samo otoczenie pracy. Wśród czynników mających wpływ na charakter pracy należy także wymienić lokalizację zakładu pracy, obowiązki pracownicze, ramy czasowe pracy czy też kwestie relacji społecznych z współpracownikami. Stanisława Borkowska przedstawia warunki pracy jako zbiór kilku składniowych. Według niej, na warunki pracy składa się pięć czynników. Oprócz higieny pracy, kształtowania środowiska pracy czy też działalności bytowej, warunki pracy to eliminowanie jej szkodliwych warunków dla życia i zdrowia oraz zapobieganie wypadkom z uwzględnieniem środków ochrony oraz szkoleń [6]. W pracy przedstawiono warunki pracy występujące na malarni proszkowej. Praca na malarni proszkowej charakteryzuje się powtarzalnością oraz cyklicznością wykonywanych czynności. Opisywana w pracy malarnia jest jednym z działów produkcyjnych zakładu, który wytwarza okucia meblowe. Zadaniem pracowników malarni jest pokrywanie wytworzonych wcześniej w procesie produkcji wyrobów, farbą proszkową. W pracy uwzględniono występowanie szkodliwych warunków dla zdrowia i życia wraz z prawdopodobieństwem wystąpienia wypadku przy pracy. Podano również propozycje eliminacji niepożądanych zjawisk. Uzyskano w ten sposób kompletną ocenę warunków pracy na malarni w ujęciu bezpieczeństwa i higieny pracy.

2. Charakterystyka środowiska pracy malarni proszkowej

Malowanie odbywa się z wykorzystaniem procesu elektrostatycznego lub elektrokinetycznego. Farbę proszkową nakłada się za pomocą specjalnych aplikatorów. Aplikator do malowania proszkowego często nazywany jest także pistoletem. Malowanie może odbywać się za pomocą ręcznych pistoletów lub też z użyciem pistoletów automatycznych. W obu przypadkach farbę proszkową nanosi się na powierzchnie bezpośrednio – bez zastosowania farb podkładowych. Naładowane w pistolecie cząsteczki farby proszkowej przylegają na uziemiony malowany wyrób, tworząc równomierną powłokę. Pomalowany wyrób trafia do pieca wypalającego, gdzie w temperaturze od 160 do 220°C następuje stopienie a następnie utwardzenie powłoki lakierniczej [11]. Opisywana w pracy malarnia proszkowa wyposażona jest w automatyczną linię do malowania proszkowego. Linia

składa się z przenośnika napowietrznego, automatycznego systemu odtłuszczenia wyrobów, ich malowania oraz wypalania.

Zakres obowiązków pracowników lakierni obejmuje wszystkie składniowe procesy malowania proszkowego. Pracownicy oprócz samego malowania są zobowiązani do przygotowania wyrobu poprzez jego poprawne odtłuszczenie. Na omawianej lakierni odtłuszczenie zachodzi w specjalnie skonstruowanym do tego tunelu przygotowawczym. Odtłuszczenie odbywa się za pomocą natrysku ciśnieniowego substancji odtłuszczących. Substancje znajdują się w specjalnych wannach, za pośrednictwem pomp oraz systemu zraszaczy substancje odtłuszczały wyroby w tunelu. Pracownicy odpowiedzialni są za utrzymywanie odpowiedniego stężenia środka odtłuszczonego w kąpielach. Rysunek 1 obrazuje zewnętrzny wygląd tunelu przygotowawczego. Tunel znajduje się bezpośrednio na wannach z środkiem odtłuszczonego. Środek odtłuszczonego to Gardobond A4975. Jest to ciekły jednoskładnikowy preparat do jednoczesnego mycia oraz fosforanowania żelazowego materiałów wykonanych z żelaza oraz do mycia wyrobów ze stali nierdzewnej, cynku i aluminium.



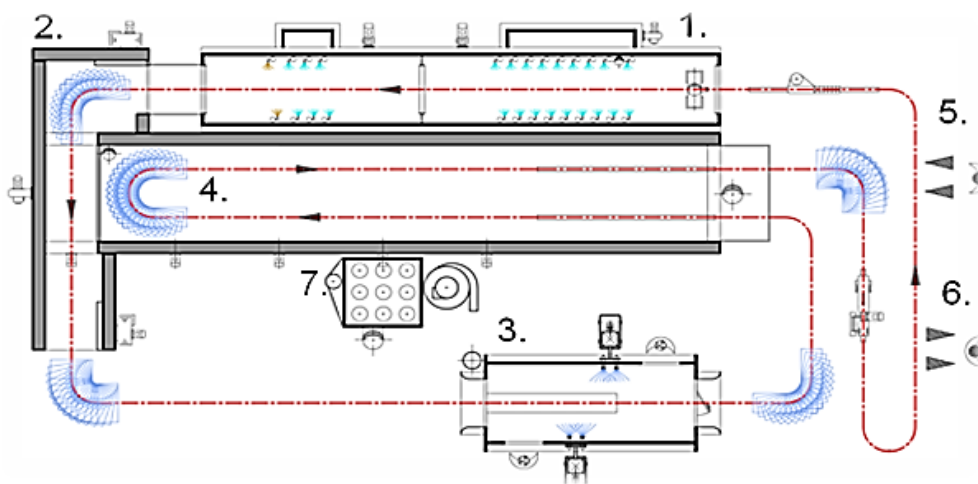
Rys. 1. Tunel przygotowawczy - widok zewnętrzny
(opracowanie własne na podstawie [7])

Optymalne efekty obróbki uzyskiwane są w temperaturze od 40-60°C. Kontrolą stężenia środka w kąpeli zajmują się pracownicy odrębnego działu. Kąpiel to mieszanina wody i środka odtłuszczonego. Widok wewnętrzny tunelu pokazano na rysunku 2. Proporcje między środkiem odtłuszczonego a wodą są zależne od wymaganych efektów odtłuszczenia. Producent podaje, że na 1000 litrów wody należy dodać od 10 do 40 kilogramów środka, w zależności od oczekiwanych efektów oraz stopnia zabrudzenia czyszczonych wyrobów.



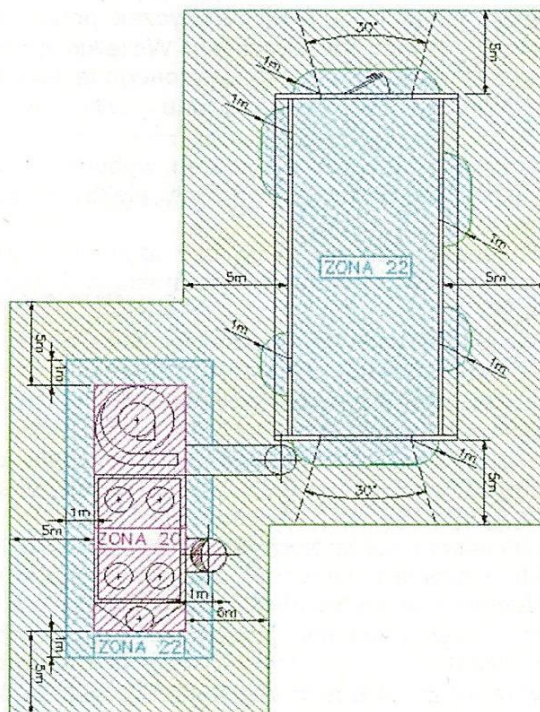
Rys. 2. Tunel przygotowawczy - widok wewnętrzny
(opracowanie własne na podstawie [10])

Środek odłuszczący Gardobond A 4975 jest preparatem sklasyfikowanym jako niebezpieczny. Szczegółowa instrukcja postępowania z preparatem znajduje się w „Instrukcji stosowania Gardobond A 4975”. Środki ochrony indywidualnej oraz postępowanie ze środkiem na wypadek nie planowanych sytuacji niebezpiecznych jak np. pożar lub kontakt ze skórą lub oczami opisane są w „Karcie charakterystyki preparatu niebezpiecznego Gardobond A 4975”.



Rys. 3. Schemat malarni proszkowej (opracowanie własne na podstawie [10])

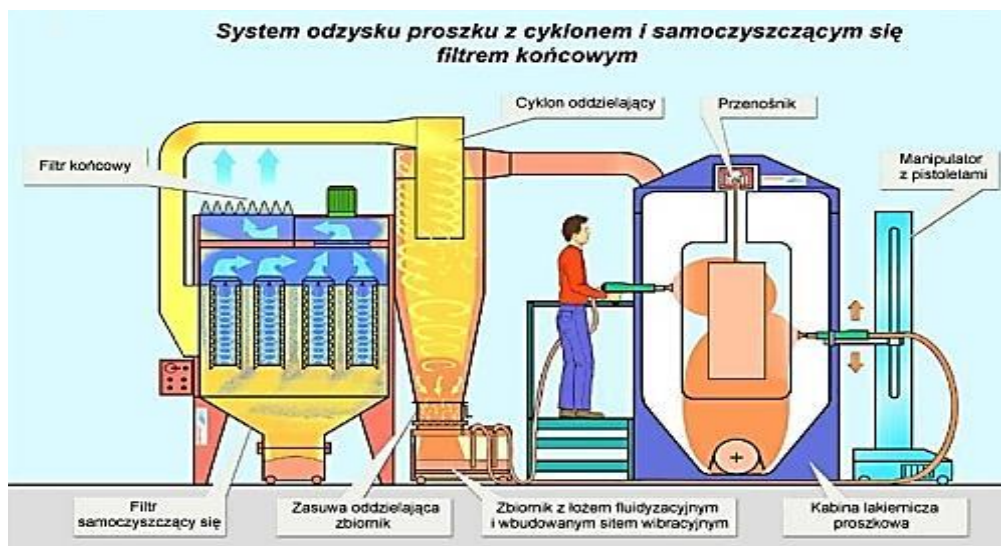
Na rysunku 3 przedstawiony jest schemat malarni proszkowej omawianej w pracy. Sekcja 1 to tunel przygotowawczy, służy do odtluszczenia wyrobów przed malowaniem. Kolejnym etapem jest suszenie. Odbyna się ono w piecu osuszającym -2. Podstawą działania pieca suszącego jest wymuszona cyrkulacja ciepłego powietrza. Wyroby trafiają do pieca bezpośrednio po przejściu przez tunel przygotowawczy. Piec osuszający korzysta z kilku wentylatorów, które wymuszają krążenie ciepłego powietrza wewnątrz pieca dzięki czemu możliwe jest całkowite odparowanie cieczy odtluszczonej. Temperatura w piecu suszącym waha się od 100-120°C [7]. Zarówno piec osuszający jak i opisany w dalszej części piec wypalający zasilane są gazem ziemnym. Zasilanie odbywa się poprzez palnik wyposażony w termoregulację elektroniczną. Regulacja odbywa się poprzez teletermometr przemysłowy typu sonda, który działa bezpośrednio na palnik. Dodatkowo zestaw zasilający wyposażony jest w bezpiecznik, który chroni zestaw przed przegrzaniem [11]. Po osuszeniu wyroby trafiają do kabiny lakierniczej - 3. Kabina korzysta z systemu odzysku proszku poprzez cyklon. Zasadę działania cyklonu obrazuje rysunek 5. Cyklon zasilany jest przez wentylator promieniowy przeciwybuchowy. Dokumentacja techniczno-ruchowa wentylatora znajduje się w „Dokumentacji techniczno-ruchowej wentylatora”. Zastosowanie tego typu wentylatora jest wymuszone przez specyficzne warunki występujące w kabinie malarskiej. Kabinę malarską należy bowiem zakwalifikować do strefy zagrożenia atmosferą potencjalnie wybuchową. W liniach przeznaczonych do malowania proszkowego strefy zagrożenia potencjalnym wybuchem są spowodowane przez koncentracje proszków znajdujących się w kabinie lakierniczej i w systemie otrzepywania filtrów. Strefy potencjalnie zagrożone wybuchem przedstawia rysunek 4. Strefa oznaczona jako *ZONA 22* to kabina lakiernicza – miejsce pracy malarza proszkowego. Jest to strefa, w której okazjonalnie podczas codziennej działalności istnieje możliwość wytworzenia się atmosfery wybuchowej w formie chmury proszku palnego w powietrzu. Strefa oznaczona jako *ZONA 20* to zamknięty system filtrów. Obszar ten jest stale zamknięty i występuje w nim ciągła atmosfera wybuchowa w formie chmury palnego proszku w powietrzu [3]. Dla minimalizacji ryzyka wystąpienia pożaru producent zaleca zastosowanie podłogi, która będzie pokryta materiałem będącym przewodnikiem elektryczności, co najmniej 5 metrów do strefy *ZONA 22* [3]. Dodatkowo producent zwraca uwagę na konieczność uziemiania w celu redukcji możliwości wystąpienia wybuchu. Instrukcja bezpieczeństwa dla strefy 22, wraz z ważnymi środkami uziemienia, znajduje się w „Instrukcji bezpieczeństwa dla strefy 22”.



Rys.4. Strefy potencjalnie zagrożone wybuchem (opracowanie własne na podstawie [3])

Malowanie wyrobów może odbywać się w pełni automatycznie lub ręcznie - istnieje także możliwość łączenia obu technik [7]. Wymalowane wyroby trafiają na końcowy etap malowania proszkowego jakim jest wypalanie. Odbywa się ono w piecu wypalającym, który podobnie jak piec suszący korzysta z wymuszonej cyrkulacji powietrza. Temperatura wewnątrz pieca wynosi od 160-220°C w zależności od charakterystyki stosowanej farby proszkowej. Gorące powietrze krąży w piecu poprzez serię wentylatorów. Powietrze przetaczane jest z góry na dół, gdzie znajduje się wyziewnik gorącego powietrza. Jest on zasilany gazem ziemnym. Dzięki całkowitemu odseparowaniu wymiennika termicznego od powietrza, na zewnątrz pieca nie wydobywają się żadne produkty spalania gazu [7]. Nie oznacza to jednak, że całe ciepło wyprodukowane w piecu pozostaje w jego wnętrzu. Zarówno piec wypalający jak i suszący to piece typu otwartego. Odseparowanie gorącego powietrza wewnątrz obu pieców od miejsca pracy pracowników odbywa się jedynie poprzez wymuszoną cyrkulację powietrza, bez mechanicznych barier typu bramy lub różnego rodzaju ekrany. Skutkuje to wydobywaniem się części gorącego powietrza na zewnątrz hali malarskiej. Ze względu na charakterystykę malowania proszkowego (możliwie mała cyrkulacja powietrza poza urządzeniami lakierniczymi) nie ma możliwości zastosowania wentylatorów, które wychłodziłyby pomieszczenie lakierni proszkowej. W związku z czym temperatura powietrza w okresach letnich często przekracza 35°C, w miejscu uzupełniania linii oraz jej rozładowywania, oznaczonych na rysunku 3 jako 5 oraz 6. W okolicach kabiny lakierniczej temperatura może

przekroczyć nawet 40°C. Rysunek 5 pokazuje miejsce pracy lakiernika na linii lakierniczej omawianej w pracy.



Rys. 5. Kabina lakiernicza (opracowanie własne na podstawie [7])

3. Zadania pracowników malarni proszkowej

Praca w malarni proszkowej odbywa w systemie dwuzmianowym. Pierwsza zmiana trwa od 6:00 do 14:00, druga od 14:00 do 22:00. Pracownicy mają jedną 15 minutową przerwę po 3 godzinach od rozpoczęcia pracy. Praca odbywa się w czteroosobowych brygadach, każda brygada ma swojego lidera, który pełni także funkcję malarza proszkowego, dwóch zawieszających oraz jednego ściągającego. Tabela 1 przedstawia skład brygady malarskiej.

Tab. 1. Skład brygady malarskiej

Lp.	Pełniona funkcja	Płeć	Wiek	Staż pracy na stanowisku w latach
1	Lider, malarz proszkowy	M	49	15
2	Zawieszający	M	51	20
3	Zawieszający	M	32	4
4	Ściągający	M	24	2

3.1. Zadania lidera malarni

Lider odpowiedzialny jest za obsługę linii malarskiej i jej wszystkich elementów. Lider, dalej nazywany lakiernikiem, uzupełnia brak środka odtłuszczającego w wannach tunelu przygotowawczego, kontroluje temperaturę suszenia oraz wypalania wyrobów oraz przede wszystkim obsługuje kabinę lakierniczą. Lakiernik jest więc odpowiedzialny za całą linię malarską; sterowanie linią - kontrola temperatury, włączanie i wyłączanie poszczególnych urządzeń, które odbywa się

z poziomu dotykowego panelu sterującego. Dodatkowo lakiernik steruje automatycznymi pistoletami malarskimi. Obsługa pistoletów odbywa się w pobliżu kabiny malarskiej za pomocą pokręteł. Przedstawiana linia malarska jest wyposażona w system automatycznego napyłania farby. Mimo zastosowania pistoletów automatycznych malowane wyroby wymagają tzw. domalowywania za pomocą ręcznych pistoletów do malowania proszkowego. Rysunek 6 przedstawia pistolet do malowania proszkowego, jaki jest używany na opisywanej malarni. Lakiernik sterujący pistoletami jest odpowiedzialny za odpowiednie pokrycie wyrobów farbą proszkową.



Rys. 6. Ręczny pistolet do malowania proszkowego (opracowanie własne na podstawie [8])

Podstawowym miejscem pracy lidera jest więc kabina lakiernicza. Panuje w niej specyficzny mikroklimat. Temperatura otoczenia może dochodzić do 40°C, hałas oraz zapylenie według wewnętrznych pomiarów zakładu, w którym przeprowadzono badanie nie wykracza poza aktualne normy. Subiektywne odczucie hałasu jak i zapylenia jest jednak znaczne. Lider jest więc narażony na szereg szkodliwych oraz uciążliwych czynników. Dodatkowo praca lakiernika odbywa się w pozycji stojącej. Jest on więc narażony na obciążenie statyczne wynikające z ciągłego utrzymania pozycji stojącej. Poza wykonywaną pracą lakierniczą jest odpowiedzialny za zaksiegowanie pracy i jej organizację, co może skutkować obciążeniem psychicznym. Kabina lakiernicza jest wyposażona w manipulator z pistoletami malarskimi, które służą do automatycznego nakładania farby proszkowej na przejeżdżające przez kabinę wyroby. Dodatkowo kabina wyposażona jest w wyciąg farby, dzięki czemu zredukowane jest zapylenie. System ten generuje jednak spory hałas i nie zapewnia stuprocentowego odpylenia farby.

3.2. Zadania pracowników zakładających wyroby na linię malarską

Praca osób zakładających polega na umieszczeniu wyrobów przeznaczonych do malowania na specjalnie do tego celu skonstruowanych zawieszkiach. Zawieszki znajdują się na linii malarskiej, która wyposażona jest w przenośnik napowietrzny. Na rysunku 3 przenośnik jest oznaczony czerwoną przerywaną linią. Wyroby

umieszczone na przenośniku w miejscu zawieszania wędrują przez wszystkie elementy automatycznej linii malarskiej.



Rys. 7. Pracownicy podczas zawieszania wyrobów na linię malarską

Na rys. 7 przedstawiono pracowników malarni podczas zawieszania wyrobów na linię malarską. Ich praca cechuje się ciągłą powtarzalnością ruchową. Pracownicy korzystają z nożycowych wózków paletowych, dzięki temu mogą podnieść pojemniki z wyrobami do malowania, a tym samym zredukować konieczność ciągłego schylania się. Praca musi jednak odbywać się w ściśle określonym tempie ze względu na charakterystykę malowanych wyrobów. Prędkość przenośnika napowietrznego może być zredukowana przez pracowników, jednak jedynie do określonej wartości. Podstawowym elementem, który jest poddawany procesowi malowania jest tzw. podnośnik – rysunek 8. Jest on wyposażony w elementy wykonane z tworzywa nieodpornego na długotrwałe przebywanie w wysokich temperaturach, jakie panują w piecu wypalającym. Prędkość przenośnika napowietrznego jest jednakowa we wszystkich punktach linii malarskiej, stąd też nie ma możliwości zwolnienia w strefie zawieszania. Pracownicy są więc zmuszeni do utrzymywania jednostajnego tempa pracy przez cały okres zmiany.



Rys. 8. Podnośnik wraz z elementami z tworzywa

Dodatkowym czynnikiem mającym negatywny wpływ na zdrowie oraz komfort pracy jest ilość malowanych wyrobów. Pracownicy w ciągu ośmiogodzinnej zmiany muszą umieścić na linii 8000 takich wyrobów. Stanowi to duży wysiłek fizyczny ze względu na ilość elementów oraz ciągłą powtarzalność ruchową w określonym tempie. Na rysunku 8 przedstawiony jest podnośnik wraz z elementami z tworzywa sztucznego. Rysunek 9 przedstawia całą zawieszkę z podnośnikami.



Rys. 9. Zawieszka wraz z podnośnikami

3.3. Zadania pracownika ściągającego wyroby z linii malarskiej

Pracownik ściągający wyroby z linii malarskiej ma przybliżony zakres działań do osób zakładających te wyroby. Jego zadaniem jest zdjęcie gotowych, pomalowanych wyrobów, umieszczenie ich w pojemniku transportowym oraz przetransportowanie za pomocą ręcznego wózka paletowego w miejsce odkładcze. Podobnie jak w przypadku pracowników zakładających musi on pracować w określonym tempie. Jego praca jest monotonna i jednostajna.

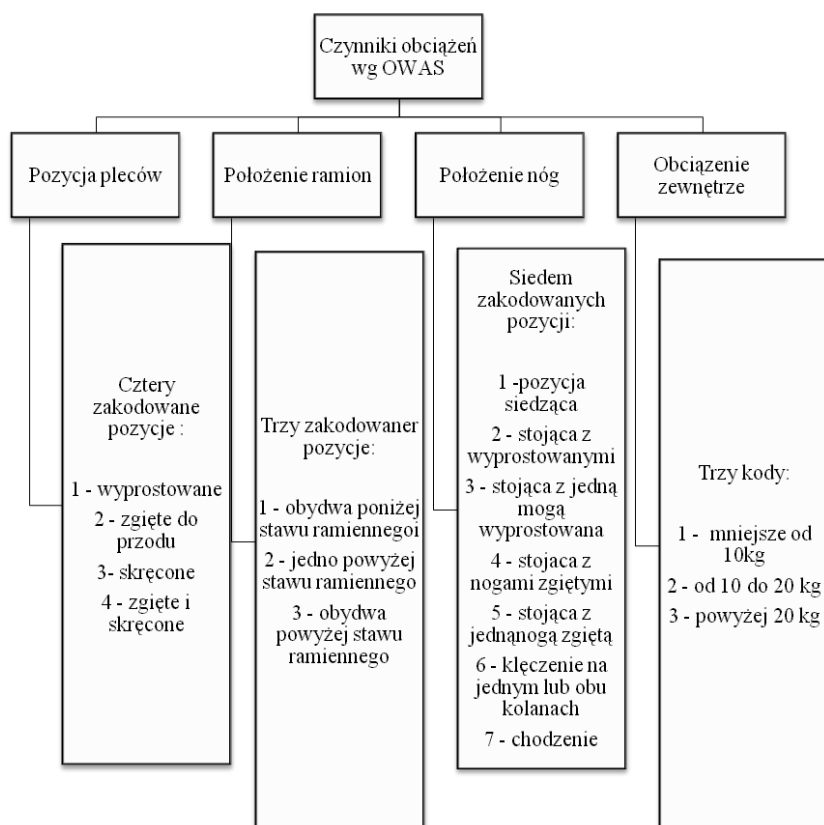
Wszyscy pracownicy malarni proszkowej wykonują swoją pracę w pozycji stojącej bez możliwości istotnej zmiany pozycji. Skutkuje to dużym obciążeniem statycznym oraz odczuwalnym dyskomfortem.

4. Ocena obciążenia statycznego pracowników malarni proszkowej

Ocena dyskomfortu pracowników na ich stanowiskach pracy została dokonana poprzez ocenę obciążenia statycznego i ryzyka wystąpienia mięśniowo-szkieletowego dyskomfortu – MSD poprzez analizę czynników ryzyka z wykorzystaniem metody OWAS. Jest to jedna z najprostszych i najbardziej rozpowszechnionych metod oceny prawdopodobieństwa wystąpienia dolegliwości mięśniowo – szkieletowych, które są bezpośrednio związane z obciążeniem

statycznym występującym na analizowanych stanowiskach pracy [5]. Ocenie poddano wszystkich pracowników malarni proszkowej tj. lidera, zawieszających i ściągającego. Osoby zawieszające wykonują te same czynności w związku z czym są oceniane w ten sam sposób.

OWAS - Ovako Working posture Analysing System, to metoda o charakterze obserwacyjnym. Stosuje się ją do oceny obciążenia posturalnego. Metoda została stworzona przez fińskich twórców w przedsiębiorstwie Ovako Oy. Dzięki tej metodzie możemy ocenić prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka MSD. OWAS zajmuje się kompleksowym ujęciem zagadnień, których podstawą jest obserwacja pracownika podczas wykonywania pracy. W OWAS uwzględniono przyjmowane przez pracowników pozycje w procesie pracy, oraz wyróżniono trzy segmenty ciała. Metoda uwzględnia również obciążenie zewnętrzne pracownika w kilogramach. Podstawę oceny stanowi więc łączny stopień obciążenia pozycji ciała wraz z ujęciem obciążenia zewnętrznego. Podstawowym zadaniem oceny jest ujawnienie niepożądanych pozycji oraz ich potencjalna korekta [2].



Rys. 10. Czynniki obciążenia w OWAS [2]

Na rysunku 10 przedstawiono podział składowych czynników (pozycji ciała) branych pod ocenę według metody OWAS. Dokonanie oceny dyskomfortu wg OWAS wymaga uwzględnienia procentowych wartości czasu utrzymywania przez

pracownika pozycji ciała zgodnie z kategoriami określonymi na podstawie metody opisanej w publikacji[5].

Procedura oceny ryzyka wystąpienia MSD wg OWAS jest prowadzona w kilku krokach. Jej pierwszym podstawowym krokiem jest opracowanie chronometrażu dnia pracy, oszacowanie obciążenia, które nawiązuje bezpośrednio do poszczególnych czynności zawartych w chronometrażu. Ważne, aby podczas tworzenia chronometrażu do każdej czynności przypisać czas jej trwania. Kolejnym krokiem po opracowaniu chronometrażu jest określenie pozycji ciała, przyjmowanej przez pracownika podczas wykonywania wypisanych wcześniej czynności - według rysunku 10. Następnie należy określić czy pozycja jest wymuszona czy niewymuszona [5]. „Pozycja wymuszona to pozycja, którą narzuca konstrukcja stanowiska pracy lub rodzaj wykonywanych czynności. Nie jest możliwa modyfikacja tej pozycji pod wpływem subiektywnego odczucia pracownika, zgodnie z jego preferencjami. Pozycja niewymuszona to taka pozycja, która może być zmieniana lub modyfikowana zgodnie z poczuciem wygody pracownika” [4]. Kolejną czynnością jest określenie kodu siły zewnętrznej, a także podanie łącznego czasu przerwy w pracy. Ważnym elementem podczas analizy metodą OWAS jest siła zewnętrzna, jakiej pracownik musi użyć do wykonania poszczególnych czynności. Sklasyfikowanie kategorii siły jest zależne od płci pracownika [5]. Na rys. 10 w rubryce *Obciążenia zewnętrzne*, podano wartości dla mężczyzn. Jednym z ostatnich kroków jest wyznaczenie kategorii obciążenia wg diagramu [5]. Z diagramu możemy odczytać kod pozycji przybieranej przez pracownika. Kod ustalany jest na podstawie 4 czynników ujętych w metodzie OWAS tj.: pozycja pleców, położenie nóg, i ramion oraz obciążenie zewnętrzne. Odczytana z diagramu wartość tworzy kategorie oceny. Z kategorii oceny wynikają niezbędne kategorie działań KD odnoszące się do poprawy warunków pracy na ocenianym stanowisku [1]. Poszczególne kategorie działań przedstawione zostały w tabeli 3.

Tab. 2. Kategorie obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego [1]

Kategoria działań (KD)	Działania w zakresie poprawy warunków pracy
1	Pozycje przyjmowane podczas pracy są naturalne. Obciążenie jest optymalne lub akceptowalne. Nie ma potrzeby dokonywania zmian na stanowisku.
2	Pozycje przyjmowane podczas pracy mogą wpływać niekorzystnie na układ mięśniowo-szkieletowy. Obciążenie jest prawie akceptowalne. Nie ma natychmiastowej potrzeby dokonywania zmian na stanowisku, ale należy zrobić to w przyszłości.
3	Pozycje przyjmowane podczas pracy wpływają ujemnie na układ mięśniowo-szkieletowy. Obciążenie jest duże. Zmiany na stanowisku muszą zostać przeprowadzone jak najszybciej.
4	Pozycje przyjmowane podczas pracy mają bardzo negatywny wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy. Obciążenie jest bardzo duże. Zmiany na stanowisku muszą być przeprowadzone natychmiast

Tab. 3. Interpretacja wyników oceny OWAS [1]

Obciążenie	Pozycja ciała przy pracy wg kategorii OWAS	Czas trwania jednej pozycji - % zmiany roboczej
Małe	Pozycja niewymuszona kategorii 1	do 70
	Pozycja wymuszona kategorii 1 lub niewymuszona kategorii 2	do 50
	Pozycja wymuszona kategorii 2	do 30
Średnie	Pozycja niewymuszona kategorii 1	powyżej 70
	Pozycja wymuszona kategorii 1 lub niewymuszona kategorii 2	50 - 70
	Pozycja wymuszona kategorii 2	30 - 50
	Pozycja wymuszona kategorii 3 lub 4	do 30
Duże	Pozycja wymuszona kategorii 1 lub niewymuszona kategorii 2	powyżej 70
	Pozycja wymuszona kategorii 2	powyżej 50
	Pozycja wymuszona kategorii 3 lub 4	powyżej 30






Finalnym krokiem oceny dyskomfortu według metody OWAS jest ujęcie czynnika czasowego tj. częstości powtarzania oraz czasu trwania konkretnej czynności. Uwzględnienie czasu utrzymywania poszczególnych pozycji ujęto w tabeli 3. W metodzie OWAS ryzyko wystąpienia obciążeń przedstawione jest w trójstopniowej skali.

4.1. Wyliczenie MSD dla lidera – lakiernika proszkowego

Głównym zadaniem lakiernika proszkowego w opisywanej malarni proszkowej jest domalowywanie malowanych detali. Lakiernik dokonuje tej czynności stojąc w kabinie lakierniczej, jest to czynność powtarzalna i zajmuje ona większość czasu pracy lakiernika w odniesieniu do 8-godzinnej zmiany roboczej. W pozostałej części dnia pracy lakiernik wykonuje inne czynności wchodzące w skład jego obowiązków. Czynności te zostały opisane w punkcie 3.1. i nie są uwzględnione w ocenie dyskomfortu.

Interpretując wyniki można stwierdzić, że podstawowym zajęciem lakiernika proszkowego jest domalowanie wyrobów w kabinie lakierniczej. Czynność ta stanowi 80 % czasu pracy lakiernika. Czynność domalowania, jako jedyna charakteryzuje się dużym obciążeniem układu mięśniowo-szkieletowego pracownika. Oznacza to konieczność interwencji dążącej do zredukowania występującego zagrożenia. Jednym ze sposobów zmniejszenia obciążenia pracownika jest zaangażowanie innych pracowników lakierni do wykonywania prac lakierniczych. W przypadku wprowadzenia wymienności obowiązków np. z pracownikiem, który ściąga detale z linii, występowałaby obopólna korzyść wynikająca z redukcji pracy monotonnej.

Tab. 4. Chronometraż działań na stanowisku lidera – lakiernika proszkowego

Lp.	Czynność	Ilustracja czynności [11]	Średni czas trwania czynności [s]	Czas trwania czynności [%]
1	Wejście na podest kabiny lakierniczej	 7	3	6
2	Sięgnięcie po pistolet	 1	2	4
3	Domalowanie wyrobów	 2	40	80
4	Odłożenie pistoletu	 1	2	4
5	Zejście z podestu kabiny lakierniczej	 7	3	6
Razem			50	100

Tab.5. Przyporządkowanie czynności poszczególnym kategoriom wg OWAS wraz z obciążeniem

Lp.	Czynność	Kod pozycji ciała				KD	Rodzaj czynności	Obciążenie
		Plecy	Ramiona	Nogi	Obciążenie			
1	Wejście na podest kabiny lakierniczej	1	1	7	1	1	Niewymuszona	Małe
2	Sięgnięcie po pistolet	1	1	2	1	1	Wymuszona	Małe
3	Domalowanie	1	2	2	1	1	Wymuszona	Duże
4	Odłożenie pistoletu	1	1	2	1	1	Wymuszona	Małe
5	Zejście z podestu kabiny lakierniczej	1	1	7	1	1	Niewymuszona	Małe

4.2. Wyliczenie MSD dla pracowników zawieszających

Podstawową czynnością pracowników jest umieszczanie wyrobów na linii malarskiej. Praca ta zajmuje większość czasu pracowników, pozostałe czynności takie jak odstawienie pustego pojemnika za pomocą ręcznego wózka paletowego czy też podstawienie nowego pojemnika nie są brane pod uwagę ze względu na częste wykonywanie ich przez pracowników innych działów.

Tab. 6. Chronometraż działań na stanowisku zawieszającego

Lp.	Czynność	Ilustracja czynności [11]	Średni czas trwania czynności [s]	Czas trwania czynności [%]
1.	Pobranie wyrobu z pojemnika	 4	2	33
2.	Zawieszenie	 1	4	67
Razem			6	100

Tab. 7. Przyporządkowanie czynności poszczególnym kategoriom wg OWAS wraz z obciążeniem




Lp.	Czynność	Kod pozycji ciała				KD	Rodzaj czynności	Obciążenie
		Plecy	Ramiona	Nogi	Obciążenie			
1	Pobranie wyrobu z pojemnika	4	1	2	1	2	Wymuszona	Średnie
2	Zawieszenie	2	1	2	1	2	Wymuszona	Duże

Podsumowując można stwierdzić, że u pracowników zawieszających największe zagrożenie wystąpienia MSD związane jest z czynnością zawieszania. Wynika to z samej charakterystyki wykonywanych obowiązków, które są długotrwałe oraz monotonne. Można podobnie jak w przypadku lidera wprowadzić zmienność zadań. Ponadto, warto zaingerować w organizację pracy. Pojemniki, z których pobierane są detale nie posiadają otwieranych burt. Zmusza to pracownika - mimo korzystania z wózków podnośnikowych - do sięgania po wyroby poprzez wysoką burtę pojemnika, co znacznie utrudnia pracę. W przypadku burty z możliwością jej zdjęcia, pracownicy mogliby przyjmować bardziej naturalne pozycje podczas pracy. Dodatkowo wprowadzenie cyklicznych przerw lub wypełnienie ich inną mniej obciążającą pracą z pewnością zredukowałoby poziom obciążenia.

4.3. Wyliczenie MSD dla pracownika ściąającego wyroby

Głównym zadaniem pracownika ściąającego wyroby jest zdjęcie ich z linii malarskiej oraz umieszczenie ich w pojemniku odkładczym. Pracownik, aby zniwelować konieczność schylania się, podobnie jak pracownicy zawieszający korzysta z paletowego wózka nożycowego. Pracownik samodzielnie odwozi pełne pojemniki w wyznaczone miejsce za pomocą elektrycznego wózka paletowego.

Tab. 8. Chronometraż działań na stanowisku ściąającego

Lp.	Czynność	Ilustracja czynności [11]	Średni czas trwania czynności [s]	Czas trwania czynności [%]
1	Zdjęcie wyrobu z linii malarskiej	 1	4	15
2	Umieszczenie wyrobu w pojemniku	 2	2	8
3	Wywiezienie pełnego pojemnika	 7	20	77
Razem			26	100

Tab. 9. Przyporządkowanie czynności poszczególnym kategoriom wg OWAS wraz z obciążeniem

Lp.	Czynność	Kod pozycji ciała				KD	Rodzaj czynności	Obciążenie
		Plecy	Ramiona	Nogi	Obciążenie			
1	Zdjęcie wyrobu z linii malarskiej	1	1	2	1	1	Wymuszona	Małe
2	Umieszczenie wyrobu w pojemniku	2	1	2	1	2	Wymuszona	Małe
3	Wywiezienie pełnego pojemnika	1	1	7	1	1	Niewymuszona	Średnie

Na podstawie przytoczonych wyników można stwierdzić, że stanowisko ściąającego charakteryzuje się najmniejszym obciążeniem szkieletowo-mięśniowym spośród wszystkich stanowisk pracy występujących na przedstawianej malarni proszkowej. Jediną sytuacją, w której występuje średnie obciążenie jest transport pełnego pojemnika w miejsce odkładcze. Wynika to z długiego czasu

wykonywanej czynności. Zmniejszenie dystansu pomiędzy stanowiskiem ściągającego a miejscem odkładczym powinno zredukować ryzyko MSD.

5. Zakończenie

Malarnia proszkowa, jako środowisko pracy łączy w sobie wiele czynników, które mogą oddziaływać szkodliwie lub powodować pewne uciążliwości podczas wykonywania pracy. Dodatkowym czynnikiem negatywnie wpływającym na pracowników jest charakter pełnionych obowiązków. Wszelkie podstawowe czynności wykonywane na malarni proszkowej, muszą odbywać się w określonym tempie oraz z dużą powtarzalnością. Taka praca prowadzi do zjawiska monotonii, co z kolei skutkuje większym prawdopodobieństwem odczuwania zmęczenia oraz znużenia podczas pracy. Należy także pamiętać, że prace monotonne, wykonywane wielokrotnie w ten sam sposób mogą prowadzić do nadmiernego obciążania określonych grup mięśniowych. Obserwuje się wówczas występowanie ryzyka mięśniowo-szkieletowego dyskomfortu, które zostało scharakteryzowane oraz ocenione za pomocą metody OWAS. Z przeprowadzonych badań wynika, że wśród wielu czynników wciąż najbardziej istotny wpływ na zdrowie oraz samopoczucie pracownika ma monotony charakter pracy. Takie zagrożenia jak prawdopodobieństwo wybuchu czy też porażenia prądem, choć cechują się dużymi skutkami potencjalnego zdarzenia, w praktyce zdarzają się niezwykle rzadko. Warunki pracy na malarni proszkowej oceniono, jako względnie bezpieczne. Należy jednak zwrócić szczególną uwagę na zniwelowanie ryzyka wystąpienia monotonii oraz utrzymanie wszelkich pozostałych potencjalnych zagrożeń na możliwie najniższym poziomie.

Literatura

1. KORADECKA D., *Bezpieczeństwo i higiena pracy*. Centralny Instytut Ochrony Pracy Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa 2008.
2. LASOTA M. A., *Obciążanie układu mięśniowo-szkieletowego operatorów w procesie produkcji części samochodowych* [w:] Zeszyty Naukowe WSZOP 1(10), Katowice 2014.
3. <http://archiwum.ciop.pl/15847.html> [18.02.2015].
4. <http://archiwum.ciop.pl/41933> [17.02.2015].
5. http://mfiles.pl/pl/index.php/Warunki_pracy [19.02.2015].
6. <http://opole.pip.gov.pl/pl/f/v/7147/Koszty%20wypadkow.pdf> [02.02.2015].
7. <http://www.edaxsystems.pl/page.php?idd=22&ida=2> [15.01.2015].
8. <http://www.euroimpianti.com/systems/modular-systems/euro-90/> [15.01.2015].

9. http://www.governica.com/Risk_score [19.02.2015].
10. <http://www.malowanie-proszkowe.org/technologie/malowanie-proszkowe-stosowana-technologie.html> [15.01.2015].
11. <http://www.ortopedia.net/pl/pliki/cuts.pdf> [16.01.2015].

ANALIZA BEZPIECZEŃSTWA SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ W ASPEKTCIE AWARYJNOŚCI SIECI WODOCIĄGOWEJ

Waldemar Uździcki, Ewa Ogiółda, Ireneusz Nowogoński, Bartosz Dębicki,
Remigiusz Aksentowicz

1. Wstęp

Systemy zaopatrzenia w wodę są systemami technicznymi złożonymi z kilku podsystemów: ujęcie, zakład uzdatniania, pompownia, sieć wodociągowa magistralna i rozdzielcza oraz zbiorniki wodociągowe. Systemy te projektowane są przy założeniu wieloletniej eksploatacji, a następnie eksploatowane w zmiennych warunkach wewnętrznych i zewnętrznych [7].

Zgodnie z Ustawą z dnia 7 czerwca 2001 roku o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków, przedsiębiorstwo wodociągowo-kanalizacyjne ma obowiązek zapewnić zdolność posiadanych urządzeń wodociągowych i urządzeń kanalizacyjnych do realizacji dostaw wody w wymaganej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem oraz dostaw wody i odprowadzania ścieków w sposób ciągły i niezawodny, a także zapewnić należyłą jakość dostarczanej wody i odprowadzanych ścieków.

Na każdym etapie dostawy wody mogą wystąpić inne rodzaje zagrożeń. Mogą być to zagrożenia związane z zanieczyszczeniem wody, problemy z ciśnieniem, czy przerwy w dostawie wody. Przykładem zawodności systemu zaopatrzenia w wodę są awarie sieci wodociągowej.

2. Charakterystyka awarii sieci wodociągowych

Przyczyny uszkodzeń przewodów wodociągowych wyznacza się indywidualnie dla określonego systemu rozprowadzania wody. Na uszkodzenia mają wpływ różnorodne czynniki oddziałujące na przewody, a także błędy popełniane na różnych etapach funkcjonowania systemu [1]:

- przy projektowaniu (błędy w obliczeniach hydraulicznych, statycznych, dynamicznych i termicznych),
- w trakcie wykonawstwa (nieprawidłowe ułożenie przewodów, brak bloków oporowych, nieprawidłowe wykonanie złącz, brak izolacji, nieprawidłowo wykonana kompensacja itd.),

- podczas eksploatacji (nieodpowiednia strategia remontowa i konserwacyjna, zużycie techniczne elementów, zmęczenie materiału, błędy ludzkie).

Szacuje się, że przyczyną około 80% awarii jest wiek przewodów, a wśród pozostałych czynników proporcje kształtują się następująco: błędy wynikające z przyczyn eksploatacyjnych stanowią od 40 do 60%, niestaranne wykonawstwo od 20 do 40% i błędy popełnione w na etapie projektowania od 10 do 30% [6].

Przyczyny uszkodzeń przewodów sieci wodociągowej mogą być pochodzenia fizycznego i chemicznego [1]. Przyczyny fizyczne dzieli się na:

- pochodzenia geologicznego (podmycie podparć przewodów przez wody gruntowe, przesuw gruntu pod przewodem, osiadanie gruntu),
- pochodzenia konstrukcyjno-eksploatacyjnego (uderzenie hydrauliczne, nieoczekiwany zanik pracy pompy, niewłaściwe uszczelnienie połączeń, wady materiałowe i konstrukcyjne przewodów, niewłaściwa konserwacja armatury, obciążenie dynamiczne przewodów, przeciążenie wieloletnią eksploatacją),
- nieprawidłowe wykonanie robót ziemnych w sąsiedztwie przewodów wodociągowych,
- pochodzenia żywiolowego (ruchy ziemi, gwałtowna zmiana warunków atmosferycznych).

Przyczynami chemicznymi uszkodzeń przewodów mogą być:

- korozja przewodu pochodzenia gruntowego,
- korozja pochodzenia elektrochemicznego (prądy błędzące),
- korozja przewodu wywołana złą jakością wody wodociągowej (korozja równomierna, korozja punktowa, korozja lokalna).

Uszkodzenia armatury są powodowane przez:

- pęknięcia,
- uszkodzenie połączeń,
- nieszczelność połączenia,
- wady materiałowe,
- złe wykonawstwo i eksploatacja.

Awarie sieci wodociągowych można klasyfikować w różny sposób, zależnie od przyjętych kryteriów. Jednym z nich może być lokalizacja uszkodzeń - wyróżnia się uszkodzenia przyłączy wodociągowych wraz z armaturą, awarie na przewodach rozdzielczych i sieci magistralnej. Spośród wymienionych najniekorzystniejsze, ze względu na duże wycieki wody i trudności związane z usunięciem uszkodzenia, są awarie przewodów magistralnych [2].

Awarie wodociągowe mogą mieć charakter nagły z dużym wpływem wody lub stopniowy z niewielkim wpływem wody w fazie początkowej. Awarie nagłe powstają pod wpływem istotnych zmian cech wytrzymałościowych materiału, a awarie stopniowe powoli na skutek nieodwracalnych zmian materiałowych wskutek wyeksploatowania [3, 9].

Awarie można także klasyfikować w zależności od czasu potrzebnego na ich usunięcie. Wyróżnia się awarie małe – trwające do 2 godzin i awarie duże, których czas usunięcia wynosi od 2 do 24 godzin. Małe awarie dotyczą wymiany i naprawy armatury wodociągowej, a duże związane są z wyciekami wody w wyniku uszkodzenia przewodów. Na szybkość usunięcia awarii wpływ mają takie czynniki jak: czas potrzebny na zlokalizowanie wycieku, pokrycie terenu, średnica i materiał uszkodzonego przewodu, warunki meteorologiczne i pora wystąpienia awarii [2, 10].

Stan techniczny przewodów charakteryzuje wskaźnik awaryjności, który opisuje liczbę uszkodzeń na kilometr sieci w ciągu roku [1]. Wskaźnik λ oblicza się na podstawie poniższego wzoru [9]:

$$\lambda = \frac{L_a}{D} \quad (1)$$

gdzie: λ - wskaźnik awaryjności [uszk./km·rok],
 L_a - liczba awarii w ciągu roku [uszk./rok],
 D - długość sieci [km].

Na podstawie badań przeprowadzonych na sieciach wodociągowych o łącznej długości około 68300 km [4, 5], Piechurski określił następujące wartości wskaźników:

- dla przewodów magistralnych – $\lambda=0,16$ uszk./km rok,
- dla przewodów rozdzielczych – $\lambda=0,46$ uszk./km rok,
- dla przyłączy wodociągowych – $\lambda=0,70$ uszk./km rok.

Wskaźnik awaryjności charakteryzuje stan techniczny przewodów, a duża intensywność uszkodzeń świadczy o konieczności wymiany danego odcinka.

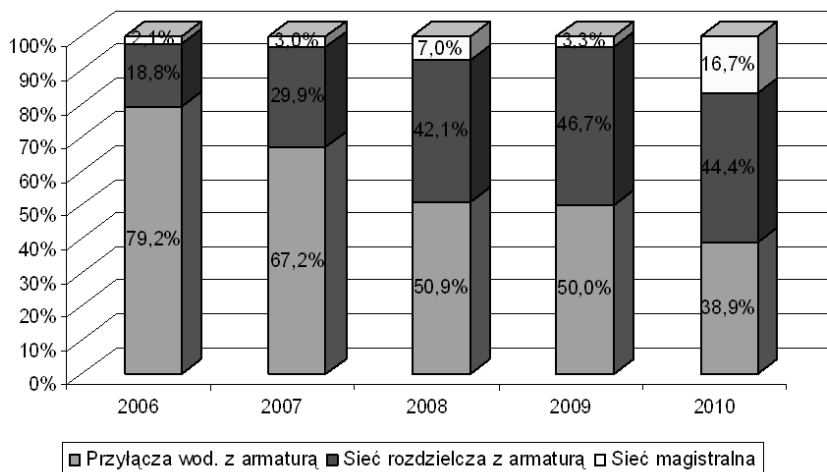
3. Analiza awarii w systemie wodociągowym w Nowej Soli

3.1. Charakterystyka systemu

Analizowany system wodociągowy zlokalizowany jest w Nowej Soli – jest to miasto będące stolicą powiatu, położone w województwie lubuskim, nad rzeką Odrą. System zaopatrza w wodę mieszkańców miasta i okolicznych wsi, łącznie około 42 tysięcy mieszkańców. Miejska sieć wodociągowa to sieć o układzie mieszanym pierścieniowo – promienistym, zróżnicowana zarówno pod względem średnic, jak i materiałów rurociągów. W rozpatrywanym okresie przewody magistralne wykonane były z żeliwa o zakresie średnic od 225 do 400 mm, a łączna ich długość stanowiła 18,3 km, przewody rozdzielcze o średnicach od 80 do 150 mm, łącznej długości 83 km, w wykonane były z żeliwa, stali, PE i PVC. Sieć wodociągowa w 40% składa się z przewodów eksploatowanych powyżej 50 lat oraz 2% powyżej 100 lat.

3.2. Awarie sieci wodociągowej

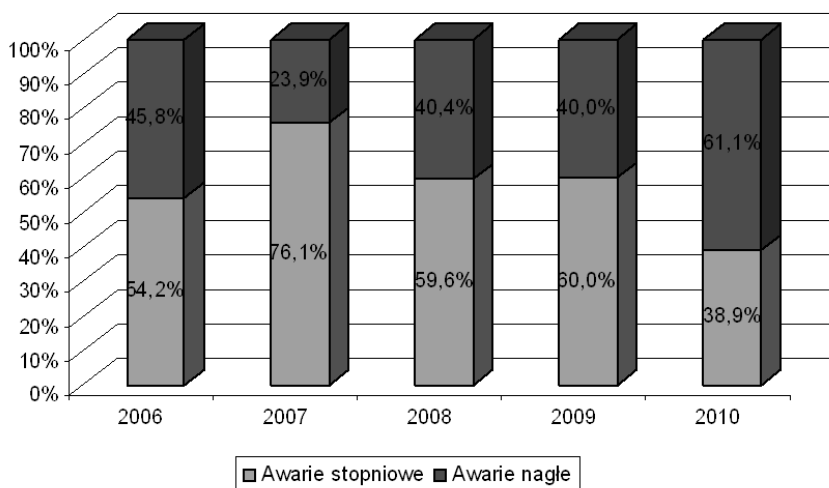
Analizie poddano dane dotyczące awarii sieci wodociągowej zaistniałych w ciągu 5 lat eksploatacji. Podzielono je, w zależności od lokalizacji, na awarie przyłączy wodociągowych wraz z armaturą, uszkodzenia sieci rozdzielczej z armaturą sieciową i uszkodzenia przewodów sieci magistralnej. Na rysunku 1 przedstawiono proporcje awarii zaistniałych w różnych punktach sieci w poszczególnych latach.



Rys. 1. Procentowy udział awarii w zależności od ich lokalizacji

W kolejnych latach następował spadek liczby uszkodzeń przyłączy wodociągowych w stosunku do przewodów sieciowych, a w ostatnim roku nastąpił znaczny wzrost awarii na przewodach magistralnych (16,7% ogólnej liczby awarii). Większość uszkodzonych przewodów sieci rozdzielczej i magistralnej były to przewody żeliwne i stalowe o różnych średnicach, eksploatowane powyżej 50 lat. Niepokojący wzrost liczby awarii dotyczący sieci rozdzielczej i magistralnej świadczy o pogarszającym się stanie eksploatowanej sieci wodociągowej.

W dalszej analizie awarie wodociągowe podzielono ze względu na charakter wpływu wody na awarie nagłe i stopniowe. Do awarii nagłych zaliczono wycieki wody z przewodów wodociągowych, które były niemożliwe do przewidzenia przez Miejski Zakład Gospodarki Komunalnej. Do awarii stopniowych zaliczono awarie z niewielkim wyciekem lub brakiem wycieku, czyli awarie armatury przyłączy wodociągowych i armatury sieciowej oraz awarie dotyczące jakości i ciśnienia wody. Proporcje między awariami stopniowymi i o charakterze nagłym w poszczególnych latach analizy przedstawiono na rysunku 2.



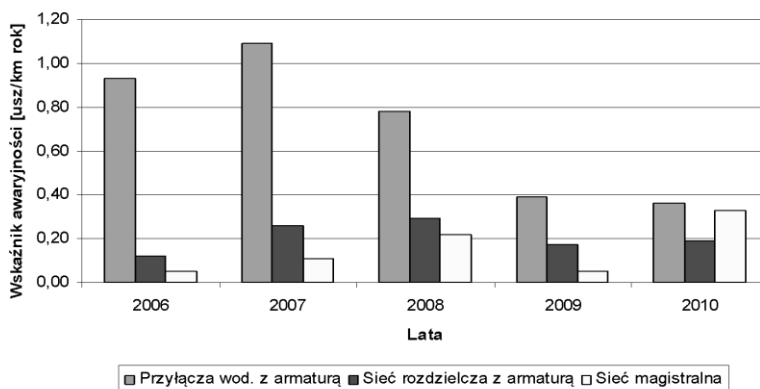
Rys. 2. Procentowy udział awarii nagłych i stopniowych

W analizowanym przedziale czasu tendencję wzrostową wykazuje udział awarii o charakterze nagłym, czego konsekwencją mogą być także znaczne straty wody w sieci.

Dokonano także obliczeń wskaźnika awaryjności sieci, do których zastosowano wzór podany w p. 2. Uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 1 i na rysunku 3, a wartości określono w poszczególnych latach analizy w zależności od lokalizacji awarii.

Dla całej sieci wodociągowej wartość wskaźnika wynosi:

- 2006 r. $\lambda = 0,35$ uszk./km-rok,
- 2007 r. $\lambda = 0,49$ uszk./km-rok,
- 2008 r. $\lambda = 0,41$ uszk./km-rok,
- 2009 r. $\lambda = 0,21$ uszk./km-rok,
- 2010 r. $\lambda = 0,26$ uszk./km-rok.



Rys. 3. Wskaźnik awaryjności sieci wodociągowej miasta Nowa Sól

Tabela 1. Wskaźniki awaryjności sieci w zależności od lokalizacji awarii

Rok	Rodzaj sieci	Długość sieci [km]	Liczba awarii	Wskaźnik awaryjności λ [uszk./km·rok]
2006	Przyłącza wod. z armaturą	40,67	38	0,93
	Sieć rozdzielcza z armaturą	78,10	9	0,12
	Sieć magistralna	18,30	1	0,05
2007	Przyłącza wod. z armaturą	41,15	45	1,09
	Sieć rozdzielcza z armaturą	78,10	20	0,26
	Sieć magistralna	18,30	2	0,11
2008	Przyłącza wod. z armaturą	37,03	29	0,78
	Sieć rozdzielcza z armaturą	82,50	24	0,29
	Sieć magistralna	18,30	4	0,22
2009	Przyłącza wod. z armaturą	38,91	15	0,39
	Sieć rozdzielcza z armaturą	83,00	14	0,17
	Sieć magistralna	18,30	1	0,05
2010	Przyłącza wod. z armaturą	38,91	14	0,36
	Sieć rozdzielcza z armaturą	83,00	16	0,19
	Sieć magistralna	18,30	6	0,33

Z analizy wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń zauważyć można zmniejszającą się awaryjność przyłączy wodociągowych, w mniejszym stopniu zmieniał się poziom awarii sieci rozdzielczej, natomiast tendencję wzrostową wykazuje wskaźnik obliczony dla przewodów magistralnych.

W przeprowadzonej analizie uwzględniono także awarie małe, trwające do 2 godzin i duże. Szczegółowe dane dotyczące ostatniego roku analizowanego okresu zamieszczono w tabeli 2.

Liczba małych awarii w analizowanym roku wyniosła 17, a awarii dużych 19. Średni czas usunięcia małych awarii to 1,2 godziny, a w przypadku awarii dużych było to 6,1 godziny. W całym systemie średni czas usunięcia awarii wyniósł 4,4 godziny.

Z odnotowanych przyczyn awarii wynika, że głównymi przyczynami uszkodzeń przewodów wodociągowych były:

- wiek rurociągów,
- parametry hydrauliczne rurociągu (głównie prędkość przepływu),
- korozyjne działanie wody (jakość wody),

- nagła zmiana warunków atmosferycznych,
- wady materiałowe rurociągu.

Tabela 2. Czas usunięcia awarii w poszczególnych miesiącach 2010 r.

Miesiąc	Liczba małych awarii	Liczba dużych awarii	Średni czas usunięcia małych awarii	Średni czas usunięcia dużych awarii
Styczeń	0	2	0,0	6,0
Luty	0	1	0,0	12,0
Marzec	1	1	1,0	4,0
Kwiecień	1	3	1,0	4,3
Maj	2	3	1,0	7,0
Czerwiec	0	2	0,0	5,0
Lipiec	1	0	2,0	0,0
Sierpień	3	2	1,3	2,6
Wrzesień	6	1	1,1	8,0
Październik	1	2	1,5	3,0
Listopad	1	1	2,0	8,0
Grudzień	1	1	1,0	7,0

Określono także przyczyny uszkodzeń rurociągów z poszczególnych materiałów. Wśród przyczyn uszkodzeń przewodów żeliwnych stwierdzono:

- wiek rurociągów,
- nagłą zmianę warunków atmosferycznych,
- pęknięcia rur na skutek oddziaływania ciężkiego sprzętu (pęknięcia podłużne, rzadziej poprzeczne).

Przyczynami uszkodzeń przewodów stalowych były:

- korozja wewnętrzna,
- korozja zewnętrzna (wpływ środowiska glebowego).

W rozpatrywanym okresie największy udział w awariach miały wycieki wody (47% ogólnej liczby awarii) i niesprawną armaturą przyłączy wodociągowych (30% ogólnej liczby awarii). Najczęściej awarie odnotowywano na przewodach żeliwnych (74%) i stalowych (głównie przyłącza).

4. Podsumowanie i wnioski

Analizę przeprowadzono w oparciu o wyniki obserwacji awarii w trakcie 5 lat eksploatacji sieci wodociągowej w Nowej Soli. Wykazano stopniowy wzrost liczby awarii na rurociągach magistralnych w porównaniu z przyłączami i przewodami rozdzielczymi oraz awarii o charakterze nagłym w odniesieniu do awarii o charakterze stopniowym. Najwięcej uszkodzeń magistrali nastąpiło w ostatnim roku obserwacji. Wskaźnik awaryjności sieci λ dla nowosolskiego systemu wodociągowego zawarty jest, w porównaniu z wynikami uzyskanymi przez innych autorów, w zakresie akceptowalnym.

Wśród przyczyn pośrednich wpływających na uszkodzenia rurociągów zauważono wpływ okresu eksploatacji przewodów. Tak długa eksploatacja przewodów powoduje przekroczenie optymalnych kosztów eksploatacyjnych w związku z wzrastającą awaryjnością tych przewodów. Wiek materiału wpływa również na stopień inkrustacji, powstanie osadów półtwardych i twardych, które przy zmianie prędkości lub kierunku przepływu wody zostają zerwane. Uzyskane wyniki i sformułowane na ich podstawie wnioski wskazują potrzebę przeprowadzenia wymiany wyeksploatowanych przewodów.

Bibliografia

1. KWIETNIEWSKI M., ROMAN M., KŁOSS – TRĘBACZKIEWICZ H., *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*, Warszawa 1993.
2. DENCZEW S., KRÓLIKOWSKI A., *Podstawy nowoczesnej eksploatacji układów wodociagowych i kanalizacyjnych*. Arkady, Warszawa 2002.
3. KWIETNIEWSKI M., RAK J., *Niezawodność infrastruktury wodociagowej i kanalizacyjnej w Polsce*. Wyd. PAN, Warszawa 2010.
4. PIECHURSKI F., *Ograniczanie strat wody w systemach wodociagowych część II*, *Wodociągi kanalizacja*, nr 10[80]/2010, 40-43.
5. PIECHURSKI F., *Ograniczanie strat wody w systemach wodociagowych część I*. *Wodociągi kanalizacja*, nr 9[79]/2010, 36-39.
6. RAK J., *Bezpieczeństwo i niezawodność systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę*, *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, s. 146-169
7. RAK J., *Wybrane zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę*, Rzeszów 2008.
8. SPERUDA S., *Kontrola wycieków a czas eksploatacji przewodów*. *Wodociągi Kanalizacja*, 7-8 [77-78]/2010, 32-33.
9. WIECZYSTY A., *Niezawodność miejskich systemów zaopatrzenia w wodę*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Monografia 159, Kraków 1993.
10. ŻUCHOWICKI A., FEOFANOV Y., *Współczesne trendy w dziedzinie eksploatacji sieci wodociagowych i kanalizacyjnych*, Wyd. Politechniki Koszalińskiej 2006.

INŻYNIERIA

CZĘŚĆ II

WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ SYSTEMU TECHNOLOGICZNO-PNEUMATYCZNEGO

Remigiusz Aksentowicz, Waldemar Uździcki

1. Wstęp

Polska jako kraj członkowski jest zobligowana do wprowadzenia wydolnego systemu racjonalizacji zużycia energii na poziomie budynku oraz infrastruktury technicznej znajdującej się w nim. Obowiązujące parametry uwzględniane w procesie powstawania obiektu budowlanego wraz z infrastrukturą techniczną, nie są wystarczające z punktu widzenia osiągnięcia zadowalających efektów energetycznych [2, 3].

Zgodnie z dyrektywą [8] i zastępującą ją dyrektywą [9] oraz ustawą [11] w Unii Europejskiej oraz w Polsce istnieje potrzeba poprawy efektywności wykorzystania energii przez użytkowników końcowych. Ustawa obejmuje również obszar wytwarzania i przesyłu ciepła, paliw i energii elektrycznej [7]. Według ustawy [11] pojęcia dotyczące efektywności energetycznej określane są jako:

a) energia pierwotna EP – energia zawarta w pierwotnych nośnikach energii, pozyskiwanych bezpośrednio ze środowiska, w szczególności: węgla kamiennym energetycznym (łącznie z węglem odzyskanym z hałd), węgla kamiennym koksowym, węgla brunatnym, ropy naftowej (łącznie z gazoliną), gazie ziemnym wysokometanowym (łącznie z gazem odmetanowania kopalń węgla kamiennego), gazie ziemnym zaazotowanym, torfie do celów opałowych oraz energię: wody, wiatru, słoneczną, geotermalną – wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej, ciepła lub chłodu, a także biomasę w rozumieniu art. 2 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. z 2006r. nr 169, poz. 1199, z późniejszymi zmianami).

b) efektywność energetyczna – stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, niezbędnej do uzyskania tego efektu;

c) audyt efektywności energetycznej – opracowanie zawierające analizę zużycia energii oraz określające stan techniczny obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, zawierające wykaz przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej tych obiektów, urządzeń lub instalacji, a także ocenę ich opłacalności ekonomicznej i możliwej do uzyskania oszczędności energii;

d) przedsięwzięcie służące poprawie efektywności energetycznej – działanie polegające na wprowadzeniu zmian lub usprawnień w obiekcie, urządzeniu technicznym lub instalacji, w wyniku których uzyskuje się oszczędność energii;

e) oszczędność energii – ilość energii stanowiąca różnicę między energią potencjalnie zużytą przez obiekt, urządzenie techniczne lub instalację w danym

okresie przed zrealizowaniem jednego lub kilku przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej a energią zużytą przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację w takim samym okresie, po zrealizowaniu tych przedsięwzięć i uwzględnieniu znormalizowanych warunków wpływających na zużycie energii.

Według innej definicji, efektywność energetyczna [6] jest to obniżenie zużycia energii pierwotnej, mające miejsce na etapie zmiany napięć, przesyłu, dystrybucji lub zużycia końcowego energii, spowodowane zmianami technologicznymi, zmianami zachowań i/lub zmianami ekonomicznymi, zapewniające taki sam lub wyższy poziom komfortu lub usług. Rozwiązania zwiększające efektywność końcowego zużycia energii powodują obniżenie zużycia zarówno energii pobieranej przez użytkowników końcowych, jak i energii pierwotnej [5].

Ustawa ustala krajowy cel w zakresie oszczędnego gospodarowania energią, w szczególności krajowy plan dotyczący efektywności energetycznej zawierający opis planowanych programów poprawy efektywności energetycznej określających działania mające na celu poprawę efektywności energetycznej oraz opis planowanych przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej w poszczególnych sektorach gospodarki, niezbędnych dla realizacji krajowego celu w zakresie oszczędnego gospodarowania energią.

Potwierdzeniem deklarowanej oszczędności energii wynikającej z przedsięwzięcia lub przedsięwzięć tego samego rodzaju służących poprawie efektywności energetycznej jest świadectwo efektywności energetycznej. Podmiot, który otrzymał świadectwo efektywności energetycznej, jest obowiązany po zrealizowaniu przedsięwzięcia służącego poprawie efektywności energetycznej do sporządzenia audytu efektywności energetycznej potwierdzającego oszczędność energii uzyskaną w wyniku realizacji tego przedsięwzięcia.

Ustawa o efektywności energetycznej dokonuje w zakresie swojej regulacji wdrożenia dyrektywy 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylającej dyrektywę Rady 93/76/EWG (Dz. Urz. UE L 114 z 27.04.2006, str. 64). Ustawa zmienia ustawy: ustawę z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane, ustawę z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne, ustawę z dnia 26 października 2000 r. o giełdach towarowych, ustawę z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska, ustawę z dnia 29 czerwca 2007 r. o zasadach pokrywania kosztów powstałych u wytwórców w związku z przedterminowym rozwiązaniem umów długoterminowych sprzedaży mocy i energii elektrycznej oraz ustawę z dnia 29 października 2010 r. o rezerwach strategicznych.

Według wspomnianej wcześniej dyrektywy 2006/32/WE, która straciła moc 5 czerwca 2014r. poprawa efektywności wykorzystania energii przez odbiorców końcowych przyczyni się również do zmniejszenia zużycia energii pierwotnej oraz do zmniejszenia emisji CO₂ i innych gazów cieplarnianych i tym samym do zapobiegania niebezpiecznym zmianom klimatycznym. W celu umożliwienia użytkownikom końcowym podejmowania decyzji dotyczących ich indywidualnego zużycia energii, w oparciu o pełniejszą wiedzę, powinni oni otrzymywać odpowiednią ilość danych o tym zużyciu oraz inne istotne informacje, takie jak informacje o dostępnych środkach poprawy efektywności energetycznej, porównanie

profilu użytkowników końcowych oraz obiektywne specyfikacje techniczne sprzętu zużywającego energię. Wszystkie rodzaje informacji odnoszące się do efektywności energetycznej powinny być szeroko rozpowszechniane wśród odbiorców końcowych w odpowiedniej formie.

Dyrektywa podaje również orientacyjną listę przykładów kwalifikujących się środków poprawy efektywności energetycznej, dla sektora przemysłowego należą m.in.:

- a) procesy produkcji – bardziej efektywne wykorzystanie instalacji przemysłowych;
- b) silniki i napędy – stosowanie elektronicznych urządzeń kontrolnych, napędy bezstopniowe, zintegrowane programowanie użytkowe, zmiana częstotliwości, silniki elektryczne o dużej efektywności;
- c) wentylatory – np. nowe bardziej efektywne urządzenia/systemy.

Istnieją jeszcze inne wielosektorowe środki dotyczące efektywności energetycznej, do których należą systemy oznakowania efektywności energetycznej, inteligentne systemy pomiarowe czy kampanie informacyjne na rzecz promowania poprawy efektywności energetycznej i środków jej służących [4].

2. Efektywność energetyczna pneumatycznej instalacji odciągowej

W celu określenia wskaźników efektywności energetycznej pneumatycznej instalacji odciągowej należy najpierw określić energochłonność eksploatacyjną instalacji.

Pokaźne nakłady energetyczne związane z eksploatacją pneumatycznych instalacji odciągowych są konsekwencją przepływu znacznego strumienia objętości czynnika gazowego. Powietrze jest przetłaczane z prędkością kilkunastu metrów na sekundę na odległości nawet kilkudziesięciu metrów. Straty przepływu w sieci przewodów łącznie z oporami przepływu w węźle odpylającym decydują o wysokim zużyciu energii elektrycznej. Ponośzone nakłady są dodatkowo podwyższane przez zapotrzebowanie na ciepło w sezonie grzewczym. Przy określaniu wielkości nakładów energetycznych uwzględnia się tylko tę część zużycia energii elektrycznej i ciepła, która jest przeznaczona na dostarczenie do hali i ogrzewanie mas powietrza stanowiącego różnicę pomiędzy ilością powietrza będącego w obiegu wentylacji ogólnej i ilością powietrza usuwanego z hali instalacją odciągową [1].

Na energochłonność eksploatacyjną składa się: zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silnika wentylatora odciągowego, do napędu silnika wentylatora nawiewnego (jeżeli występuje), zużycie ciepła przez grzejnik uzupełniający straty ciepła wywołane eksploatacją instalacji.

Roczne zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silnika wentylatora instalacji odciągowej oblicza się ze wzoru:

$$E_{el,s} = \frac{\dot{V}_w \Delta p_w}{1000 \eta_w \eta_p} \cdot t_{uz} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (1)$$

gdzie:

- \dot{V}_w - strumień objętości powietrza wywiewanego w jednostce czasu, [m^3/s];
- Δp_w - ciśnienie całkowite wentylatora wyciągowego, [Pa];
- η_w - sprawność wentylatora;
- η_p - sprawność przekładni pasowej;
- t_{uz} - czas użytkowania instalacji w ciągu roku, [h/rok].

Roczne zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silnika wentylatora nawiewnego oblicza się ze wzoru:

$$E_{el,sn} = \frac{\dot{V}_{nk} \Delta p_n}{1000 \eta_w \eta_p} \cdot t_{uz} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (2)$$

gdzie:

- \dot{V}_{nk} - strumień objętości powietrza nawiewu kompensacyjnego, [m^3/s];
- Δp_n - ciśnienie całkowite wentylatora nawiewnego, [Pa];
- η_w - sprawność wentylatora;
- η_p - sprawność przekładni pasowej;
- t_{uz} - czas użytkowania instalacji w ciągu roku, [h/rok].

Strumień objętości powietrza nawiewu kompensacyjnego do hali określany jest z zależności [Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.]:

$$\dot{V}_{nk} = \dot{V}_w - \dot{V}_{no} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3)$$

gdzie:

- \dot{V}_{nk} - strumień objętości powietrza nawiewu kompensacyjnego, [m^3/s];
- \dot{V}_w - strumień objętości powietrza wywiewanego w jednostce czasu (równy wydajności wentylatora), [m^3/s];
- \dot{V}_{no} - strumień objętości powietrza w nawiewie ogólnym, [m^3/s].

Roczne zapotrzebowanie na ciepło użytkowe potrzebne do ogrzania powietrza nawiewu kompensacyjnego w okresie grzewczym:

$$Q_{gu} = \dot{V}_{nk} \cdot \rho_p \cdot c_p \cdot \Delta t \cdot t_a \quad [\text{kWh/rok}] \quad (4)$$

gdzie:

- ρ_p - gęstość powietrza, [kg/m^3];
- c_p - ciepło właściwe powietrza, [kJ/kgK];

Δt – różnica temperatur powietrza wewnętrznego i średniej temperatury powietrza w sezonie grzewczym, [K];

t_a – liczba godzin w sezonie grzewczym w ciągu roku, [h/rok];

Roczne zapotrzebowanie na ciepło końcowe potrzebne do ogrzania powietrza nawiewu kompensacyjnego w okresie grzewczym:

$$Q_g = \frac{Q_{gu}}{\eta_{H,tot}} \text{ [kWh/rok]} \quad (5)$$

gdzie:

$\eta_{H,tot}$ – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu ogrzewania powietrza nawiewu kompensacyjnego w okresie grzewczym, wyznaczana wg [10].

Roczne zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silników obrabiarek:

$$E_{el,sobr} = \frac{N}{\eta} \cdot t_{uz} \text{ [kWh/rok]} \quad (6)$$

gdzie:

N – moc znamionowa urządzeń (silników obrabiarek), [kW];

η – sprawność urządzeń;

t_{uz} – czas pracy obrabiarek w ciągu roku, [h/rok].

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną przez system STP:

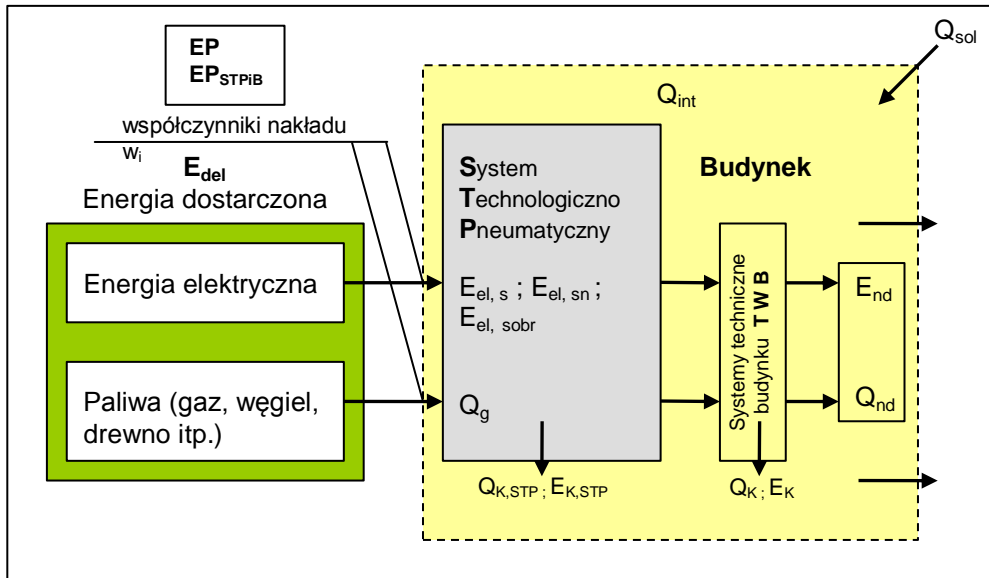
$$Q_{pSTP} = w_{el} \cdot (E_{el,s} + E_{el,sn} + E_{el,sobr}) + w_H \cdot Q_g \text{ [kWh/rok]} \quad (7)$$

gdzie:

w_{el} – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii końcowej, w_{el} dotyczy energii elektrycznej i wynosi $w_{el} = 3,0$;

w_H – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii końcowej, w_H dotyczy ciepła dla ogrzewania, zależy od rodzaju źródła ciepła i jest przyjmowany wg [10].

Na rys. 1 przedstawiono proponowaną metodę bilansowania energii w budynkach mechanicznej obróbki drewna.



Rys. 1. Zasada bilansowania energii w budynkach mechanicznej obróbki drewna (opracowanie własne)

gdzie:

Q_{sol} – zyski ciepła od słońca, [kWh/m-c];

Q_{tr} – straty ciepła przez przegrody, [kWh/m-c];

Q_{ve} – straty ciepła dla powietrza wentylacyjnego, [kWh/m-c];

Q_{int} – wewnętrzne zyski ciepła, [kWh/m-c];

Q_{nd} , E_{nd} – roczne zapotrzebowanie na ciepło/energię użytkową, [kWh/rok];

Q_K , E_K – roczne zapotrzebowanie na ciepło/energię końcową, [kWh/rok];

$Q_{K,STP}$, $E_{K,STP}$ – roczne zapotrzebowanie na ciepło/energię końcową przez system STP, [kWh/rok];

EP – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza w hali przemysłowej, [kWh/m²rok];

EP_{STPiB} – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza w hali przemysłowej wraz z obrabiarkami i podłączoną do nich instalacją odciągową (STP), [kWh/m²rok];

E_{del} – energia dostarczona, w przeliczeniu na energię pierwotną [kWh/rok] lub jako wskaźnik jednostkowy energii pierwotnej [kWh/m²rok].

Bilans systemu STP:

1) Roczne zapotrzebowanie na ciepło/energię użytkową przez system STP:

$$Q_{nd,STP} = Q_{gu} = V_{nk} \cdot \rho_p \cdot c_p \cdot \Delta t \cdot t_a \quad [\text{kWh/rok}] \quad (8)$$

$$E_{nd,STP} = E_{K,STP} = E_{el,s} + E_{el,sn} + E_{el,sobr} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (9)$$

2) Roczne zapotrzebowanie na ciepło/energię końcową przez system STP:

$$Q_{K,STP} = Q_g = \frac{Q_{gu}}{\eta_{H,tot}} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (10)$$

$$E_{K,STP} = E_{el,s} + E_{el,sn} + E_{el,sobr} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (11)$$

3) Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną przez system STP:

$$\begin{aligned} Q_{P,STP} &= w_{el} \cdot E_{K,STP} + w_H \cdot Q_{K,STP} = \\ &= w_{el} \cdot (E_{el,s} + E_{el,sn} + E_{el,sobr}) + w_H \cdot Q_g \end{aligned} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (12)$$

2.1. Koszty budowy instalacji (inwestycyjne)

Niezależnie od aspektów energetycznych należy przeprowadzić analizę całkowitych kosztów budowy instalacji.

Koszty inwestycyjne są sumą poszczególnych elementów, które wchodzi w skład pneumatycznej instalacji odciągowej:

$$K_{INST} = k_{IR} + k_{IW} + k_{IO} + k_{IZO} + k_{IZaO} + k_{IPCz} + k_{IDPZ} + k_{IBezp} + k_{IAuto} \quad [\text{zł}] \quad (13)$$

gdzie:

K_{INST} – koszty inwestycyjne pneumatycznej instalacji odciągowej, [zł];

k_{IR} – koszty inwestycyjne rurociągów, [zł];

k_{IW} – koszty inwestycyjne wentylatora, [zł];

k_{IO} – koszty inwestycyjne odpylacza, [zł];

k_{IZO} – koszty inwestycyjne zbiornika odpadów, [zł];

k_{IZaO} – koszty inwestycyjne zasuw odcinających, [zł];

k_{IPCz} – koszty inwestycyjne przetwornicy częstotliwości, [zł];

k_{IDPZ} – koszty inwestycyjne związane z doprowadzeniem dodatkowego powietrza z zewnątrz hali do zbiornika wyrównawczego, [zł];

k_{IBezp} – koszty inwestycyjne zastosowanych zabezpieczeń przeciwpożarowych i przeciwwybuchowych, [zł];

k_{IAuto} – koszty inwestycyjne zastosowanych systemów sterowniczych, [zł].

W warunkach gospodarki rynkowej nawet wykonanie szczegółowego kosztorysu z obmiarem robót nie prowadzi do uzyskania realnej wartości końcowej rzeczywistych kosztów.

Na podstawie obliczenia kosztów inwestycyjnych można określić jednostkowy koszt inwestycyjny [1]:

$$K_{Ij} = \frac{K_{INST}}{\dot{V}} \left[\frac{zł}{m^3 / s} \right] \quad (14)$$

gdzie:

K_{Ij} – jednostkowy koszt inwestycyjny;

K_{INST} – koszty inwestycyjne instalacji lub systemu pneumatycznego odwiórowania, [zł];

\dot{V} – strumień objętości powietrza, [m³/s].

2.2. Koszty eksploatacyjne instalacji

Koszty eksploatacyjne pneumatycznej instalacji odciągowej są to koszty w skład których wchodzi:

- koszty energii elektrycznej zużywanej przez silnik wentylatora instalacji odciągowej,
- koszty energii potrzebnej do nawiewu powietrza uzupełniającego bilans powietrza w hali,
- koszty dogrzewania powietrza kompensacyjnego doprowadzanego do hali w okresie zimowym,
- koszty pracy odpylacza.

Znaczną część energii elektrycznej zużywanej w zakładzie mechanicznej obróbki drewna pochłania wentylator instalacji odciągowej.

Koszty pracy instalacji można opisać przy pomocy równania:

$$K_{EINST} = k_{EW} + k_{EN} + k_{ED} + k_{EO} [zł / rok] \quad (15)$$

gdzie:

K_{EINST} – koszty eksploatacji pneumatycznej instalacji odciągowej, [zł/rok];

k_{EW} – koszty napędu silnika wentylatora odciągowego, [zł/rok];

k_{EN} – koszty nawiewu powietrza do hali, [zł/rok];

k_{ED} – średnioroczne koszty dogrzewania powietrza nawiewanego w okresie grzewczym, [zł/rok];

k_{EO} – koszty eksploatacji odpylacza, [zł/rok].

Koszt pracy wentylatora jest proporcjonalny do czasu pracy i mocy czynnej silnika. Energia potrzebna do nawiewu powietrza uzupełniającego bilans w hali, a w okresie zimowym również do jego dogrzania jest zależna od czasu pracy i wydajności wentylatora.

W przypadku pneumatycznej instalacji odciągowej wszystkie wartości określone są jako niezmiennie w czasie pracy przy założeniu równoczesnej pracy wszystkich obrabiarek.

W przypadku zastosowania przetwornicy częstotliwości wszystkie składniki równania kosztów są zmienne w czasie. Od ilości pracujących obrabiarek zależna jest ilość energii zużywanej do napędu wentylatora, ilość powietrza wywiewanego,

nawiewanego, oczyszczonego i dogrzewanego. Koszty pracy instalacji wyposażonej w przetwornicę częstotliwości można opisać przy pomocy równania:

$$K_{EESPO}(t) = k_{EW}(t) + k_{EN}(t) + k_{ED}(t) + k_{EO}(t) [\text{zł} / \text{rok}] \quad (16)$$

gdzie:

K_{EESPO} – koszty eksploatacji elastycznych systemów pneumatycznego odwiórowania, zł/rok;

Porównanie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych różnego typu odpylaczy przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne odpylaczy

Rodzaj odpylacza	Wskaźnik porównawczy	
	Koszty inwestycyjne	Koszty eksploatacyjne
Cyklony	0,7 – 3,5	1,0
Multicyklony	2,0 – 5,0	1,0 – 3,0
Odpylacze tkaninowe	10,0 – 20,0	15,0

Źródło: [1]

2. Wskaźniki efektywności energetycznej i ekonomicznej

Do oceny efektywności pneumatycznej instalacji odciągowej przyjęto następujące wskaźniki:

- wskaźniki efektywności energetycznej pneumatycznej instalacji odciągowej,
- wskaźnik efektywności ekonomicznej pneumatycznej instalacji odciągowej.

Wskaźnik EP jest to roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza w hali przemysłowej, wyrażony w kWh/m²rok, obliczany zgodnie z rozporządzeniem [10]:

$$EP = \frac{Q_p}{A_f} \quad [\text{kWh}/\text{m}^2\text{rok}] \quad (17)$$

gdzie:

Q_p – roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla ogrzewania i wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz napędu urządzeń pomocniczych, [kWh/rok];

A_f – powierzchnia ogrzewana (o regulowanej temperaturze) budynku, [m²].

Wskaźnik EP budynku z STP – jest to roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza w hali przemysłowej wraz z obrabiarkami i podłączoną do nich instalacją odciągową (STP), wyrażony w kWh/m²rok:

$$EP_{STPiB} = \frac{Q_p + Q_{pSTP}}{A_f} \quad [\text{kWh/m}^2\text{rok}] \quad (18)$$

gdzie:

Q_p – roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla ogrzewania i wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz napędu urządzeń pomocniczych, [kWh/rok];

Q_{pSTP} – roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną przez system STP, [kWh/rok];

A_f – powierzchnia ogrzewana (o regulowanej temperaturze) budynku, [m²].

Wskaźnik EK_A jest to roczne zapotrzebowanie energii końcowej zużywanej przez STP na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza w hali przemysłowej, wyrażony w kWh/m²rok:

$$EK_A = \frac{E_{el,s} + E_{el,sn} + E_{el,sobr} + Q_g}{A_f} \quad [\text{kWh/m}^2\text{rok}] \quad (19)$$

gdzie:

$E_{el,s}$ – zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silnika wentylatora instalacji odciągowej, [kWh/rok];

$E_{el,sn}$ – zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silnika wentylatora nawiewnego, [kWh/rok];

$E_{el,sobr}$ – zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silników obrabiarek, [kWh/rok];

Q_g – roczne zapotrzebowanie na energię końcową potrzebną do ogrzania powietrza nawiewu kompensacyjnego w okresie grzewczym, [kWh/rok];

A_f – powierzchnia ogrzewana (o regulowanej temperaturze) budynku, [m²].

Wskaźnik EK_{STP} jest to roczne zapotrzebowanie energii końcowej zużywanej przez STP do strumienia objętości powietrza \dot{V} w ciągu roku, wyrażony w Wh/m³:

$$EK_{STP} = \frac{E_{el,s} + E_{el,sn} + E_{el,sobr} + Q_g}{\dot{V}} \quad [\text{kWh/m}^3] \quad (20)$$

gdzie:

$E_{el,s}$ – zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silnika wentylatora instalacji odciągowej, [kWh/rok];

$E_{el,sn}$ – zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silnika wentylatora nawiewnego, [kWh/rok];

$E_{el,sobr}$ – zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silników obrabiarek, [kWh/rok];

Q_g – roczne zapotrzebowanie na energię końcową potrzebną do ogrzania powietrza nawiewu kompensacyjnego w okresie grzewczym, [kWh/rok];

\dot{V} – strumień objętości powietrza, [m³/rok].

Wskaźnik efektywności energetycznej STP odniesiony do zużycia energii na m³ odciąganego powietrza.

Definicja wskaźnika efektywności energetycznej STP E_{STP} formułowana jest jako stosunek rocznego zapotrzebowania energii pierwotnej Q_{pSTP} do strumienia objętości powietrza \dot{V} w ciągu roku i wyrażona jest wzorem:

$$E_{STP} = \frac{Q_{pSTP}}{\dot{V}} \quad [\text{kWh/m}^3] \quad (21)$$

gdzie:

Q_{pSTP} – roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla STP, [kWh/rok];

\dot{V} – strumień objętości powietrza, [m³/rok].

Określenie wskaźnika efektywności energetycznej E_{STP} może być pomocne w przewidywaniu skutków energetycznych pracy pneumatycznej instalacji odciągowej.

Wskaźnik efektywności energetycznej STP odniesiony do powierzchni użytkowej hali:

Kolejnym zaproponowanym wskaźnikiem efektywności energetycznej jest wskaźnik odniesiony do powierzchni użytkowej budynku przemysłowego E_{STPiB} , w którym znajdują się instalacja i formułowany jest jako stosunek rocznego zapotrzebowania energii pierwotnej Q_{pSTP} do powierzchni użytkowej budynku przemysłowego A_f i wyrażany jest wzorem:

$$E_{STPiB} = \frac{Q_{pSTP}}{A_f} \quad [\text{kWh/m}^2\text{rok}] \quad (22)$$

gdzie:

Q_{pSTP} – roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla STP, [kWh/rok];

A_f – powierzchnia użytkowa (ogrzewana) budynku przemysłowego, [m²].

Wskaźnik efektywności energetycznej STP $E_{V,STPiB}$ odniesiony do kubatury budynku (hali):

$$E_{V,STPiB} = \frac{Q_{pSTP}}{V} \quad [\text{kWh/m}^3\text{rok}] \quad (23)$$

gdzie:

Q_{pSTP} – roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla STP, [kWh/rok];

V – kubatura budynku, [m³].

Wskaźnik E – stosunek zapotrzebowania energii pierwotnej zużywanej przez STP w budynku do zapotrzebowania energii pierwotnej budynku.

$$E = \frac{E_{STPiB}}{EP} \quad (24)$$

Wskaźnik U_{el} – udział energii elektrycznej niezbędnej do działania w stosunku do zapotrzebowania energii pierwotnej:

$$U_{el} = \frac{E_{el,s}}{Q_{pSTP}} \cdot 100 [\%] \quad (25)$$

gdzie:

$E_{el,s}$ – zapotrzebowanie energii elektrycznej do napędu silnika wentylatora instalacji odciągowej, [kWh/rok];

Q_{pSTP} – roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla STP, [kWh/rok].

Wskaźnik efektywności ekonomicznej K_{EEKON} pneumatycznej instalacji odciągowej określa się wzorem:

$$K_{EEKON} = \frac{K_{IINST} + K_E}{\dot{V} \cdot T} [\text{zł} / \text{m}^3] \quad (26)$$

gdzie:

K_{EEKON} – wskaźnik efektywności ekonomicznej instalacji, [zł/m³];

K_{IINST} – koszty inwestycyjne pneumatycznej instalacji odciągowej, [zł];

K_E – koszty eksploatacji pneumatycznej instalacji odciągowej lub elastycznych systemów pneumatycznego odwiórowania, [zł/rok];

\dot{V} – strumień objętości powietrza, [m³/h];

T – liczba godzin pracy instalacji w ciągu roku, [h/rok].

Bibliografia

1. DOLNY S., *Transport pneumatyczny i odpylanie w przemyśle drzewnym*, Akademia Rolnicza, Poznań 1999.
2. GAJ H., *Efektywność wykorzystania energii*, Energia i Budynek, 2007, nr 7, s. 46-51.
3. JĘDRAL W., *Efektywność energetyczna w Polsce*, Rynek instalacyjny, 2012, nr 4, s. 34-36.
4. ŁOKIETEK T., TUCHOWSKI W., *Klasy efektywności energetycznej urządzeń chłodniczych, klimatyzacyjnych i pomp ciepła*, Chłodnictwo, 2011, nr 12, s. 4-12.

5. SKOCZKOWSKI T., *Rola KAPE S.A. we wspieraniu poprawy efektywności energetycznej u przemysłowych odbiorców energii*. Materiały III Konferencji „Efektywność energetyczna. Niższe koszty energii w przemyśle”, Warszawa, listopad 2008, Ministerstwo Gospodarki.
6. SKOCZKOWSKI T., *Wprowadzenie do efektywności energetycznej*, KAPE, Warszawa 2009r.
7. SZCZUCHOWIAK E., *Efektywność energetyczna w zaopatrzeniu budynków w ciepło*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2012, nr 43/1, s. 15-21.
8. Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5.04.2006r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG.
9. Dyrektywa 2012/27/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25.10.2012r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylecia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE.
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury „w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej” z dnia 6.11.2008r.
11. Ustawa o efektywności energetycznej z dnia 15.04.2011r. Dziennik Ustaw Nr 94. Poz. 551.

BADANIA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ SYSTEMU TECHNOLOGICZNO-PNEUMATYCZNEGO

Remigiusz Aksentowicz, Ewa Ogiółda

1. Wstęp

Do usuwania odpadów powstających w trakcie mechanicznej obróbki drewna stosowane są pneumatyczne instalacje odciągowe określane również jako instalacje pneumatycznego odwiórowania lub instalacje odpylania obrabiarek – w zależności od tego do jakiego rodzaju odpadów są przeznaczone.

Służą one do wyłapywania i zbierania rozdrobnionych odpadów, głównie wiórów i pyłów powstających przy mechanicznej obróbce drewna jak również transportu mieszaniny pyłowo – powietrznej do odpylacza. Warunkiem efektywnej pracy takiej instalacji jest uzyskanie poboru powietrza poszczególnymi ssawami zgodnie z założeniami projektowymi.

Podstawowa klasyfikacja instalacji transportu pneumatycznego przyjmuje za kryterium podziału sposób wzajemnego powiązania głównych elementów składowych. W związku z tym wyróżnia się [7]:

- instalacje ssące (podciśnieniowe);
- instalacje tłoczące (nadciśnieniowe);
- instalacje ssąco – tłoczące.

Innym kryterium klasyfikacji pneumatycznych instalacji odciągowych jest sposób doprowadzenia odgałęzień bocznych do przewodu zbiorczego. Wyróżnia się dwa układy instalacji:

- układ magistralny;
- układ kolektorowy.

Układ magistralny charakteryzuje się kolejnym podłączaniem odgałęzień bocznych do przewodu zbiorczego – magistrali. W związku z dopływem nowych objętości powietrza, średnica przewodu zbiorczego zwiększa się stopniowo. Instalacje magistralne projektowane są dla określonego rodzaju obrabiarek lub urządzeń produkcyjnych, które w czasie pracy powodują powstawanie odpadów zaliczanych do tej samej grupy rodzajowej. Wprowadzanie zmian adaptacyjnych w trakcie eksploatacji instalacji wykonanej w tym układzie możliwe jest jedynie w bardzo ograniczonym zakresie. Zmiany te nie mogą naruszać założonego w projekcie natężenia przepływu powietrza w magistrali i w odgałęzieniach bocznych.

W układzie kolektorowym przewody odgałęzień bocznych doprowadza się do kolektora umiejscowionego centralnie w stosunku do wszystkich punktów poboru powietrza. Od każdej obrabiarki prowadzi się kanał transportowy bezpośrednio do kolektora, w którym następuje łączenie powietrza pobieranego wszystkimi ssawami

w jeden strumień prowadzony wspólnym kanałem do wentylatora. Zaletą tego układu jest możliwość wprowadzania dowolnych zmian w rozmieszczeniu wyposażenia technicznego (obrabiarek i urządzeń), podłączonego do wspólnej instalacji odciągowej bez naruszania przebiegu głównych kanałów transportowych. W tym układzie łatwe jest również uzyskanie stanu równowagi spadków ciśnienia we wszystkich odgałęzieniach bocznych, gwarantującego właściwy rozkład powietrza pobieranego poszczególnymi ssawami. W układzie kolektorowym możliwe jest sekcyjne działanie instalacji dzięki zastosowaniu systemu zasuw odcinających, pozwalających sterować poborem powietrza stosownie do harmonogramu pracy obrabiarek.

Zgodnie z dyrektywą [12] i zastępującą ją dyrektywą [13] oraz ustawą [14] w Unii Europejskiej oraz w Polsce istnieje potrzeba poprawy efektywności wykorzystania energii przez użytkowników końcowych.

Według ustawy [14] efektywność energetyczna jest to stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, niezbędnej do uzyskania tego efektu. Zgodnie z inną definicją efektywność energetyczna [10] jest to obniżenie zużycia energii pierwotnej, mające miejsce na etapie zmiany napięć, przesyłu, dystrybucji lub zużycia końcowego energii, spowodowane zmianami technologicznymi, zmianami zachowań i/lub zmianami ekonomicznymi, zapewniające taki sam lub wyższy poziom komfortu lub usług. Rozwiązania zwiększające efektywność końcowego zużycia energii powodują obniżenie zużycia zarówno energii pobieranej przez użytkowników końcowych, jak i energii pierwotnej [8, 9].

Energia pierwotna EP wg ustawy [14] jest to energia zawarta w pierwotnych nośnikach energii, pozyskiwanych bezpośrednio ze środowiska, w szczególności: węgla kamiennym energetycznym (łącznie z węglem odzyskanym z hałd), węgla kamiennym koksowym, węgla brunatnym, ropie naftowej (łącznie z gazoliną), gazie ziemnym wysokometanowym (łącznie z gazem odmetanowania kopalń węgla kamiennego), gazie ziemnym zaazotowanym, torfie do celów opałowych oraz energii: wody, wiatru, słoneczną, geotermalną – wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej, ciepła lub chłodu, a także biomasę w rozumieniu art. 2 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. z 2006r. nr 169, poz. 1199, z późniejszymi zmianami).

Dawno już wykazano, że branża drzewna charakteryzuje się dużą energochłonnością [1, 11], a jest to związane nie tylko z zużywaniem energii przez obrabiarki do mechanicznej obróbki drewna, ale głównym źródłem zapotrzebowania na energię są instalacje odwiórowania i odpylania niezbędne do usunięcia wiórów i pyłów z przestrzeni roboczej obrabiarek i przetransportowanie ich na zewnątrz hali oraz instalacje wentylacyjne.

W celu zmniejszenia zużycia energii przez instalacje prowadzono badania dotyczące jednoczesności pracy obrabiarek, w których stwierdzono, że chwilowe zapotrzebowanie na odwiórowanie i zużycie energii są nierównomierne w trakcie trwania zmiany roboczej i wahają się w szerokich przedziałach [3, 4, 5, 6].

Rozpatrywane były więc różne możliwości dostosowania pracy instalacji odciągowej do zmiennych procesów pracy obrabiarek do drewna. Wynikiem tych rozważań są propozycje zmian wprowadzanych w zakresie konstrukcji i sposobie eksploatacji pneumatycznych instalacji odciągowych.

Z przeprowadzonych badań, analiz i obserwacji wiadomo, że zastosowanie zmian w postaci rozwiązań technicznych wywiera wpływ na zmienne w czasie parametry eksploatacyjne instalacji [2, 6]. Jednak w dotychczasowych badaniach nie analizowano relacji między zmiennością parametrów eksploatacyjnych, a efektywnością energetyczną pneumatycznych instalacji odciągowych w warunkach eksploatacji w zależności od zastosowanego wyposażenia technicznego instalacji.

Na wielkość zużycia energii wywołanej pracą pneumatycznej instalacji odciągowej składa się:

- zużycie energii elektrycznej wywołane pracą silników wentylatorów odciągowych i nawiewnych;
- zużycie ciepła potrzebnego do podgrzania w okresie grzewczym nawiewanego powietrza kompensacyjnego do hali przemysłowej.

Praca pneumatycznej instalacji odciągowej związana jest również bezpośrednio z pracą obrabiarek do drewna, więc można przyjąć, że kolejnym składnikiem mającym wpływ na energochłonność instalacji jest zużycie energii przez silniki obrabiarek.

Badania wykazały możliwość zmniejszenia zużycia energii przez dostosowanie pracy instalacji do rzeczywistych procesów pracy obrabiarek. Wyniki badań [3] pokazują zmiany chwilowego obciążenia obrabiarek i zużycia energii w czasie zmiany roboczej. Obserwacje jednoczesności pracy obrabiarek wykazały, że chwilowe zapotrzebowanie na odwiórowanie jest mniejsze od maksymalnego, a jednoczesność pracy w warunkach rzeczywistych zmienia się w szerokich granicach. Dostosowanie odciąganego powietrza przez instalację do zmiennego obciążenia obrabiarek odbywa się przez zamykanie zasuw przewodów odciągowych przy nie pracujących obrabiarkach, czego konsekwencją są zmienne parametry eksploatacyjne pneumatycznej instalacji odciągowej. Jednym ze sposobów na zachowanie parametrów eksploatacyjnych na żądanym poziomie jest doprowadzenie powietrza uzupełniającego do kolektora instalacji oraz zastosowanie przetwornicy częstotliwości. Umożliwia to zmniejszenie zużycia energii, jak również zachowanie parametrów eksploatacyjnych na wymaganym poziomie.

W warunkach eksploatacji efektywność energetyczną pneumatycznych instalacji odciągowych można analizować w różnych ujęciach. W pierwszym uwzględnia się dopasowanie zużycia energii do zmieniających się procesów pracy obrabiarek. Jeżeli zmienia się liczba pracujących obrabiarek (różne ilości odpadów) to również zmienia się ilość odciąganego powietrza od tych obrabiarek transportującego odpady jak również nawiew powietrza rekompensującego podciśnienie (ewentualnie w sezonie grzewczym jego ogrzewanie) w hali.

W drugim ujęciu rozpatrujemy połączenie procesów technologicznych na obrabiarkach i transportu powietrza (odciąganego i nawiewanego), dlatego efektywność energetyczna pneumatycznych instalacji odciągowych jest związana

z efektywnością energetyczną obrabiarek i jest określana jako System Technologiczno – Pneumatyczny (STP).

W trzecim szerszym ujęciu uwzględnia się wpływ STP na efektywność energetyczną budynku. W tym przypadku budynek może stanowić nadsystem, w którym oprócz STP mogą występować również inne systemy technologiczne.

2. System Technologiczno – Pneumatyczny

Pneumatyczna instalacja odciągowa pełni w procesie technologicznym w zakładach mechanicznej obróbki drewna trzy zasadnicze funkcje:

- 1) Funkcja bezpośredniej obsługi obrabiarki – bez systemu odciągowego obrabiarka traci większość swoich cech użytkowych (gdy pracuje obrabiarka, pracuje również instalacja);
- 2) Funkcja transportu pneumatycznego – polega na przemieszczaniu odprowadzonego z maszyn odpadu do odpylacza lub miejsca magazynowania;
- 3) Funkcja oczyszczania powietrza – powietrze użyte do transportu jest oczyszczane w odpylaczach dla ochrony powietrza atmosferycznego lub dla potrzeby recyrkulacji powietrza ogrzanego do przestrzeni produkcyjnej (odzysk ciepła).

Dla potrzeb badań sformułowano definicję Systemu Technologiczno – Pneumatycznego (STP). System Technologiczno – Pneumatyczny jest to system, w którego skład wchodzi:

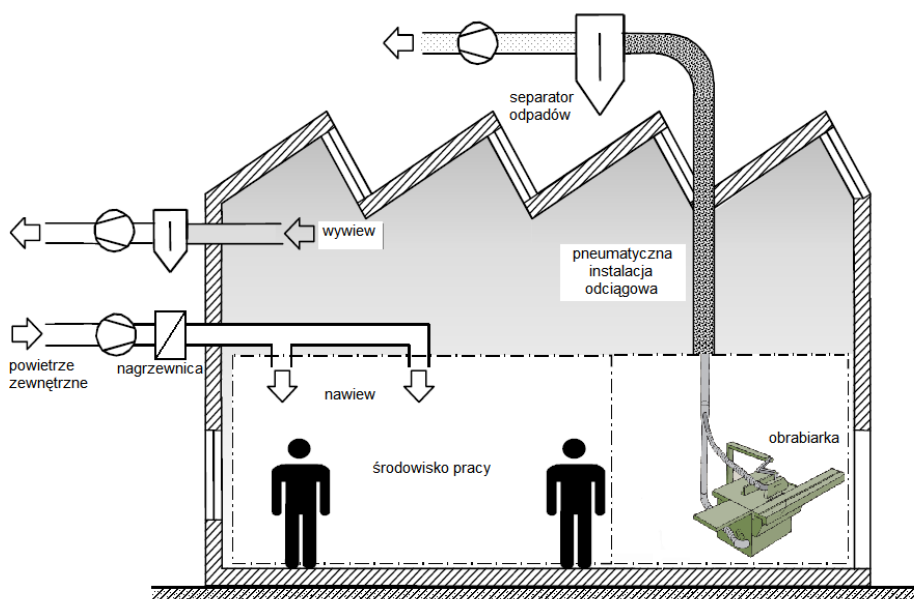
- obrabiarki do drewna;
- pneumatyczna instalacja odciągowa;
- instalacja wentylacyjna nawiewno – wywiewna (jeżeli występuje w zakładzie);
- dodatkowy grzejnik uzupełniający straty ciepła wywołane pracą instalacji.

Schemat Systemu Technologiczno – Pneumatycznego przedstawiono na rys. 1.

Pneumatyczna instalacja odciągowa podzielona jest na podsystemy:

- podsystem transportowy (ssawa, przewody odciągowe, kolektor wyrównawczy, przewód główny);
- podsystem regulacyjny (czujnik ciśnienia, siłownik na przepustnicy, przewód doprowadzający dodatkowe powietrze, przetwornica częstotliwości, układ automatycznej regulacji);
- podsystem napędowy (wentylator, silnik);
- podsystem sterujący (zasuwa odcinająca na przewodzie odciągowym);
- podsystem odpylający (cyklon, zbiornik na odpady);
- podsystem zabezpieczający (zasuwa przeciwpożarowa, kłapa dekompresyjna, instalacja gaszenia iskier, wtłoczenie gazu obojętnego, chwytacz klocków);
- podsystem pomiarowy (moduł napięciowo – prądowy, moduł pomiarowo – obliczeniowy).

Podsystemy te stosuje się w zależności od procesów pracy, wielkości instalacji, rodzaju odpadów czy stopnia automatyzacji.



Rys. 1. Schemat Systemu Technologiczno – Pneumatycznego (opracowanie własne)

Badania wykonano przeprowadzając pomiary na pneumatycznej instalacji odciągowej o układzie kolektorowym, która została zaprojektowana dla wariantu projektowego $w_p = 0,5$ co oznacza, że będzie pracować przy współczynniku jednoczesności użytkowania obrabiarek $k_u = 0,5$. Stosownie do tego dobrano średnicę przewodu głównego, wentylator i wielkość silnika wentylatora. Na przewodach odciągowych (bocznych) zamontowano ręczne zasuwy odcinające.

Ocenę efektywności energetycznej pneumatycznej instalacji odciągowej w warunkach eksploatacji zaplanowano dokonywać w oparciu o wielkości charakteryzujące w sposób szczegółowy zależności pomiędzy zmiennymi parametrami pracy instalacji, a rodzajem wyposażenia technicznego instalacji i różnym współczynnikiem jednoczesności użytkowania obrabiarek.

Badania przeprowadzono dla 4 wariantów wyposażenia technicznego instalacji:

1. Pneumatyczna instalacja odciągowa bez dodatkowego wyposażenia technicznego.
2. Pneumatyczna instalacja odciągowa wyposażona w dodatkowy przewód doprowadzający powietrze z zewnątrz hali do zbiornika wyrównawczego (kolektora) zaopatrzonego w jednopłaszczyznową przepustnicę sterowaną automatycznie.
3. Pneumatyczna instalacja odciągowa wyposażona w przetwornicę częstotliwości Hitachi J300 służącą do zmiany prędkości obrotowej silnika wentylatora.

4. Pneumatyczna instalacja odciągowa wyposażona w przetwornicę częstotliwości Hitachi J300 służącą do zmiany prędkości obrotowej silnika wentylatora oraz w dodatkowy przewód doprowadzający powietrze z zewnątrz hali do zbiornika wyrównawczego (kolektora) zaopatrzonej w jednopłaszczyznową przepustnicę sterowaną automatycznie.

W pierwszej serii przeprowadzono pomiary parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym w_0 i w otwartych przewodach odciągowych w_i dla siedmiu współczynników użytkowania obrabiarek. Do pomiarów wykorzystano układ pomiarowo-obliczeniowy, zbudowany w oparciu o komputer z kartą pomiarową DaqBoard 3000. Pomiary i obliczenia realizowano w programie DasyLab, do pomiarów jako sonda została wykorzystana rurka Prandtla, która była umieszczona w jednym przekroju pomiarowym każdego z rurociągów, w miejscach, gdzie prędkość przepływu powietrza jest w przybliżeniu równa średniej prędkości dla całego przekroju – tzn. w odległości $0,2d$ od ścianki przewodu, w płaszczyźnie oddalonej od miejsca zaburzeń w prostoliniowym przepływie strumienia powietrza co najmniej $5d$ (d – średnica rurociągu). Do kontroli i pomiaru podstawowych parametrów eksploatacyjnych w tym prędkości przepływu powietrza zastosowano mikromanometr cyfrowy firmy TESTO typu 521 współpracujący z rurką Prandtla. Zastosowano oprogramowanie ComSoft 3 przeznaczone do zapamiętywania, odczytu i analizy danych pomiarowych.

W pierwszej serii pomiary wykonano dla stałej prędkości obrotowej silnika wentylatora dla dwóch wariantów wyposażenia instalacji.

Druga seria obejmowała pomiary parametrów eksploatacyjnych w przewodzie głównym i w przewodach odciągowych z wykorzystaniem przetwornicy częstotliwości dla różnych wartości prędkości obrotowej silnika wentylatora. W drugiej serii pomiary wykonano dla dwóch kolejnych wariantów wyposażenia instalacji.

Dla zmierzonych wartości przeprowadzono obliczenia analityczne. Wynikiem obliczeń były wartości zużycia energii i ciepła oraz określenie efektywności energetycznej i wyznaczenie wskaźników efektywności energetycznej instalacji.

Na podstawie rejestracji rzeczywistych parametrów eksploatacyjnych instalacji pracujących w warunkach zmiennych można było precyzyjnie określić zużycie energii przez STP w zależności od wariantów wyposażenia technicznego instalacji.

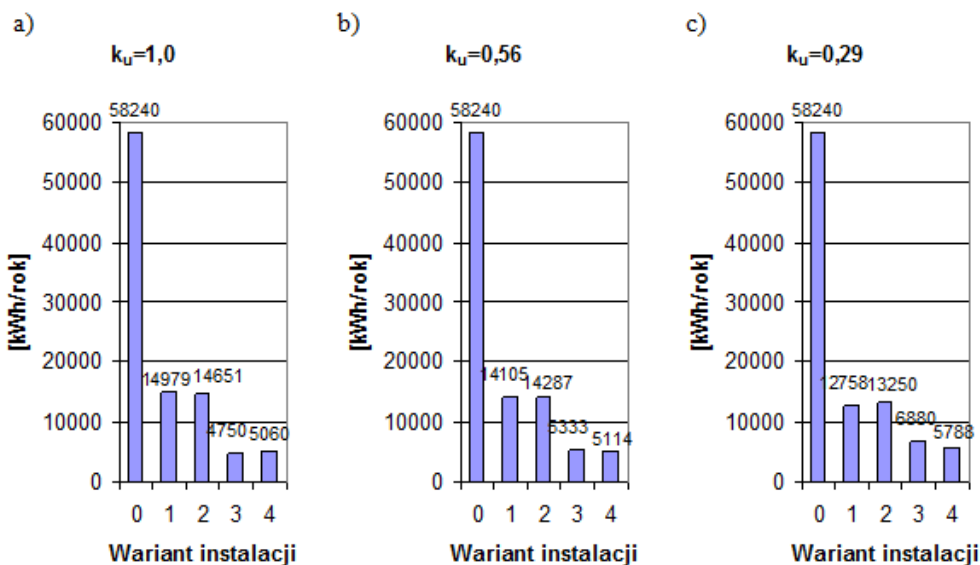
2. Wyniki badań

Na rys. od 2 do 7 dodatkowo przedstawiono wartości obliczeniowe dla wariantu 0 instalacji. Jest to wariant instalacji (charakteryzujący się największym zużyciem energii) zaprojektowany dla $w_p = 1,0$ czyli przy założeniu, że wszystkie obrabiarki pracują cały czas – wariant użytkowy $k_u = 1,0$. Wariant 0 ($w_p = 1,0$) został przedstawiony w celu bardziej wyrazistego pokazania znaczenia uwzględniania warunków zmiennych.

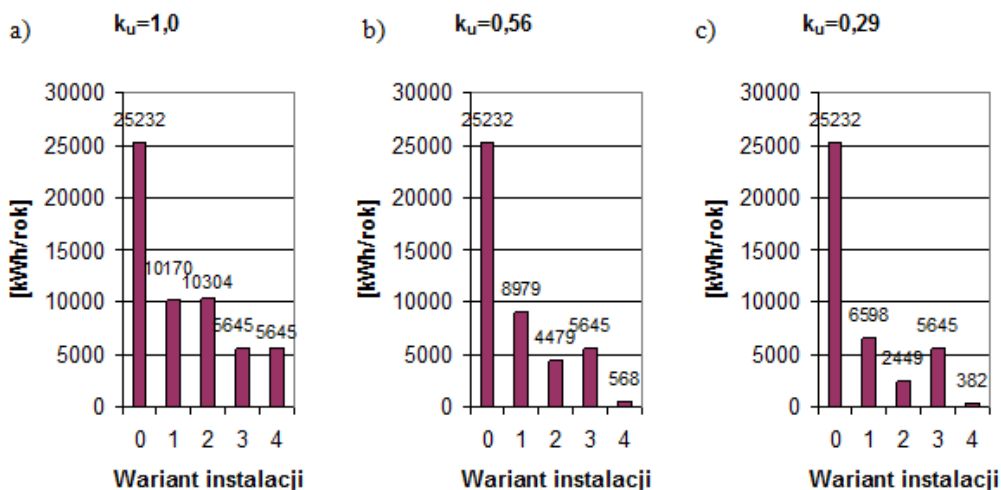
Zużycie energii przez silniki obrabiarek $E_{el,s}$ dla wariantu 1 instalacji przy $k_u = 1,0$ wynosi 25,7% zużycia energii przez silniki obrabiarek $E_{el,s}$ w stosunku do wariantu 0. Dla wariantu 3 instalacji przy $k_u = 1,0$ jest już 8,15%.

Zużycie ciepła Q_g dla wariantu 1 instalacji przy $k_u = 0,56$ wynosi 35,59% i dla wariantu 4 instalacji 2,25% zużycia ciepła Q_g w stosunku do wariantu 0.

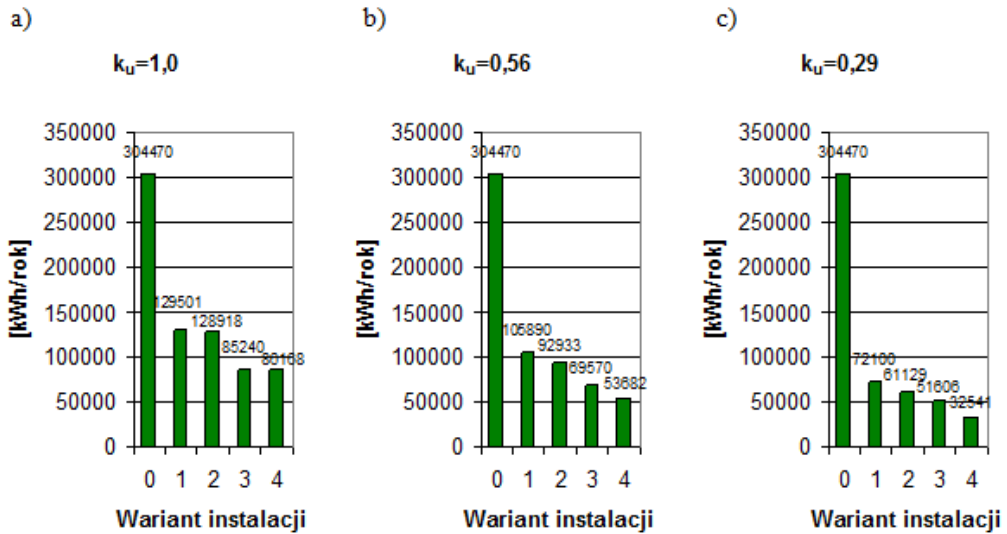
Zużycie energii dla różnych wariantów instalacji w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u przedstawiono od rys. 2 do rys. 4.



Rys. 2. Roczne zużycie energii elektrycznej przez silnik wentylatora $E_{el,s}$ w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u



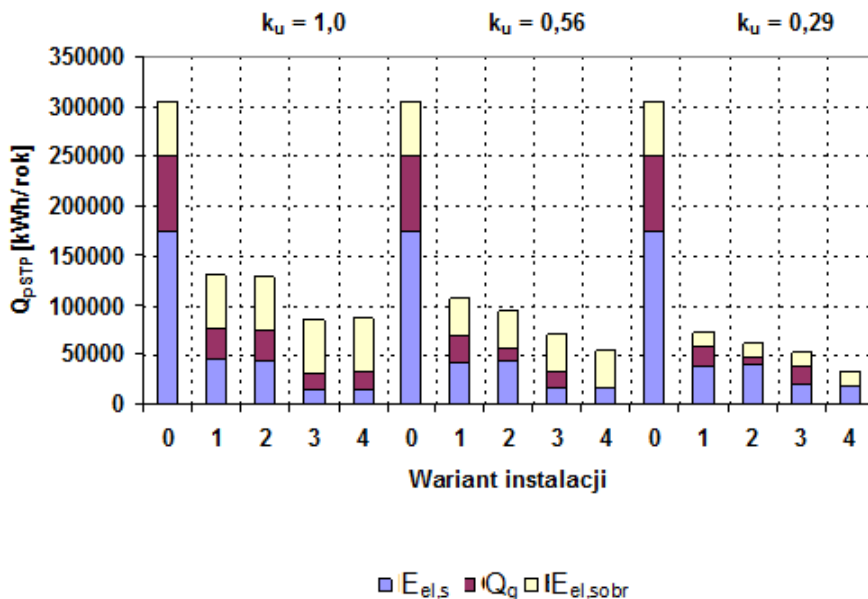
Rys. 3. Roczne zużycie ciepła Q_g w skutek eksploatacji instalacji w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u



Rys. 3. Roczne zużycie energii pierwotnej Q_{pSTP} w skutek eksploatacji instalacji w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u

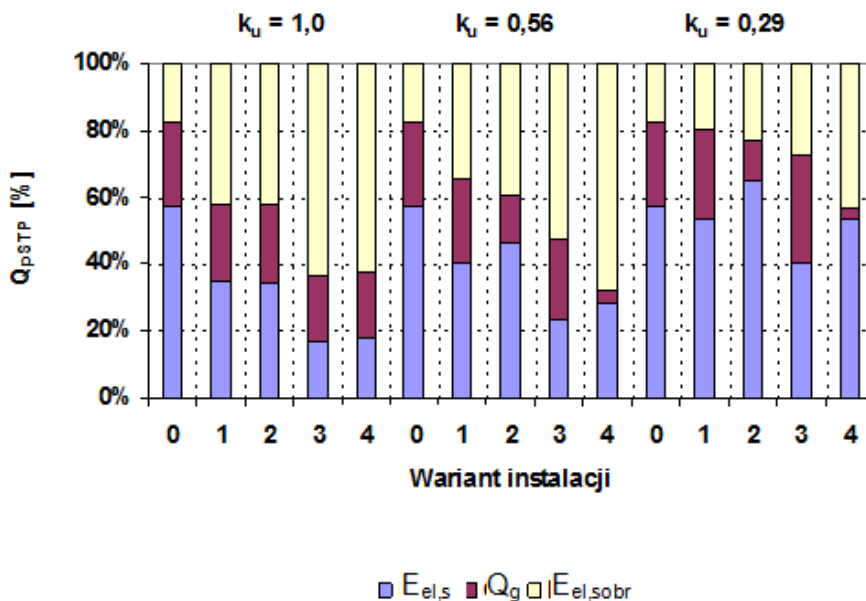
Zużycie energii pierwotnej Q_{pSTP} w ciągu roku przy współczynniku jednoczesności użytkowania $k_u = 1,0$ jest dla 4 wariantów instalacji niższe o 57% do 72% w stosunku do wariantu 0 instalacji. Analizując 4 badane warianty instalacji można wnioskować, że zastosowanie dodatkowego wyposażenia technicznego i uwzględnianie warunków zmiennych ma wpływ na zmniejszenie zużycia energii pierwotnej. Dla współczynnika jednoczesności użytkowania $k_u = 0,56$ zużycie energii pierwotnej dla instalacji z zastosowanym przewodem dodatkowym (wariant 2) jest o 12,24% mniejsze w stosunku do instalacji bez wyposażenia dodatkowego (wariant 1). Dzięki zastosowaniu przetwornicy częstotliwości zużycie energii pierwotnej dla instalacji (wariant 3) jest o 34,30% mniejsze w stosunku do instalacji bez wyposażenia dodatkowego (wariant 1), przy współczynniku jednoczesności użytkowania $k_u = 0,56$. Poprzez zastosowanie przetwornicy częstotliwości i przewodu dodatkowego (wariant 4), przy współczynniku jednoczesności użytkowania $k_u = 0,56$ zużycie energii pierwotnej dla instalacji jest o 49,30% mniejsze w stosunku do instalacji bez wyposażenia dodatkowego (wariant 1).

Na rys. 5 przedstawiono strukturę zużycia energii pierwotnej Q_{pSTP} dla różnych wariantów instalacji w zależności od współczynnika jednoczesności obrabiarek k_u .



Rys. 5. Struktura zużycia energii pierwotnej Q_{pSTP} w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u

Na rys. 6 zaprezentowano udział procentowy składników Systemu Technologiczno Pneumatycznego w zużyciu energii pierwotnej Q_{pSTP} dla różnych wariantów instalacji w zależności od współczynnika jednoczesności obrabiarek k_u .



Rys. 6. Struktura zużycia energii pierwotnej Q_{pSTP} w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u

3. Podsumowanie i wnioski

Celem przeprowadzonych badań było ustalenie zależności pomiędzy współczynnikiem jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u , a efektywnością energetyczną pneumatycznej instalacji odciągowej dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych.

Do badań wykorzystano pneumatyczną instalację odciągową o układzie kolektorowym, która była wyposażona w dodatkowe środki techniczne.

W wyniku przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- uzyskano jakościowe i ilościowe potwierdzenie danych literaturowych uzasadniające stosowanie przetwornic częstotliwości w pneumatycznych instalacjach odciągowych,
- zastosowanie przetwornicy częstotliwości w czasie eksploatacji instalacji pozwala osiągnąć nawet 83% oszczędności energii pierwotnej,
- zastosowanie przewodu dodatkowego doprowadzającego powietrze do przewodu głównego instalacji oraz jednoczesne stosowanie przetwornicy częstotliwości znacznie obniża zużycie ciepła w budynku przemysłowym – np. dla współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek $k_u = 0,56$ oszczędność ciepła wynosi aż 94%,
- zużycie energii pierwotnej przez STP dzięki zastosowaniu dodatkowego wyposażenia technicznego może być mniejsze nawet o połowę – stosowanie tych środków ma znaczny wpływ na poprawę efektywności energetycznej instalacji,
- największą efektywnością energetyczną cechuje się pneumatyczna instalacja odciągowa wyposażona w przewód dodatkowy (wariant 2) oraz w przetwornicę częstotliwości i przewód dodatkowy (wariant 4),

Wyniki przeprowadzonych badań mogą być pomocne w przewidywaniu zachowania się pneumatycznych instalacji odciągowych o układzie kolektorowym w czasie eksploatacji, dla różnych warunków projektowania i użytkowania.

Bibliografia

1. AKSENTOWICZ R., *Analiza efektywności energetycznej pneumatycznych instalacji wyciągowych*, [w:] Czajkowska-Ziobrowska D., Gwoździcka-Piotrowska M. (red.), *Współczesne nurty badawcze młodych naukowców*, Poznań 2010, s. 417-423.
2. ALMEIDAA DE ANÍBAL T., FONSECAA P., BERTOLDIB P., *Energy-efficient motor systems in the industrial and in the services sectors in the European Union: characterization, potentials, barriers and policies*, Energy, 2003, Volume 28, Issue 7.
3. ATKINSON S., *Embedded membrane creates robust filtration media*. Membrane Technology, 2003, nr 11, s. 8-10.
4. BARTKIEWICZ P., *Symulacje energetyczne w praktyce (cz. 1)*, Energia i Budynek, 2007, nr 2, s. 47-51.

5. BARTKIEWICZ P., *Symulacje energetyczne w praktyce (cz. 2)*, Energia i Budynek, 2007, nr 3, s. 23-27.
6. BEKAS J., *Efektywny system z komorą rozprężną*, Gazeta Przemysłu Drzewnego, 2012, nr 8, s.22, 26.
7. DOLNY S., *Transport pneumatyczny i odpylanie w przemyśle drzewnym*, Akademia Rolnicza, Poznań 1999.
8. SKOCZKOWSKI T., *Potencjał efektywności energetycznej gospodarki Polski i sposób jego wykorzystania*, Wiadomości Elektrotechniczne, 2007, nr 8, s. 8-12.
9. SKOCZKOWSKI T., *Rola KAPE S.A. we wspieraniu poprawy efektywności energetycznej u przemysłowych odbiorców energii*. Materiały III Konferencji „Efektywność energetyczna. Niższe koszty energii w przemyśle”, Warszawa, listopad 2008, Ministerstwo Gospodarki.
10. SKOCZKOWSKI T., *Wprowadzenie do efektywności energetycznej*, KAPE, Warszawa 2009r.
11. UŹDZICKI W., AKSENTOWICZ R., *Badania eksploatacyjne instalacji odwiórowania*, Prace z Zakresu Nauk Rolniczych i Leśnych, Poznań 2007, T. 101, s. 333-340.
12. Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5.04.2006r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG.
13. Dyrektywa 2012/27/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25.10.2012r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE.
14. Ustawa o efektywności energetycznej z dnia 15.04.2011r. Dziennik Ustaw Nr 94. Poz. 551.

BADANIE PROCESÓW PRACY MASZYN WSPÓŁPRACUJĄCYCH Z PNEUMATYCZNYMI SYSTEMAMI ODCIĄGOWYMI PRACUJĄCYMI W WARUNKACH ZMIENNYCH

Waldemar Uździcki, Ewa Ogiolda

1. Wstęp

Dyrektywy 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5.04.2006r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25.10.2012r. w sprawie efektywności energetycznej zobowiązują do ograniczania zużycia energii. Jest to realizowane poprzez politykę energetyczną w celu poprawy efektywności energetycznej.

Analiza energochłonności przemysłu drzewnego, wskazuje na podjęcie działań mających na celu jej zmniejszenie, w szczególności przy mechanicznej obróbce drewna. Częścią systemu technologicznego (pochłaniającą znaczne ilości energii elektrycznej i cieplnej) występującego w budynku przedsiębiorstwa drzewnego jest pneumatyczna instalacja odciągowa. Niestety zasadniczą wadą takiej instalacji jest jej energochłonność, a co za tym idzie istotny jej wpływ na bilans energii w budynku. Kierunki, na jakich się skupiono w ostatnich latach w ramach zmniejszania energochłonności instalacji to m.in. udoskonalanie urządzeń odpylających, wprowadzenie recyrkulacji powietrza, poprawa jakości działania poszczególnych elementów instalacji, automatyczna regulacja przepływu powietrza. Niestety podczas projektowania instalacji, często projektanci nie uwzględniają, że nie wszystkie obrabiarki pracują jednocześnie przy mechanicznej obróbce drewna i nie wszystkie w każdej chwili potrzebują odciągania odpadów [4, 9]. Optymalizacja zużycia energii instalacji odciągowej wymaga, żeby wariant projektowany był jak najbardziej zbliżony do wariantu użytkowego.

Pracę pneumatycznej instalacji odciągowej należy dostosować do procesów pracy obrabiarek. Wiąże się to z bardziej dokładnym poznanie procesów pracy obrabiarek, ich współczynnika użytkowania oraz zagrożeń związanych z okresowym korzystaniem z pneumatycznych instalacji odciągowych [7].

2. Zagrożenia związane z funkcjonowaniem pneumatycznych instalacji odciągowych

Pneumatyczne instalacje odciągowe służą do poprawy higienicznych warunków pracy w hali przemysłowej. Mają one za zadanie odprowadzenie odpadów ze strefy

ich powstawania, zapewnienia czystego powietrza na stanowisku pracy. Nie spełnienie tej funkcji powoduje zagrożenie dla zdrowia osób przebywających w hali, szczególnie w przypadku materiałów rakotwórczych jak np. pyłów buku i dębu lub niektórych pyłów z drewna tropikalnego (np. mansonia i makore), które mogą oddziaływać ogólnotoksycznie i alergicznie.

Pyły drzewne o dużej koncentracji stwarzają zagrożenie pożarowe i wybuchowe. Związane jest to ze specyficznymi właściwościami transportowanego materiału. Wystarczy wtedy źródło zapłonu do rozpoczęcia procesu zniszczenia instalacji odciągowej czy w niektórych przypadkach zniszczenia hali produkcyjnej. Źródłem zapłonu może być na przykład: stępione narzędzie, ciało obce znajdujące się w materiale, zwarcie w urządzeniach elektrycznych, iskry wywołane czynnikami mechanicznymi.

Jako czynniki sprzyjające występowaniu pożarów wymienia się [2]:

- zbyt dużą koncentrację pyłów w usuwanym powietrzu,
- niewłaściwą lokalizację wlotów powietrza wentylacji wyciągowej,
- nieprawidłowe wykonanie nawiewnej instalacji wentylacyjnej, umożliwiającej zawirowania osiadłych pyłów i tworzenie obiektów pyłowych,
- brak odprowadzeń wytwarzających się ładunków elektrostatycznych,
- niską wilgotność względną powietrza w hali.

Zagrożenia związane z nieefektywnym funkcjonowaniem pneumatycznych instalacji wyciągowych obejmują także szkodliwy wpływ na maszyny znajdujące się w hali produkcyjnej. Zagrożenie dla maszyn i urządzeń znajdujących się w zapyłonym pomieszczeniu związane jest z obniżeniem ich trwałości i szybszym zużywaniem się na skutek eksploatacji w niekorzystnych warunkach.

Działania zabezpieczające przed wybuchem i pożarem prowadzone są w różnych kierunkach. Najkorzystniejsze jest zapobieganie sytuacjom sprzyjającym powstaniu niebezpieczeństwa. Do takich działań należy zaliczyć:

- usuwanie skupisk pyłu powstających na podłogach, maszynach, elementach konstrukcyjnych hal produkcyjnych,
- używanie prawidłowo przygotowanych narzędzi (zagrożenia powodują na przykład narzędzia tępe i oklejone żywicą),
- stosowanie sygnalizatorów przeciążenia obrabiarek oraz blokad napędu obrabiarek po wyłączeniu pneumatycznych instalacji wyciągowych,
- eliminowanie okoliczności powodujących zaiskrzenie podczas obróbki materiału drzewnego.

Istotne jest również wczesne wykrycie zapłonu. Stosowane w tym celu wykrywacze iskiek, które po zarejestrowaniu określonej liczby iskiek w odpowiednio krótkim przedziale czasu przesyłają sygnał do elektronicznej centrali, gdzie wszystkie informacje są zapisywane i przechowywane. Ta część układu uruchamia gaszenie iskiek, które odbywa się możliwie najmniejszą ilością rozpylonej wody, bez przerywania pracy instalacji. Określana jest minimalna odległość między czujnikiem i urządzeniem gaśniczym, zależna od elektrycznego czasu reakcji, mechanicznego przebiegu otwierania zaworu, czasu wytworzenia mgły wodnej do gaszenia i współczynnika bezpieczeństwa. Ilość i rozmieszczenie dysz określane są również

przy uwzględnieniu ciśnienia wody, prędkości powietrza i średnicy zabezpieczanego przewodu.

W czujniki iskier i urządzenia gaśnicze wyposażone muszą być wszystkie przewody odciągowe i przewód transportowy do silosu. Konieczne jest również takie zabezpieczenie przewodów powietrza recyrkulowanego. W przypadku zarejestrowania większej ilości iskier przez dłuższy czas stosowane są dalsze działania, polegające na odcięciu przepływu powietrza (zasuwy i kłapy przeciwpożarowe) oraz wyłączeniu obrabiarek i wentylatorów w zagrożonej części instalacji. Zagrożenie możliwością zaistnienia pożaru, a w konsekwencji wybuchu, związane jest z obecnością pyłu. Instalacje gaszenia iskier powinny być więc stosowane w instalacjach odpylających. Mogą być w nie wyposażone także instalacje i systemy pneumatycznego odwiórowania, gdzie obecności pyłu nie można wykluczyć.

Możliwe jest również ograniczenie zasięgu pożaru przez wyeliminowanie tlenu, czyli wprowadzenie do zagrożonego obszaru gazu obojętnego np. dwutlenku węgla lub mieszaniny o odpowiednio niskim stężeniu tlenu.

Jeżeli wszystkie przedsięwzięte kroki nie dadzą rezultatu, pozostaje tylko ograniczanie skutków zaistniałego wybuchu. Odbywa się to za pośrednictwem otworów dekompresyjnych lub kłap bezpieczeństwa, przez które ulatniają się gazowe produkty spalania, co uniemożliwia wytworzenie nadmiernego ciśnienia wybuchu. Istotna jest również odpowiednia konstrukcja i wyposażenie najbardziej zagrożonego elementu instalacji, jakim jest zbiornik odpadów. Zabezpieczenie zbiornika odpadów stanowią: wykrywacz iskier i instalacja gaśnicza oraz kłapy dekompresyjne.

Oprócz możliwości zaistnienia pożaru lub wybuchu zagrożeniem dla pneumatycznej instalacji odciągowej może być nadmierny spadek ciśnienia w głównym przewodzie odciągowym. Jest to spowodowane wprowadzaniem do eksploatacji energooszczędnych instalacji dostosowanych do procesów pracy [4, 9]. Zamykanie zasuw odcinających przy niepracujących obrabiarkach może spowodować, że w przewodzie głównym powstające podciśnienie może go rozerwać. Żeby tego uniknąć, trzeba znać przebieg procesów pracy w przemyśle drzewnym przy mechanicznej obróbce.

3. Procesy pracy w pomieszczeniach mechanicznej obróbki materiałów drzewnych

W ostatnich czasach Unia Europejska wymusza zwiększenie efektywności energetycznej maszyn i urządzeń. Powszechnie są już stosowane audyty energetyczne budynków. Coraz większego znaczenia nabiera efektywność maszyn, urządzeń i procesów produkcyjnych. Jednym ze wskaźników służących do obliczenia efektywności maszyn jest wskaźnik wykorzystania wyposażenia OEE (Overall Equipment Effectiveness).

Wskaźnik OEE określa efektywność wykorzystania maszyn i urządzeń. Jego istota polega na porównywaniu wykorzystania maszyny do wykorzystania idealnego,

które zachodzi wówczas, gdy produkcja i jej przygotowanie prowadzone są zgodnie z planem.

Wskaźnik OEE jest wypadkową trzech wskaźników [6, 10]:

1. Dostępność – stosunek czasu zaplanowanego na realizację zadania do czasu, który w rzeczywistości można na to zadanie poświęcić. Dostępność obniżana jest poprzez awarie i zależnie od przyjętej metody przez przeobrażanie.
2. Wykorzystanie – stosunek czasu dostępnego do rzeczywistej pracy. Dostępność jest zaniżana przez straty prędkości wykonywania operacji. Inaczej mówiąc, skoro maszyna miała określony czas przeznaczony na pracę, to powinna w tym czasie wyprodukować określoną ilość produktu, a wskaźnik wykorzystania pokazuje, w jakim stopniu zostało to osiągnięte.
3. Jakość – stosunek ilości dobrych i wadliwych produktów.

$$\text{OEE} = \text{Dostępność} \times \text{Wykorzystanie} \times \text{Jakość}$$

Wskaźnik dostępności uwzględnia przestoje, które obejmują wszystkie zdarzenia, powodujące zatrzymanie procesu produkcji na pewien okres czasu (zwykle na kilkanaście minut, czyli czas możliwy do zarejestrowania). Przykładami takich zdarzeń są: awaria, braki materiałów, przebrojenia. Czas przebrojenia jest uwzględniany w analizie OEE, gdyż jest w pewnym sensie przestojem. Czasu przebrojenia nie można pełni wyeliminować, ale można go w większości przypadków zredukować. Pozostały, dostępny czas jest zwany czasem operacyjnym.

Efektywność bierze pod uwagę straty szybkości, które uwzględniają wszelkie czynniki powodujące, że produkcja odbywa się z szybkością mniejszą od maksymalnej. Przykładowo mogą to być mikroprzestoje, czy też praca ze zmniejszoną szybkością. Pozostały czas jest zwany czasem operacyjnym netto.

Jakość uwzględnia wszelkie straty z powodu wyprodukowania produktów niespełniających standardów jakości, wliczając braki. Pozostały czas jest czasem efektywnej produkcji.

Współczynnik OEE jest wykorzystywany w przedsiębiorstwie do oceny, jak bardzo czynniki zewnętrzne ograniczają zdolności linii produkcyjnej lub maszyny. Współczynnik ten pozwala na oszacować poprawę lub pogorszenie sytuacji, w porównaniu do sytuacji z innego okresu na tej samej linii produkcyjnej, maszynie lub grupie maszyn. Współczynnik ten jednak nie nadaje się do określania, jakie będzie zapotrzebowanie na urządzenia poprawiające warunki pracy na poszczególnych stanowiskach roboczych. Trzeba ustalić, jaki będzie czas wykonania wyrobu, a szczególnie jaki będzie czas główny maszyny, kiedy powstają odpady i muszą być usuwane ze stanowiska. W tym czasie powinna działać pneumatyczna instalacja odciągowa. O ile nie ma to znaczenia przy instalacjach, przy których pneumatyczne instalacje odciągowe są włączone przez całą zmianę roboczą, to prawidłowe określenie tego czasu jest istotne w instalacjach pracujących w warunkach zmiennych.

Projektując energooszczędne i bezpieczne pneumatyczne instalacje odciągowe dostosowane do procesów pracy uwzględnia się współczynnik użytkowania

obrabiarek w czasie zmiany roboczej. Jest on zależny od charakteru produkcji, systemów organizacji itp.

Z uwagi na występowanie w czasie roboczym jednej zmiany wielu składników, poza czasem wykonania wprowadzono współczynnik wykorzystania czasu roboczego k_r . Można go zapisać następująco:

$$k_r = \frac{t_w}{T},$$

gdzie:

t_w – czas wykonania [min],

T – czas roboczy zmiany produkcyjnej [min].

Czas roboczy jest przeznaczony na wykonywanie operacji technologicznych, w skład którego wchodzi czynności podstawowe, związane ze zmianą kształtu, wymiarów, postaci i właściwości obrabianych przedmiotów oraz wszystkie czynności pomocnicze niezbędne dla prawidłowego wykonania czynności podstawowych.

Dla stanowisk maszynowych, wprowadzono [4] drugą wielkość, będącą stosunkiem czasu głównego (t_g), czasu w którym na obrabiany przedmiot występuje bezpośrednie oddziaływanie narzędzi skrawających obrabiarek, do czasu wykonania (t_w). Jest to współczynnik wykorzystania czasu maszynowego

$$(k_m) = \frac{t_g}{t_w}.$$

Współczynniki te nie podają, jaki jest stopień wykorzystania obrabiarki w czasie roboczym, dlatego dla określenia zapotrzebowania na odwiórowanie przy mechanicznej obróbce materiałów drzewnych wprowadzono współczynnik technologicznego wykorzystania w czasie roboczym

$$(k_{tr}) = \frac{t_g}{T}.$$

W ogólnym czasie roboczym zmiany dają się wyróżnić w pierwszej kolejności dwa składniki, a mianowicie czas normowany i nienormowany. Czas normowany (t_n), w zakładzie w którym sposób właściwy postawiona jest organizacja i dyscyplina pracy, powinien w całości pokrywać się z czasem roboczym. Nazywa się go także czasem organizacyjnym i oznacza (t_o). Z tego względu, że obrabiarki pracują w organizacyjnym czasie pracy, technologiczne wykorzystanie obrabiarki w czasie organizacyjnym odnosi się do faktycznego czasu przepracowanego przez obrabiarkę. Wprowadzono współczynnik użytkowania obrabiarek (k_u), który podaje przez jaką część zmiany roboczej trzeba odciągać odpady od obrabiarek, czyli jest stosunek czasu głównego pracy obrabiarki do czasu organizacyjnego. Jest on równy:

$$k_u = \frac{t_g}{t_o}$$

gdzie:

t_g – czas główny pracy obrabiarki w czasie zmiany roboczej T [min],

t_o – czas organizacyjny pracy obrabiarki w czasie zmiany roboczej T [min].

W hali mechanicznej obróbki materiałów drzewnych zawsze znajduje się więcej obrabiarek niż potrzeba dla danego procesu technologicznego. Żeby określić jaka część obrabiarek z zainstalowanych w hali bierze udział w procesie technologicznym wprowadzono współczynnik technologicznego wykorzystania obrabiarek w procesie technologicznym (k_{tw}). Jest on równy:

$$k_{tw} = \frac{\sum_{i=1}^w p_i}{w n},$$

gdzie:

p – liczba obrabiarek, które były w ogóle używane podczas jednego dnia,

n – liczba wszystkich obrabiarek zainstalowanych w hali mechanicznej obróbki drewna,

w – liczba dni obserwacji.

4. Metodyka pomiarów

W literaturze [5] podane są współczynniki wykorzystania czasu roboczego dla obrabiarek różnych typów. Przeprowadzone wycinkowe badania procesów pracy w halach mechanicznej obróbki materiałów drzewnych pozwalają stwierdzić, że są one zawyżone i ich wartości są mało dokładne tak, że na ich podstawie trudno określić jak będzie kształtował się współczynnik użytkowania obrabiarek w czasie organizacyjnym k_u i współczynnik technologicznego wykorzystania obrabiarek k_{tr} .

Dla określenia współczynników k_u i k_{tr} w rzeczywistych warunkach przemysłowych i ustalenia jak przebiegają zmiany jego wartości podczas zmiany produkcyjnej przeprowadzono badania procesów pracy w wydziałach mechanicznej obróbki materiałów drzewnych zgodnie z zasadami opartymi na metodach statystyki [3].

Metody umożliwiające badanie wykorzystania czasu pracy można podzielić na pięć grup [1]. Są to:

- ciągłe pomiary czasu pracy,
- wrywkowe badania czasu pracy,
- obserwacje z wykorzystaniem techniki filmowo – telewizyjnej,
- pomiary licznikowe,
- analizy i obliczenia, oparte na normatywach opracowanych w ramach tzw. mikroanalizy.

Wyniki obserwacji przemysłowych miały głównie informować o kształtowaniu się czasu głównego pracy obrabiarki w organizacyjnym czy roboczym czasie pracy. Stąd stosowano układ organizacyjny dwufrakcyjny [1], który zakładał badanie czasu pracy według podziału na dwie frakcje: czas główny obrabiarki i pozostały.

Badania wykorzystania czasu pracy przeprowadzono w oparciu o obserwacje migawkowe i ciągłe równoczesne obserwacje pojedynczych stanowisk.

Obserwacje ciągłe równoczesne pracy pojedynczych stanowisk polegały na notowaniu w ściśle określonych odstępach czasu, jaka występowała frakcja czasowa w danej chwili na każdym stanowisku pracy. Dążono to tego, aby częstotliwość notowań była jak największa, ale była ona ograniczona sprawnością przeprowadzania zapisów wyników obserwacji. Praktyka ustaliła częstotliwość obserwacji co jedną minutę. Kierowano się tym, żeby na 10 stanowisk roboczych przypadał jeden obserwator.

Zasadniczym warunkiem sprawnej obserwacji było notowanie rodzajów frakcji przy użyciu odpowiednich symboli. W tabeli 1 pokazano przykład arkusza obserwacyjnego z zaznaczeniem czasu głównego pracy obrabiarki. Na każdym takim arkuszu zanotowano wyniki jednogodzinnej obserwacji, a więc w czasie jednej pełnej zmiany roboczej wypełniono osiem takich arkuszy.

Tab. 1. Fragment arkusza obserwacji ciągłych z typowym harmonogramem pracy obrabiarek

Nazwa przedsiębiorstwa		Arkusz obserwacji ciągłych																					
Las Trzcianka		Wydział „C”										Okres obserwacji					Arkusz 1						
		7.00										7.20											
Lp.	Stanowisko	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
1.	Strugarka w	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									x	x	x	x
2.	Frezarka									x	x	x	x	x	x								
3.	Pilarka	x	x	x	x	x																	
4.	Pilarka																						
5.	Strugarka					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
6.	Frezarka																						
7.	Pilarka przęg	x	x	x				x	x	x	x												
8.	Pilarka form																						
9.	Frezarka																						
10.	Szlifierka																						
Równoczesność		3	3	3	2	3	2	3	3	4	4	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	

Po przeprowadzeniu obserwacji pracy obrabiarek podczas zmiany roboczej (lub kilku) przystępowano do zestawienia wyników dla każdego stanowiska. Na podstawie zapisów graficznych policzono wartości czasów głównych obrabiarki i pozostałych następujących po sobie i zestawiono je w odpowiednich tabelach. W kolumnach zaznaczono nr obrabiarek, w rzędach czas główny obrabiarki i pozostały. Po zsumowaniu wyliczono procentowe udziały poszczególnych wydzielonych elementów pracy w czasie dnia roboczego, co pozwalało na odpowiednią ocenę stopnia wykorzystania czasu pracy przez każde stanowisko i przez wszystkie obrabiarki podłączone do instalacji.

Uwzględniając wahania wydajności pracy robotnika, w badaniu czasu pracy na stanowisku pracy, wykorzystano metody statystyki, pozwalające - na podstawie ograniczonej liczby pomiarów czasu - określić, z żądanym prawdopodobieństwem,

wartość przeciętnego technologicznego czasu pracy na danym stanowisku, różniącą się od wartości oczekiwanej o przewidywany błąd oszacowania.

Oprócz wahań wydajności pracy wzięto pod uwagę wszelkie błędy powstające przy badaniu i pomiarach czasu pracy. Z powyższych powodów nie przyjęto dla poszczególnych rodzajów (frakcji) badanego czasu pracy rozkładu normalnego prawdopodobieństwa częstości ich występowania, gdyż należało się liczyć z tendencją tworzenia się rozkładów hiperbolicznych jednodalnych ze skośnością dodatnią i ujemną, co potwierdziły badania i obserwacje własne.

Takie kształtowanie się rozkładów i częstości występowania badanych frakcji czasowych ma swe uzasadnienie w dużym zróżnicowaniu występowania poszczególnych rodzajów czasu pracy w czasie zmiany. Przedstawione typy rozkładów reprezentują raczej przypadki przeciętne i wobec tego mogły być przyjęte jako orientacyjne wytyczne do wyboru odpowiednich współczynników przy określaniu liczby dni obserwacji.

Liczbę dni obserwacji ciągłych określono za pomocą tzw. metody C. Steina, udoskonalonej przez Wołka [11]. Określono poszukiwaną liczbę dni obserwacji ciągłych, zapewniającą określenie z żądanym prawdopodobieństwem, wartości przeciętnego technologicznego czasu pracy jako 4.

Znając liczbę dni obserwacji przystąpiono do ustalenia odpowiedniego okresu badań, który ma istotne znaczenie dla interpolacji otrzymanych wyników. Obserwacje przeprowadzono w ciągu tygodniowego lub dwutygodniowego okresu badań, wybierając losowo dni obserwacji.

Ogólnie, metodyka badania procesów pracy w aspekcie zapotrzebowania na odwiórowanie i odpylenie sprowadzała się do równoczesnych obserwacji pracy pojedynczych stanowisk według ogólnego schematu stosowanego przy badaniach pracy, który przebiegał według trzech następujących etapów:

1. Etap przygotowawczy, w którym ustalono:
 - liczbę frakcji czasowych,
 - niezbędną liczbę obserwacji,
 - trasy obchodu,
 - momenty i rytm obserwacji,
 - formularze do utrwalania wyników obserwacji.
2. Przeprowadzenie właściwych obserwacji
3. Obliczenie i interpretacja wyników

Przedstawioną wyżej metodykę zastosowano w prowadzeniu obserwacji procesów pracy w wybranych zakładach mechanicznej obróbki materiałów drzewnych. Badania przeprowadzono w kilku zakładach, aby określić, jaka będzie zmienność otrzymanych wyników dla poszczególnych instalacji w określonych gałęziach przemysłu drzewnego. Zakłady dobierano tak, aby wśród nich znalazły się przykłady trzech zasadniczych typów produkcji: jednostkowej, seryjnej i masowej. Badania procesów pracy przeprowadzono w następujących zakładach:

1. Piłskie Fabryki Mebli, Zakład w Trzciance.
2. Piłskie Fabryki Mebli, Zakład w Krzyżu.
3. Piłskie przedsiębiorstwo Produkcji Leśnej LAS w Dobrzycy k/Piły, Zakład Produkcji Leśnej LAS w Trzciance.

4. Lubuskie Zakłady Okretowe LUBMOR w Trzciance.
5. Trzcianecka Spółdzielnia Pracy MEBLOMET w Trzciance.
6. PTTK FOTO-PAM , Zakład produkcji Drzewnej w Jaworze.

5. Wyniki badań

W tabeli 2 przedstawiono wartości współczynników użytkowania obrabiarek różnych typów określone dla 12 badanych pneumatycznych instalacji odciągowych razem z rozrzutem wartości tego współczynnika.

Tab. 2. Współczynniki: technologicznego wykorzystania obrabiarek w czasie roboczym k_{tr} i użytkowania obrabiarek k_u , ustalone podczas badań przemysłowych

Nr	Nr zakładu	Nr instalacji	Współczynnik technologicznego wykorzystania obrabiarek w czasie roboczym, k_{tr}	Współczynnik użytkowania obrabiarek, k_u
1	1	1	0,33	0,37
2	1	2	0,49	0,60
3	1	3	0,34	0,37
4	2	1	0,32	0,36
5	2	2	0,46	0,48
6	3	1	0,39	0,45
7	3	2	0,22	0,26
8	4	1	0,47	0,50
9	4	2	0,35	0,41
10	5	1	0,35	0,41
11	5	2	0,21	0,26
12	6	1	0,06	0,09

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 2 pozwala stwierdzić, że wartości współczynnika użytkowania obrabiarek są bardzo zróżnicowane w zależności od grup obrabiarek. Również dla tego samego rodzaju obrabiarek zaobserwowano bardzo dużą zmienność wyników, co przedstawiono w tabeli 3 np. dla pilarek tarczowych współczynnik użytkowania obrabiarek wahał się w granicach od 0,08 do 0,91.

6. Wnioski

Przedstawione wyniki obserwacji przemysłowych pozwalają wyciągnąć następujące wnioski. Odpowiadające różnym rodzajom obrabiarek współczynniki użytkowania są na tyle zróżnicowane, że nie ma żadnych podstaw do stosowania w praktyce jednej (ewentualnie kilku) wartości tego współczynnika. Przy określaniu zapotrzebowania na odwiórowania trzeba brać pod uwagę średni współczynnik użytkowania

wszystkich obrabiarek podłączonych do pneumatycznej instalacji odciągowej, a nie określać zapotrzebowania pojedynczych obrabiarek. Spośród wszystkich obrabiarek Tab. 3. Wartości współczynników użytkowania obrabiarki określone na podstawie obserwacji przemysłowych

Obrabiarka	Wartość współczynnika użytkowania obrabiarki k_u			Odchylenie standardowe
	min.	max.	średnia	
Pilarka tarczowa uniwersalna	0,08	0,91	0,52	0,21
Pilarka tarczowa wahadłowa	0,01	0,79	0,40	0,24
Pilarka tarczowa formatowa	0,41	0,95	0,66	0,13
Pilarka taśmowa	0,12	0,29	0,17	0,06
Strugarka wyrówniarka	0,01	0,93	0,42	0,24
Strugarka grubościowa	0,06	0,94	0,52	0,23
Strugarka czterostronna	0,08	0,69	0,49	0,16
Frezarka górnwrzecionowa	0,08	0,93	0,53	0,25
Frezarka dolnwrzecionowa	0,03	0,88	0,46	0,24
Frezarko-czopiarka	0,10	0,87	0,56	0,22
Wiertarka jednwrzecionowa	0,19	0,74	0,51	0,24
Wiertarka wielwrzecionowa	0,46	0,74	0,61	0,09
Szlifierka tarczowa	0,03	0,46	0,15	0,16
Szlifierka taśmowa	0,01	0,97	0,63	0,24
Szlifierka walcowa	0,12	0,75	0,43	0,22
Tokarka	0,03	0,90	0,54	0,20

podłączonych do instalacji tylko niewielka ich część – w czasie obserwacji – brała udział w procesie technologicznym. Wartość średniego współczynnika technologicznego wykorzystania obrabiarek k_{tw} wynosiła od 0,42 do 1,0; średnio 0,74. Oznacza to, że w czasie prowadzonych obserwacji 25 % obrabiarek nie było włączonych do pracy ani razu. Wartość współczynnika użytkowania obrabiarek k_u wynosił od 0,09 do 0,60 (generalnie nie przekracza 0,50), średnio 0,38. Wynika z tego, że stosując pneumatyczne instalacje odciągowe pracujące w warunkach zmiennych, dostosowane do rzeczywistych procesów pracy obrabiarek powinny one wyciągać przewodami z pomieszczenia od 10 do 60 % tego powietrza, które jest wyciągane przez aktualnie pracujące instalacje. Do transportu odpadów przez instalacje będą mogły być wykorzystane silniki wentylatorów o mniejszej mocy. Zmniejszy się także zużycie energii cieplnej. Powinno to wpłynąć korzystnie na poprawę efektywności energetycznej budynków.

Literatura

1. GRUDZEWSKI W., *Badanie rezerw wydajności pracy metodą obserwacji migawkowych*. PWE, Warszawa 1966.
2. JAWORSKI H., *Zagrożenia pożarowe*. Przemysł Drzewny 1992, nr 10, s. 18-20.

3. LISIŃSKI M., MARTYNIAK Z., POTOCKI A., *Badanie pracy*. PWE. Warszawa 1979.
4. LITOMISKY A., *On-Demand Ventilation Energy Saving in Industrial Applications*. Summer Study on Energy Efficiency in Industrie. ACEEE 6/2007, s. 91-102.
5. MATUSZEWSKI A., *Organizacja pracy w przemyśle drzewnym*. Wyd. AR Poznań, 1984.
6. MAZUREK W., *Wskaźnik OEE – Teoria i praktyka*. Wyd. II. 2014. <http://www.neuron.com.pl/pliki/oeo.pdf>.
7. OGIOŁDA E., *Obliczenia symulacyjne elastycznych systemów pneumatycznego odwiórowania*. Przemysł Drzewny 2007, nr 1, s. 33-36.
8. STRUMIŃSKI J., DOLNY S., CEGIEL E., *Technologiczne projektowanie zakładów mechanicznej obróbki drewna. Cz. 1. Zagadnienia ogólnoprojektowe i technologiczne*. Skrypt AR, Poznań 1984.
9. UŹDZICKI W., *Tendencje w projektowaniu elastycznych systemów pneumatycznego odwiórowania*. Przemysł Drzewny, 2002, nr 3, s. 18-20.
10. WILCZARSKA J., *Efektywność i bezpieczeństwo użytkowania maszyn*. Inż. Ap. Chem. 2012, nr 12, s. 41-43.
11. WOŁK R., *Podstawy normowania pracy w przemyśle maszynowym*. WNT, Warszawa 1966.

ANALIZA PORÓWNAWCZA WŁAŚCIWOŚCI DREWNA POCHODZENIA KRAJOWEGO I EGZOTYCZNEGO W OPARCIU O NAJCZĘŚCIEJ WYKORZYSTYWANE GATUNKI DREWNA

Czesław Częstochoński, Jacek Dziubałka

1. Wstęp

W XXI wieku człowiek poszukuje nowych alternatywnych materiałów konstrukcyjnych, budowlanych i przedmiotów codziennego użytku, które mają coraz to lepsze właściwości fizyczne, mechaniczne i wizualne. Jednak z drugiej strony stara się w sposób ekonomiczny i ekologiczny, eksploatować i ulepszać materiały już istniejące. Szczególną rolę w tych procesach odgrywa drewno, gdyż jako materiał o uniwersalnych właściwościach i niespotykanej strukturze, cieszy się nadal bardzo dużą popularnością.

W Polsce z roku na rok zwiększa się produkcja z materiałów drzewnych. Takie gatunki drewna jak: sosna, dąb czy buk wykorzystywane w wielu branżach przemysłu można spotkać w każdym domu czy mieszkaniu w postaci podłogi, mebli, schodów i przedmiotów codziennego użytku. Te typowo Polskie gatunki drewna są jednak coraz częściej wypierane przez gatunki pochodzące z innych kontynentów, potocznie nazywane „drewnem egzotycznym”. Jest to materiał pochodzący z regionów zamorskich, z innej strefy klimatycznej i strefy tropikalnej. W takich krajach jak: Chiny, Indie, Indonezja, Brazylia czy Wietnam niektóre gatunki drewna egzotycznego są pozyskiwana z upraw i plantacji. Drewno to oprócz niespotykanego rysunku i barwy, co jakby mogło się wydawać jest głównym czynnikiem zastosowania tych gatunków, posiada inne walory wykorzystywane przez projektantów, konstruktorów i stylistów. Te czynniki to stabilność wymiarowa, gęstość, trwałość i wytrzymałość. Warto jednak podkreślić, że gatunki takie jak merbau, teak, czy cedrela są materiałem cenionym, ale nawet dwukrotnie droższym od gatunków pochodzenia krajowego. Ze względu na te czynniki w niniejszej pracy postanowiono porównać gatunki mające coraz większą popularność w naszym kraju, z typowo polskimi gatunkami drewna.

2. Analiza porównawcza

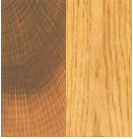


Celem głównym pracy jest ukazanie różnic pomiędzy najbardziej popularnymi gatunkami drewna pochodzenia krajowego tj. dąb, buk i brzoza, a gatunkami

pochodzenia egzotycznego tj. bilinga, zamahoń i merbau. Analizę przeprowadzono na podstawie zebranej literatury i badań własnych.

2.1. Porównanie budowy makro i mikroskopowej

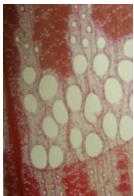

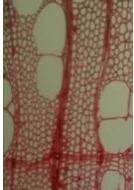



Różnice wynikające z budowy mają związek z pochodzeniem i warunkami wzrostu drzewa dlatego w poniższej tabeli 2.1 przedstawiono różne czynniki, a także charakterystykę drzewa.

Tabela 2.1. Pochodzenie i charakterystyka drzewa

Nazwa	Pochodzenie	Warunki wzrostu	Charakterystyka drzewa	Kolor
Dąb szyp. Dąb bezszyp.	D. Sz.-Europa oprócz Finlandii i Szkocja D.BSz.-Europa Zachodnia a także Polska, Szwecja i Norwegia	Mało odporny na warunki atm. Odporny na warunki atmosferyczne,	- wysokość do 50m, - pień prosty do wysokości 15m wolny od gałęzi, - średnicy odziomkowa nawet do 1,5-2m, pierścieni wyrośnięty często skręcony	
Buk	Europa Środkowa i Zachodnia	Klimat umiarkowany, nad morski, oceaniczny lub górski	- wysokość do 40m, - pień do wysokości 20m wolny od gałęzi, - średnicy odziomkowa nawet do 1,5m, pierścieni wyrośnięty i dobrze ukształtowany o kształcie cylindrycznym,	
Brzoza	Europa z wyjątkiem Grecji, Włoch i Francji W Polsce głównie część półn.-wsch.	Miejsca nasłonecznione podmokłe, skraje lasów	- wysokość do 30m, - pień do wysokości 12-15m wolny od gałęzi, - średnicy odziomkowa nawet do 0,8m,	
Bilinga	Afryka Zachodnia od Sierra Leone po Angolę Wyb.Kości Sł, Ghana, Gabon	Światłolubna, uprawiana na wykarczowanych i wypalonych miejscach w b. różnych war.	- wysokość do 40m, o pniu prostym, - rosną w miejscach nasłonecznionych, - średnicy pnia w części odziomkowej wynosi do 1,5m.	
Zamahoń	Afryka -Ghana, Liberia, Wyb.Kości Sł, Gabon,Kamerun, Angola, Nigeria	Lasy tropikalne	- wysokość do 30-40m, o pniu prostym i cylindrycznym u podstawy znajdują się napływy korzeniowe i guzowate zgrubienia, - do 12-25m brak gałęzi, - średnica odziomkowa od 0,6 do 2m,	
Merbau	Oceania i południowo-wschodnia Azja	Klimat równikowy, bardzo wilgotnym, lasy tropikalne, tereny podmokłe	- wysokość do 45m, o pniu nie cylindrycznym, z wysoko sięgającymi „deskowatymi” napływami korzeniowymi, - średnica odziomkowa 0,7-1,5m,	

Źródło: [5,6,7,8,9,10]

Tabela 2.2. Cechy charakterystyczne budowy mikroskopowej


Nazwa drewna	Naczynia	Miękisz	Włókna drzewne	Przekrój poprzeczny
Dąb	Pierścieniowo-naczyniowe - w drewnie wczesnym tworzą zwarty pierścień, - pojedyncze lub w grupach po 2-4 w kierunku promieniowym, - w drewnie późnym zgrupowane w promieniach lekko wygiętych	- miękisz w drewnie wczesnym przynaczyniowy, w późnym między-naczyniowy, - tworzy jednowarstwowe przerywane pasemka,	- grubościennie występują licznie na granicy słoja w drewnie późnym, - dł. ok. 1mm, śred. 0,014mm, - udział cewek i włókien drzewnych wynosi 40-60%	
Buk	Rozpierzchło-naczyniowe - rozmieszczone równomiernie, - w grupach po 2-3 w kierunku promieniowym, - średnica zmniejsza się do granicy słoja, - duże naczynia z dużym otworem - perforacja drabinkowa,	- komórki miękiszu, liczne równomiernie rozrzucone, - kształt włóknisty, często podzielone ścianami poprzecznymi - zawierają substancje zapachowe i barwniki	- grubościennie na granicy słoja dł. 1,5mm, śr. 0,016-0,018mm są wydłużone i ostro zakończone, - cienkościennie dł. 1mm, śr. 0,018-0,02mm ściany mają nieliczne, małe, skośnie spłaszczone przepusty lejkowate	
Brzoza	Rozpierzchło-naczyniowe - rozmieszczone równomiernie, - w grupkach po 4-7, rzadko pojedynczo, - średnica 0,03-0,13mm - nie zawierają wciętek, - perforacja naczyń drabinkowa,	- komórki podobna do komórek promieni rdzeniowych - komórki zgrupowane po 2-3	- grubościennie z nielicznymi spłaszczonymi przepustami, - na granicy słoja drewno późne zbud. z 3-4 warstw włókien spłaszczonych w kierunku promieniowym, - dł. 0,8-1,6mm, - śr. 0,014-0,4mm,	
Bilinga	Rozpierzchło-naczyniowe - rozmieszczone równomiernie pojedynczo, - w twardzieli mogą zawierać żółto-brązowe substancje niestrukturalne, - średnica 0,19mm, - w ścianach poprzecznych występuje perforacja prosta	- komórki miękiszu tworzą niejednorodne promienie drzewne, - postać włóknista składająca się z 4-10 komórek	- element wzmacniający - o średniej grubości i dł. od 1,1 do ok. 25,mm	
Zamahoi	Rozpierzchło-naczyniowe - rozmieszczone promieniowo, - pojedynczo lub w grupkach 2-3 max. 8, - wypełnione brunatno czerwoną wydzieliną, - średnica od 0,14 do 0,24mm	- komórki miękiszu tworzą niejednorodne promienie drzewne, - warstwy środkowe z komórek miękiszowych leżących, a warstwy skrajne z komórek miękiszowych stojących	- stanowią pionową strukturę, - układ nieregularny promieni szeregowych, - zbudowane z komórek miękiszowych stojących, często wypełnione brunatno-czerwoną wydzieliną	
Merbau	Rozpierzchło-naczyniowe - rozmieszczone równomiernie, na szerokości przyrostu rocznego - pojedynczo lub w grupkach po 2-3, - średnica 0,12-0,28mm,	- komórki miękiszu tworzą jednorodne promienie drzewne, - postać włóknista składająca się z 2-4 komórek, ułożone jedna nad drugą	- element wzmacniający - o średniej grubości i długości ścian od 0,56 do 0,79mm	

Źródło: [5,6,7,8,9,10]

Budowa mikroskopowa pokazuje, że tylko dąb jest gatunkiem pierścieniowo-naczyniowym, pozostałe gatunki mają rozmieszczenie naczyń rozpierzchło-

naczyniowe. Tabela 2.2. pokazuje, że w budowie mikroskopowej występują takie same elementy, mające różne wielkości i rozmieszczenie na przekroju.

Tabela 2.3. Cechy charakterystyczne budowy makroskopowej

Nazwa drewna	Biel	Twardziel	Przyrosty roczne	Przekrój poprzeczny
Dąb	- żółtawo-biała - połyskująca z wyraźnymi lustrami	- zabarwiona od jasno-brunatnej do ciemno-brunatnej, często z wyraźnym odcieniem różowym,	- bardzo wyraźne - przebiegają w liniach współśrodkowych, - regularne	
Buk	- biała z odcieniem żółto-różowym, czasami filetowym	- gatunek beztwardzielowy	- wyraźne, jednak trudno rozpoznawalne granice drewna wczesnego i późnego	
Brzoza	- biała z odcieniem żółtym czasami czerwonym, - częste plamki rdzeniowe o brunatnej barwie	- gatunek beztwardzielowy	- słabo widoczne	
Bilinga	- biało-żółta o szerokości 3-5cm	- różnie zabarwiona od złoto-żółtej do brązowej, nieraz do czerwono-brązowo-fioletowej	- praktycznie niewidoczne	
Zamahon	- szaro-różowa lub biało-różowa, - traktowana jest jako odpad	- od jasno-różowo-cynamonowej do czerwono cynamonowej	- słabo widoczne, rozpoznawalne dzięki ostremu przejściu od ciemniejszej warstwy włókien drzewnych do jaśniejszych warstw włókien drzewnych	
Merbau	- biało-żółta o szerokości 5-10cm	- zabarwiona na pomarańczowo, pod wpływem światła brązowieje, po czasie staje się ciemno-brązowa	- wyraźne o szerokości do 1cm	

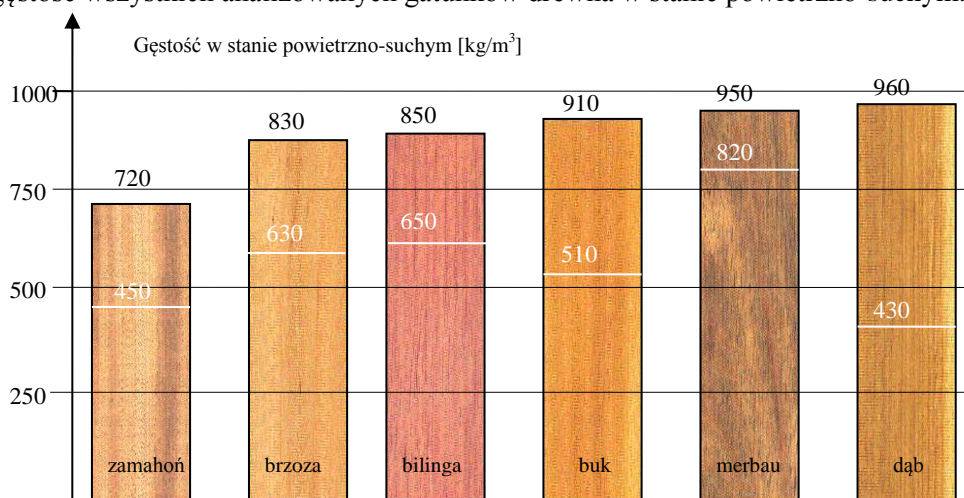
Źródło: [5,6,7,8,9,10]

Ze względu na miejsce wzrostu drzew, drewno gatunków egzotycznych ma zdecydowanie większe przyrosty roczny (tab.1.3). W drewnie dębu, buka i merbau

przyrosty są wyraźne, natomiast w pozostałych gatunkach są słabo lub niewidoczne. Barwniki występujące w gatunkach egzotycznych są liczniejsze i mają bardziej intensywną barwę, przez co rysunek drewna jest bardziej wyszukany i zdecydowanie inny niż w gatunkach pochodzenia krajowego.

2.2. Porównanie właściwości fizycznych

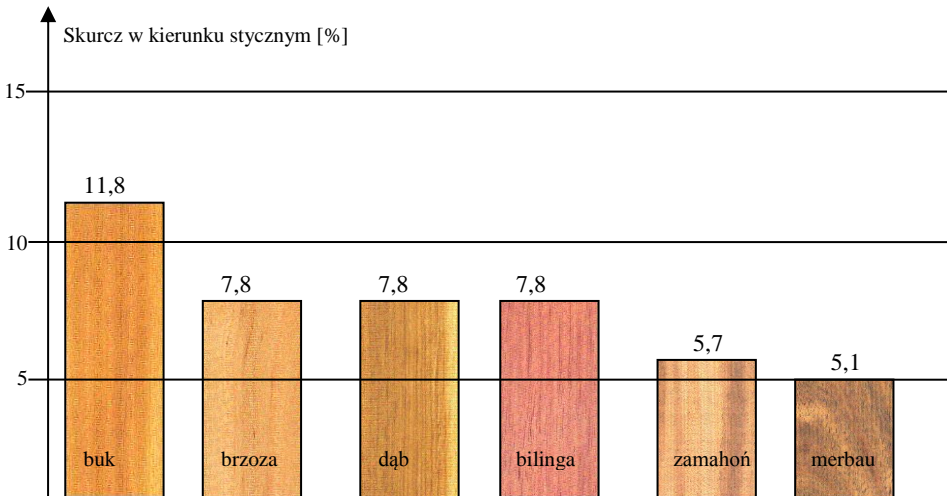
Jedną z ważniejszych właściwości fizycznych mających wpływ na właściwości mechaniczne drewna jest gęstość. Na poniższym wykresach (rys.2.1) porównano gęstość wszystkich analizowanych gatunków drewna w stanie powietrzno-suchym.



Rys. 2.1. Porównanie gęstości w stanie powietrzno-suchym [5,6,7,8,9,10]

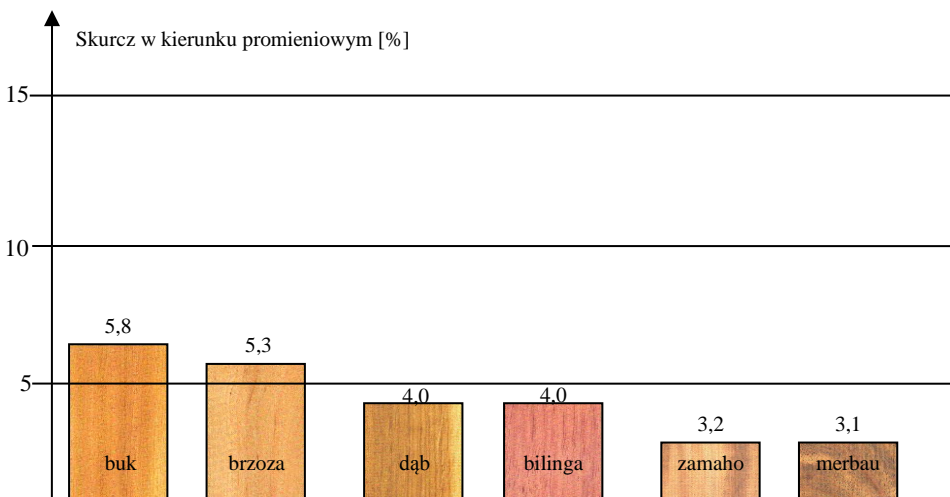
Jak wynika z analizy drewno dębu jest najcięższe, a drewno zamahoni najlżejsze. Jednak rozpiętość gęstości drewna dębu jest tak duża, że zdarzają się sortymenty o bardzo niskiej gęstości. Duże rozpiętości gęstości drewna dębu i buku. Ale również drewno zamahoni charakteryzuje się już większą rozpiętością gęstości niż drewno brzozy. Najmniejszą rozpiętość posiada merbau.

Stabilność wymiarowa jest jedną z ważniejszych cech charakteryzujących poszczególne gatunki drewna dlatego została przeanalizowana w kolejnym etapie porównań (rys.2.2, 2.3). Drewno charakteryzujące się znikomym skurczem ma dużo szersze zastosowanie. Jest to właściwość bardzo pożądana podczas procesów konstruowania i projektowania. Użytkowanie elementów z takiego drewna jest mniej uciążliwe ponieważ są materiałem bardziej odporne na warunki atmosferyczne, wodę i temperaturę. Dlatego warto przeanalizować, które z wybranych gatunków mają najmniejsze wartości skurczu w kierunkach największego pęcznienia i skurczenia: stycznym i promieniowym, a także skurczu objętościowego.



Rys. 2.2. Porównanie stabilności wymiarowej w kierunku stycznym [5,6,7,8,9,10]

Jak wynika z wykresu (rys.2.2) najmniejszym skurczem w kierunku stycznym charakteryzuje się drewno merbau i zamahoni, drewno bilingi ma podobne wartości co gatunki brzozy i dębu. Buk jest drewnem o największej niestabilności wymiarowej w kierunku stycznym.

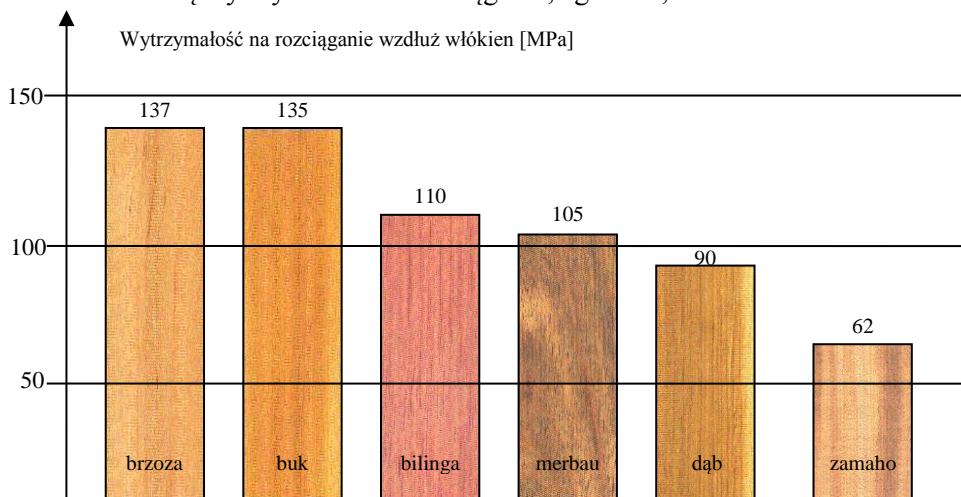


Rys. 2.3. Porównanie stabilności wymiarowej w kierunku promieniowym [5,6,7,8,9,10]

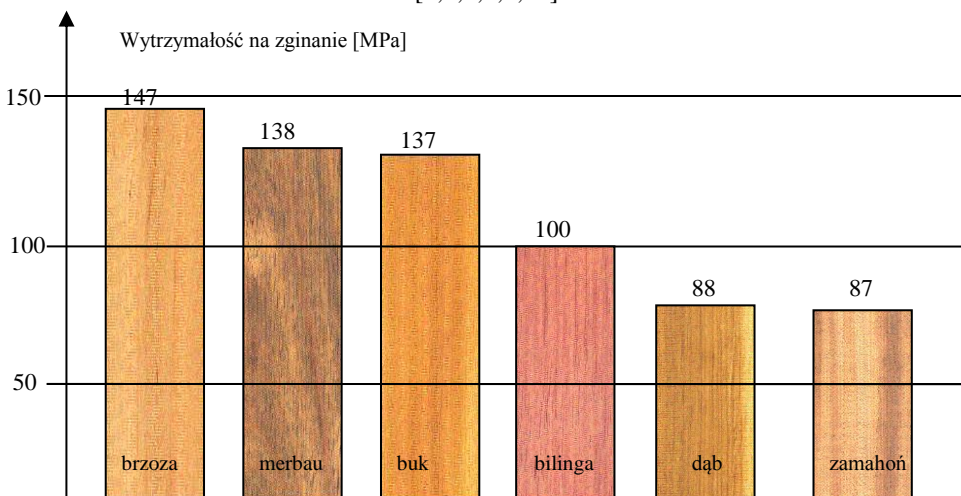
Podobnie jest w kierunku promieniowym (rys. 2.3), a także w skurczu objętościowym.

2.3. Porównanie właściwości mechanicznych

Podstawowymi własnościami mechanicznymi charakteryzującymi poszczególne gatunki drewna są wytrzymałość na rozciąganie, zginanie, twardość i udarność.

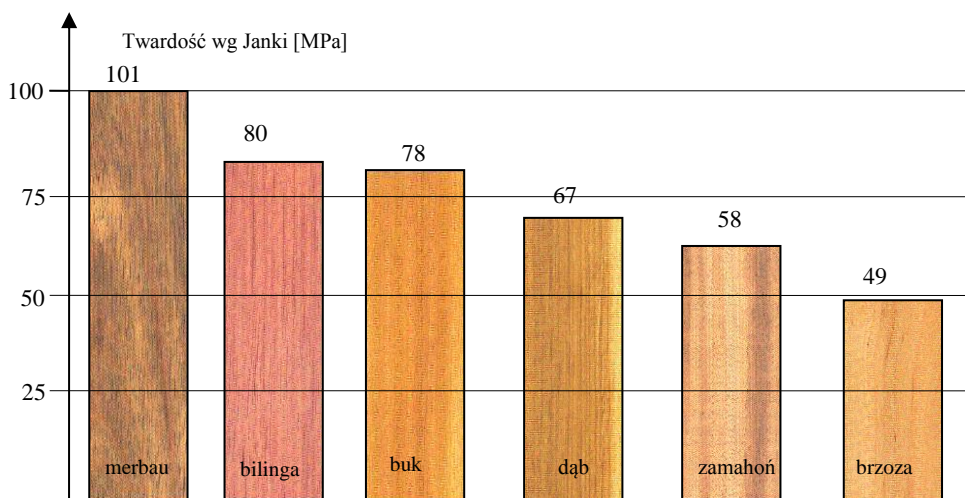


Rys.2.4. Porównanie wytrzymałości na rozciąganie w kierunku wzdłużnym [5,6,7,8,9,10]



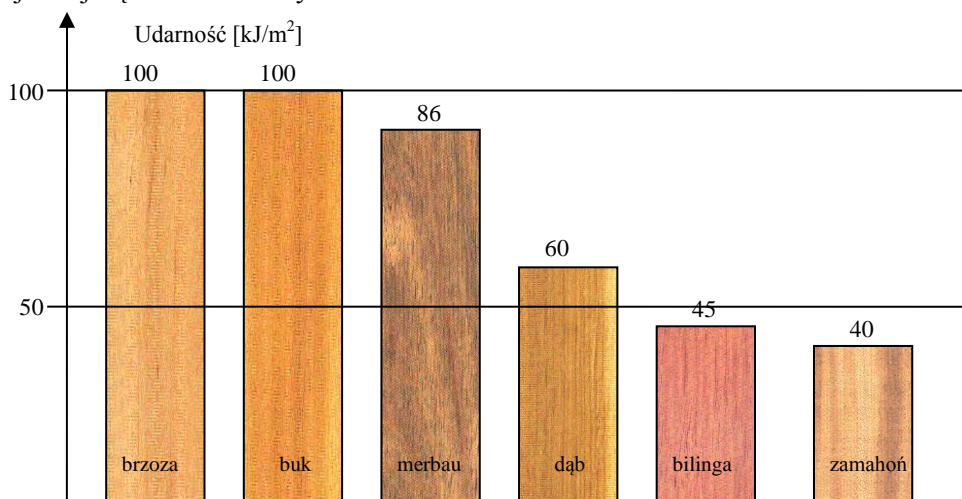
Rys.2.5. Porównanie wytrzymałości na rozciąganie w kierunku wzdłużnym [5,6,7,8,9,10]

Porównując wartości wytrzymałości na rozciąganie i zginanie (rysunki 2.4. i 2.5), wynika iż najlepszą odporność na tego typu obciążenia posiada drewno brzozy. Najmniejsze wartości uzyskuje drewno zamahonii. Spośród gatunków egzotycznych najlepsze wartości uzyskuje drewno merbau.



Rys.2.6. Porównanie twardości [5,6,7,8,9,10]

Największą twardość uzyskuje drewno merbau, następnie bilingi i buku, najmniejszą drewno brzozy.



Rys.2.7. Porównanie udarności [5,6,7,8,9,10]

Podobnie jak w przypadku wytrzymałości na rozciąganie, drewno brzozy i buk charakteryzuje największa odporność na uderzenie. Tak samo jak na poprzednich wykresach najniższą wytrzymałość charakteryzuje drewno zamahoni.

2.4. Podsumowanie analizy

Podsumowując całość dotychczasowych analiz należy stwierdzić iż drewno pochodzenia krajowego i egzotycznego różnią się nie tylko barwą, budową makroskopową i kolorem, ale również właściwościami. Drewno gatunków

egzotycznych mają dużo lepszą stabilność wymiarową, a także twardość (merbau i bilinga). Jednak wytrzymałość na rozciąganie, zginanie i udarność jest większa dla gatunków brzozy i buka. Z gatunków egzotycznych tylko merbau posiada dobre właściwości mechaniczne i jest ono słusznie nazywane ‘moluckim drewnem żelaznym’. Zastanawiająca jest niska wytrzymałość drewna dębowego. Najprawdopodobniej jest to przyczyną rozmieszczenia pierścieniowego naczyń.

3. Przeprowadzenie badań i analiza wyników

Część badawcza pracy została przeprowadzona w Laboratorium Tworzyw Drzewnych Uniwersytetu Zielonogórskiego.

3.1. Metodyka badań

Badania przeprowadzono w następujących etapach obejmujących:

1. Przygotowanie próbek z drewna bukowego, dębowego, brzozonego, zamahoni, bilingi, merbau
2. Suszenie próbek
3. Wyznaczenie gęstości poszczególnych gatunków w stanie suchym
4. Badanie udarności próbek w stanie suchym
5. Badanie nasiąkliwości próbek - zanurzonych w wodzie,
6. Badanie udarności próbek przy wilgotności ok.12-15%
7. Wyznaczenie gęstości przy wilgotności ok. 12-15%
8. Badanie udarności próbek przy wilgotności powyżej punktu nasycenia włókien
9. Wyznaczenie spęcznienia liniowego i objętościowego
10. Wyznaczenie gęstości próbek wilgotnych

Wyniki badań zostały przedstawione w tabelach oraz na wykresach.

3.2. Przygotowanie próbek do badań

Próbki do badań udarności zostały pobrane z desek parkietowych. Grubość desek maksymalnie wynosi 15mm, dlatego próbki do badania przygotowano o wymiarach 10x10x50mm. Są one zgodnie próbkami badanymi przy pomocy młota Charpy będącego na wyposażeniu laboratorium.

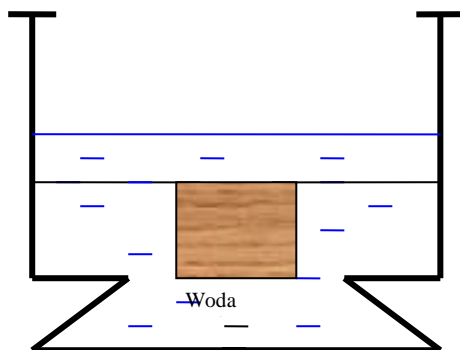
Do badania nasiąkliwości, wyznaczenia gęstości i pęcznienia wykorzystano te same próbki co do badania udarności, gdyż wykonanie próbek zgodnych z normą było nie możliwe ze względu na małą grubość desek parkietowych.

3.3. Warunki pomiarów

W laboratorium panowały następujące warunki:

- temperatura powietrza ok.20°C,
- temperatura wody ok.20°C,
- wilgotność względna powietrza 50-60%.

Badanie nasiąkliwości i pęcznienia zostało przeprowadzone umieszczając badaną próbkę pod wodą (rys.3.1.).



Rys. 3.1. Sposób umieszczenia próbki pod lustrem wody

Suszenie próbek przeprowadzono w temperaturze 103°C.

3.3. Wyniki badań

Wyniki przeprowadzonych badań umieszczono w tabelach i na wykresach. Badanie udarności przeprowadzono na 10-ciu próbkach z każdego gatunku i wilgotności - 0%, ok.12% i powyżej punktu nasycenia włókien. Wyniki uśredniono i przedstawiono w tabeli 2.1. Próbki suche suszono w temperaturze 103°C, próbki 12% klimatyzowano w laboratorium, natomiast próbki powyżej punktu nasycenia włókien zanurzono w wodzie do momentu uzyskania odpowiedniej wilgotności. Uderzenie młota następowało w kierunku równoległym do przebiegu sło. Dla wszystkich gatunków wyznaczono gęstość (tab.3.1)

Tabela 3.1. Wyniki badań - oznaczenie gęstości i badania udarności

Gatunek drewna	Wilgotność W[%]	Gęstość g[m ³ /kg]	Wchylenie α	Udarność U[kJ/m ²]
Dąb	ok.0	657	110	30
Dąb	ok.12	693	88	50,3
Dąb	pow.32	816	120	24
Buk	ok.0	673	89	56
Buk	ok.12	704	15	95
Buk	pow.32	824	115	26
Brzoza	0	640	110	41
Brzoza	ok.12	692	30	109
Brzoza	pow.32	744	118	29
Bilinga	ok.0	623	86	58
Bilinga	ok.12	647	71	56
Bilinga	pow.32	689	65	54
Zamahoń	0	582	84	53
Zamahoń	ok.12	678	82	50
Zamahoń	pow.32	807	80	49
Merbau	ok.0	720	62	69
Merbau	ok.12	747	60	78
Merbau	pow.32	833	65	53

Próbki do badań spęcznienia zostały wysuszone w temperaturze 103°C. Zanurzano je w wodzie o temperaturze 20°C. Pomiarów dokonywano w odstępach czasowych jak przedstawiono w tabelach: dąb 3.2, buk 3.3, brzoza 3.4, bilinga 3.5, zamahoń 3.6, merbau 3.7.

Tabela 3.2. Dąb – wyniki badań

Czas T	Wzrost wymiaru		Stopień spęcznienia		Masa wody	Masa próbki	Wilgotność próbki
	Stycznego	Promieniowego	α_t	α_r	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>W</i>
Min.	[mm]		[%]		[g]	[g]	[%]
0	0	0	0	0	0	3,42	0
0,5	0,1	0	1,01	0	0,092	3,512	2,69
1	0,12	0,11	1,21	1,1	0,138	3,558	4,03
1,5	0,15	0,22	1,51	2,2	0,143	3,563	4,18
2	0,21	0,22	2,12	2,2	0,152	3,572	4,44
5	0,3	0,23	3,03	2,3	0,199	3,619	5,81
10	0,42	0,26	4,24	2,6	0,237	3,657	6,92
20	0,5	0,3	5,05	3	0,295	3,715	8,62
30	0,51	0,41	5,15	4,1	0,322	3,742	9,41
40	0,5	0,41	5,25	4,1	0,367	3,787	10,7
50	0,53	0,42	5,35	4,2	0,392	3,812	11,46
60	0,54	0,42	5,45	4,2	0,401	3,821	11,73
90	0,61	0,43	6,16	4,3	0,471	3,891	13,77
24h	0,8	0,65	8,08	6,5	1,258	4,678	36,78

Tabela 3.3. Buk – wyniki badań

Czas T	Wzrost wymiaru		Stopień pęcznienia		Masa wody	Masa próbki	Wilgotność próbki
	Stycznego	Promieniowego	α_t	α_r	m	m	W
Min.	[mm]		[%]		[g]	[g]	[%]
0	0	0	0	0	0	3,097	0
0,5	0,11	0,15	1,11	1,5	0,098	3,195	3,16
1	0,31	0,21	3,13	2,1	0,226	3,323	7,29
1,5	0,35	0,2	3,53	2	0,302	3,399	9,68
2	0,43	0,33	4,34	3,3	0,355	3,452	11,46
5	0,6	0,4	6,06	4	0,449	3,546	14,5
10	0,72	0,51	7,27	5,1	0,557	3,654	17,98
20	0,83	0,5	8,38	5,3	0,682	3,779	22,02
30	0,85	0,62	8,58	6,2	0,804	3,901	25,96
40	0,9	0,65	9,09	6,5	0,904	4,001	29,18
50	1,01	0,65	10,20	6,5	0,943	4,04	30,44
60	1,11	0,71	11,21	7,1	1,024	4,121	33,06
90	1,15	0,73	11,61	7,3	1,192	4,289	38,48
24h	1,15	0,74	11,61	7,4	1,899	4,996	61,31

Tabela 3.4. Brzoza – wyniki badań

Czas T	Wzrost wymiaru		Stopień pęcznienia		Masa wody	Masa próbki	Wilgotność próbki
	Stycznego	Promieniowego	α_t	α_r	m	m	W
Min.	[mm]		[%]		[g]	[g]	[%]
0	0	0	0	0	0	2,801	0
0,5	0,31	0	3,36	0	0,056	2,857	1,99
1	0,41	0	4,45	0	0,108	2,909	3,85
1,5	0,45	0,1	4,89	1,05	0,15	2,951	5,35
2	0,45	0,2	4,89	2,1	0,166	2,967	5,92
5	0,51	0,2	5,54	2,1	0,205	3,006	7,31
10	0,62	0,2	6,7	2,1	0,26	3,061	9,28
20	0,65	0,2	7,06	2,1	0,373	3,174	13,31
30	0,72	0,25	7,82	2,63	0,429	3,230	15,31
40	0,79	0,3	8,58	3,15	0,447	3,248	15,96
50	0,9	0,42	9,78	4,42	0,48	3,281	17,13
60	0,92	0,5	10	5,26	0,498	3,299	17,77
90	0,95	0,62	10,32	6,52	0,55	3,351	19,63
24h	1,1	0,65	11,96	6,84	1,194	3,995	42,62

Tabela 3.5. Bilinga – wyniki badań

Czas T	Wzrost wymiaru		Stopień pęcznienia		Masa wody	Masa próbki	Wilgotność próbki
	Stycznego	Promieniowego	α_t	α_r	m	m	W
Min.	[mm]		[%]		[g]	[g]	[%]
0	0	0	0	0	0	3,841	0
0,5	0,01	0	0,1	0	0,106	3,947	2,68
1	0,05	0,05	0,51	0,5	0,143	3,984	3,72
1,5	0,11	0,1	1,13	1	0,177	4,018	4,6
2	0,12	0,11	1,23	1,1	0,193	4,034	5,02
5	0,14	0,2	1,44	2	0,208	4,049	5,41
10	0,15	0,23	1,54	2,3	0,239	4,08	6,22
20	0,2	0,25	2,06	2,5	0,271	4,112	7,05
30	0,31	0,25	3,19	2,5	0,31	4,151	8,07
40	0,38	0,25	3,91	2,5	0,329	4,17	8,56
50	0,43	0,26	4,43	2,6	0,36	4,201	9,37
60	0,44	0,27	4,53	2,7	0,39	4,231	10,15
90	0,51	0,31	5,25	3,1	0,58	4,421	15,10
24h	0,71	0,4	7,31	4	1,274	5,115	33,42

Tabela 3.6. Zamahoń – wyniki badań

Czas T	Wzrost wymiaru		Stopień pęcznienia		Masa wody	Masa próbki	Wilgotność próbki
	Stycznego	Promieniowego	α_t	α_r	m	m	W
Min.	[mm]		[%]		[g]	[g]	[%]
0	0	0	0	0	0	3,009	0
0,5	0,05	0,05	0,49	0,49	0,211	3,22	7,01
1	0,15	0,05	1,47	0,49	0,257	3,266	8,54
1,5	0,25	0,05	2,45	0,49	0,281	3,290	9,33
2	0,26	0,05	2,55	0,49	0,294	3,303	9,77
5	0,31	0,05	3,03	0,49	0,319	3,328	10,6
10	0,32	0,06	3,13	0,58	0,332	3,341	11,03
20	0,35	0,11	3,43	1,07	0,368	3,377	12,22
30	0,36	0,15	3,53	1,47	0,38	3,389	12,62
40	0,41	0,2	4,02	1,96	0,411	3,42	13,65
50	0,43	0,23	4,21	2,25	0,416	3,425	13,82
60	0,44	0,24	4,31	2,35	0,429	3,438	14,25
90	0,45	0,25	4,41	2,45	0,55	3,559	18,27
24h	0,6	0,4	5,88	3,92	1,027	4,036	34,13

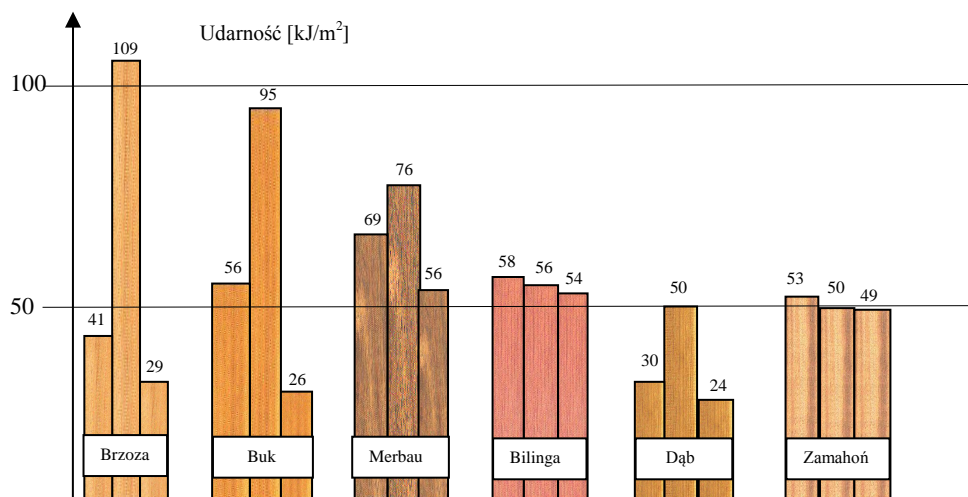
Tabela 3.7. Merbau – wyniki badań

Czas T	Wzrost wymiaru		Stopień pęcznienia		Masa wody	Masa próbki	Wilgotność próbki
	Stycznego	Promieniowego	α_t	α_r	m	m	W
Min.	[mm]		[%]		[g]	[g]	[%]
0	0	0	0	0	0	3,499	0
0,5	0	0	0	0	0,102	3,601	2,91
1	0,01	0,05	0,1	0,5	0,121	3,62	3,45
1,5	0,01	0,05	0,1	0,5	0,130	3,629	3,71
2	0,02	0,05	0,2	0,5	0,132	3,631	3,77
5	0,11	0,05	1,12	0,5	0,157	3,656	4,48
10	0,15	0,1	1,53	1,01	0,169	3,668	4,82
20	0,15	0,1	1,53	1,01	0,202	3,701	5,77
30	0,15	0,15	1,53	1,51	0,213	3,712	6,08
40	0,21	0,2	2,14	2,02	0,222	3,721	6,34
50	0,21	0,2	2,14	2,02	0,238	3,737	6,8
60	0,22	0,2	2,24	2,02	0,298	3,797	8,51
90	0,25	0,2	2,55	2,02	0,399	3,898	11,4
24h	0,35	0,25	3,57	2,52	0,778	4,277	22,23

Wyniki badań wskazują jednoznacznie, że pęcznienie w kierunku stycznych jest dużo wyższe niż w kierunku promieniowym dla wszystkich gatunków.

3.4. Analiza wyników

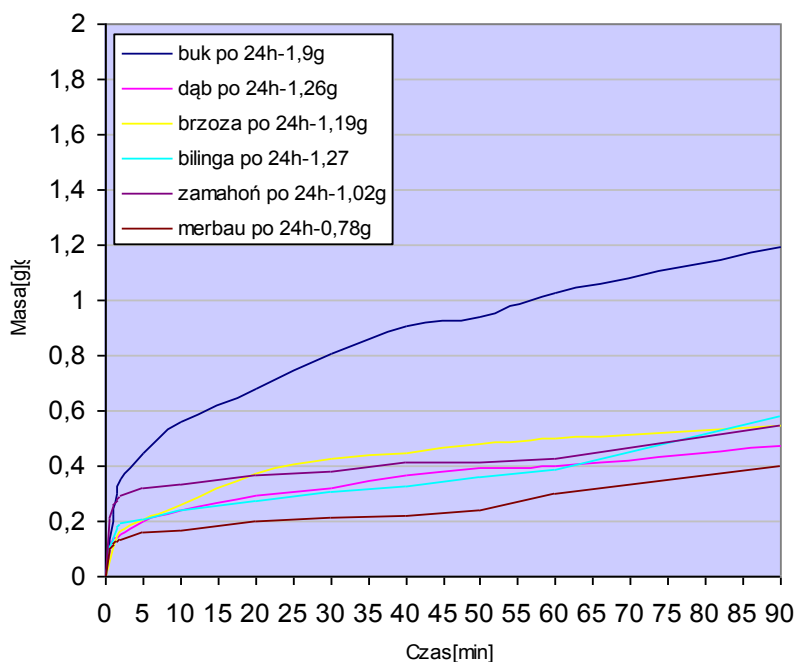
Wyniki badań udarności przedstawiono na wykresie (rys.3.2).



Rys.3.2. Porównanie wyników udarności drewna przy wilgotności 0%, 12-15%, pow.30%

Wyniki badań odporności przy wilgotności 12% niewiele różnią się od danych literaturowych. Zauważono jednak duży wpływ wilgotności: próbki o mniejszej wilgotności i większej wilgotności dla drewna krajowego są znacznie mniej odporne na uderzenie. Natomiast w gatunkach egzotycznych bilingi i zamahoni nie stwierdzono tak dużego wpływu wilgotności. Drewno merbau zachowuje się podobnie jak gatunki krajowe.

Badanie nasiąkliwości przeprowadzono na próbkach zanurzonych w wodzie w temperaturze 20°C.



Rys.3.3. Wykres nasiąkliwości wodą próbek zanurzonych w wodzie

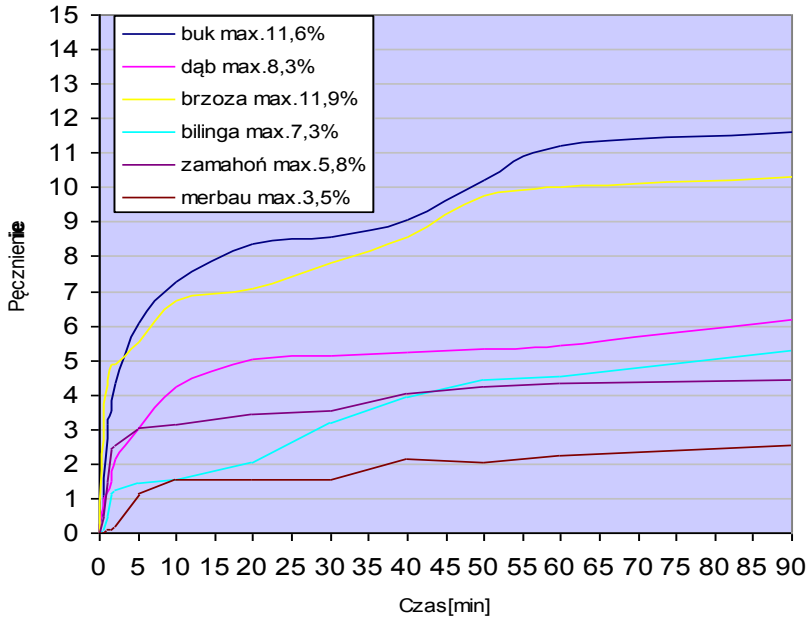
Jak wynika z wykresu (rys.3.3) charakterystyka nasiąkania jest identyczna dla wszystkich gatunków. W pierwszej fazie przebiega gwałtownie, dopiero po upływie około 5 minut następuje spokojny wzrost ilości pochłanianej wody przez drewno. Wyjątek stanowi tylko buk nasiąkający dużo szybciej niż pozostałe gatunki.

Tabela 3.7. Wyniki prędkości nasiąkania po pierwszej godzinie i dobie od stanu suchego próbki

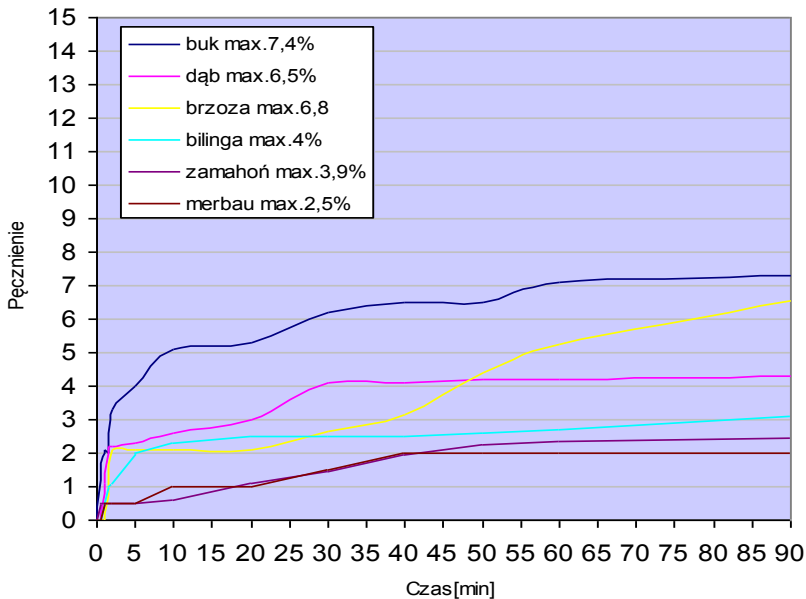
Gatunek drewna	Dąb	Buk	Brzoza	Bilinga	Zamahoń	Merbau
Prędkość nasiąkania w ciągu 1h [g/1h]	0,401	1,024	0,498	0,39	0,429	0,298
Prędkość nasiąkania w ciągu 1 doby [g/dobę]	1,26	1,9	1,19	1,27	1,02	0,78

Drewno buku spośród wszystkich gatunków nasiąka najszybciej również w ciągu 24h. Gatunki bilingi, dębu i brzozy nasiąkają podobnie. Natomiast drewno merbau nasiąka najwolniej (tab.3.7)

Bardzo ważnym czynnikiem powodującym zastosowanie gatunków egzotycznych jest stabilizacja wymiarowa. Przeprowadzono badania próbek zanurzonej w wodzie w dwóch najbardziej istotnych kierunkach stycznym (rys.2.4) i promieniowym (rys.3.5), drewna pobranego z desek parkietowych. Jest to istotny fakt ze względu na wykorzystanie tych gatunków na materiał podłogowy narażonych na działanie wody.



Rys.3.4. Wykres pęcznienia w kierunku stycznym próbek zanurzonych w wodzie



Rys.3.5. Wykres pęcznienia w kierunku promieniowym próbek zanurzonych w wodzie

Wyniki badań wskazują jednoznacznie, że pęcznienie w kierunku stycznych jest dużo wyższe niż w kierunku promieniowym dla wszystkich gatunków. Buk ma najniekorzystniejsze wyniki spośród wszystkich gatunków w obu kierunkach. Gatunki pochodzenia egzotycznego są bardziej odporne na czynnik wodny niż krajowe. Największą odporność posiada merbau. Jest to drewno o najlepszych czynnikach do zastosowania na podłogę.

3.5. Wnioski z przeprowadzonych badań

Badania przeprowadzone w tym rozdziale prowadzą do następujących wniosków:

- największa odporność na uderzenie posiadają gatunki brzozy, buku i merbau,
- minimalny wpływ wilgotności (gęstości) na udarność posiada bilinga i zamahoń,
- najmniejszą nasiąkliwość posiada drewno merbau,
- drewno merbau nasiąka najwolniej i najmniej pęcznieje,
- drewno buku nasiąka najszybciej i najwięcej pęcznieje,
- drewno merbau charakteryzują najlepsze właściwości.

Zakończenie

Reasumując należy stwierdzić iż wybrane gatunki egzotyczne posiadają inny i dla wielu osób atrakcyjniejszy rysunek drewna niż najbardziej popularne gatunki liściaste w naszym kraju. W tym miejscu należy zwrócić uwagę iż gatunki krajowe posiadają nie jednokrotnie lepszą wytrzymałość, ale niestety dużo gorszą odporność na czynniki zewnętrzne, oczywiście spośród analizowanych gatunków drewna.

Należy pamiętać, że na świecie wg Międzynarodowej Unii Leśnych Organizacji Badawczych w obrocie handlowym na świecie znajduje się ponad 140 gatunków drewna o dużym znaczeniu gospodarczym, a gatunków jeszcze więcej.

Dokonując wyboru materiałów konstrukcyjnych, budowlanych, ale także na przedmioty codziennego użytku pochodzenia drzewnego, należy kierować się właściwościami drewna, potrzebami, względami ekonomicznymi i ekologicznymi. Zapoznanie się z wynikami analiz porównawczych różnych gatunków drewna wydaje się w tej kwestii niewątpliwie pomocne.

Bibliografia

1. Godet Jean-Denis, Atlas drewna, Wyd.Multico, Warszawa 2006
2. Kokociński W., Anatomia drewna, Prodruck, Poznań 2002
3. Krzysik F., Nauka o drewnie, Państwowe Wyd. Rolnicze i Leśne, Warszawa 1974

4. Tomanek J., Botanika leśna, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 1997
5. Kozakiewicz P., Szkarłat D. Bilinga – drewno egzotyczne z Afryki, Przemysł drzewny, 7-8/2005
6. Kozakiewicz P. Zamahoń – Drewno egzotyczne z Afryki, Przemysł drzewny, 11/2007
7. Kozakiewicz P. Merbau – drewno egzotyczne z Azji i Oceanii, Przemysł drzewny, 9/2006
8. Lauwrów Z., Gatunki liściaste – Dąb, Przemysł drzewny, 5/2003
9. Lauwrów Z., Gatunki liściaste – Buk, Przemysł drzewny, 5/2003
10. Lauwrów Z., Gatunki liściaste – Brzoza, Przemysł drzewny, 6/200

INTELIĞENTNY SYSTEM STEROWANIA MIKROKLIMATEM W SZKLARNI Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMOWALNEGO STEROWNIKA AUTOMATYKI

Maciej Wawrzyniak, Paweł Bachman, Owczarek Piotr

1. Wstęę

Uprawa roślin pod osłonami pozwala zapewnić odpowiednie warunki ich rozwoju. Dzięki nowoczesnej technice możliwe jest zapanowanie nad mikroklimatem panującym w obiekcie. Główny wpływ na rozwój roślin mają takie czynniki jak: temperatura, poziom naświetlenia, poziom wilgotności oraz zawartość dwutlenku węgla w powietrzu. Utrzymywanie stałej wartości tych czynników w danym etapie uprawy roślin pozwala zmaksymalizować plon.

Najważniejszym czynnikiem klimatycznym wpływającym na wzrost roślin oraz wielkość i jakość plonu jest światło. Jest ono źródłem energii w procesie fotosyntezy, w którym tworzą się asymilaty. W okresie zimowym rośliny mają za mało światła, dlatego też światło dzienne trzeba uzupełnić światłem sztucznym [3]. Poprzez sterowanie oświetleniem zwiększa się wydajność fotosyntezy, co daje szybszy wzrost rośliny do pełnej dojrzałości użytkowej oraz poprawia ich zdrowotność [2].

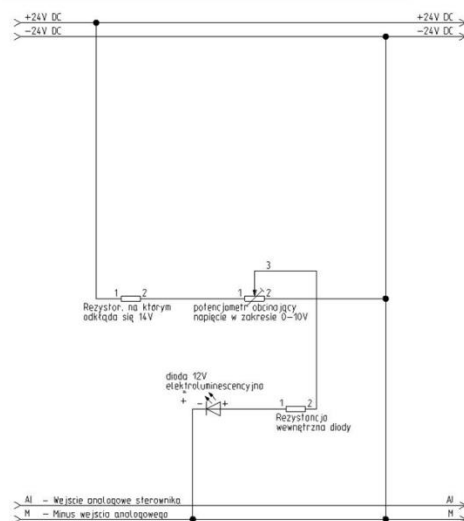
Kolejnym parametrem wpływającym na wzrost i rozwój roślin jest temperatura. Wymaganiami co do temperatury różnią się nie tylko poszczególne gatunki, ale nawet odmiany tego samego gatunku. Ponadto ta sama roślina ma niejednakowe wymagania w różnych fazach wzrostu i rozwoju [3], przez co bardzo ważne jest utrzymanie temperatury na stałym, odpowiednim poziomie.

Poziom wilgotności ściśle wpływa na transpirację czyli czynne parowanie wody z nadziemnych części roślin. Zbyt suche powietrze spowoduje odwodnienie liści przez co będą więdnąć, natomiast zbyt wilgotne spowoduje rozwój patogenów. Intensywność fotosyntezy zależy m.in. od stężenia dwutlenku węgla w atmosferze. Ilości dwutlenku węgla asymilowane przez rośliny są bardzo duże, węgiel stanowi średnio 45% suchej masy [2]. Zawartość dwutlenku węgla w atmosferze wynosi około 0,036%, natomiast przy sprzyjających warunkach świetlnych i temperaturowych optymalnie jest utrzymywać jego stężenie na poziomie 0,1%. Nasycanie powietrza w dwutlenek węgla do odpowiedniego poziomu przyspiesza fotosyntezę i zwiększa plony.

Celem niniejszej pracy jest opis układu sterowania mikroklimatem w obiekcie szklarniowym wraz z wizualizacją całego procesu. Program sterujący procesem zostanie zrealizowany w sterowniku logicznym Siemens serii S7-1200 1212C AC/DC/RLY, natomiast wizualizacja zrobiona będzie w środowisku WIN CC koncernu Siemens. Będzie ona uruchomiona na komputerze z systemem MS

Windows 7, a podgląd w Internecie będzie realizowany przez Server VNC [10], który jest obsługiwany m.in. przez urządzenia z systemem Android. Komputer z wizualizacją i sterownik zostaną podłączone poprzez kabel sieciowy UTP do routera natomiast urządzenie z systemem Android będzie się komunikować bezprzewodowo.

Program będzie sterował temperaturą, wilgotnością, oświetleniem oraz zawartością dwutlenku węgla w powietrzu w obiekcie szklarniowym. Dzięki zastosowaniu w układzie sterowania sterownika z możliwością uzależniania algorytmu sterowania od czasu, w procesie sterowania będzie można uwzględnić różne parametry mikroklimatu zależne od fazy wzrostu poszczególnych gatunków roślin. W fazie testów programu, pomiary z poszczególnych czujników analogowych zostaną zasymulowane za pomocą zadajników napięciowych (rys. 1). Poziomy włączające i wyłączające poszczególne urządzenia będą ustawiane w zależności od konkretnych wymagań roślin. W razie zaniku napięcia, po ponownym uruchomieniu sterownik będzie pamiętał wszystkie nastawy, co pozwoli uniknąć awarii i nagłych zmian warunków klimatycznych w szklarni.



Rys. 1. Zadajnik napięciowy do symulacji stanu czujników

Poziom naświetlenia będzie regulowany za pomocą wyjścia analogowego poprzez regulator PID wbudowany w sterownik. Wartość poszczególnych wejść analogowych oraz wyjścia będą pokazane w wizualizacji w postaci trendów.

Dostępne będą dwa tryby pracy: praca automatyczna, podczas której poszczególne wartości będą utrzymywane na poziomie zadanym w wizualizacji oraz praca manualna, w której poprzez ręczne zwarcie w programie poszczególnych wejść będzie można uruchamiać ogrzewanie, osuszanie, nawilżanie, oświetlenie lub otwierać żaluzje. Ze względów bezpieczeństwa nie będzie w tym trybie możliwości otwarcia elektrozaworu butli z dwutlenkiem węgla.

Program wizualizacyjny w trybie pracy automatycznej pozwoli na następujące nastawy:

- temperatura włączająca/wyłączająca ogrzewanie;
- temperatura otwierająca/zamykająca żaluzje;
- poziom wilgotności włączający/wyłączający nawilżanie/osuszanie;
- stężenie dwutlenku węgla otwierające/zamykające elektrozawór butli z CO₂;
- pożądany poziom naświetlenia obiektu.

2. Opis systemów automatyki obiektów szklarniowych

Obecnie najliczniej stosowanymi urządzeniami realizującymi algorytmy sterowania mikroklimatu obiektów szklarniowych są regulatory mikroklimatu oraz sterowniki PAC [1]. Ich rolą jest włączanie lub wyłączanie urządzeń wykonawczych takich jak nagrzewnice, osuszacze, nawilżacze, systemy doświetleń, w zależności od nastaw i wartości sygnałów z czujników zamontowanych w obiektach szklarniowych.

2.1. Regulatory klimatu

Zadaniem tych sterowników jest, monitorowanie wartości poszczególnych czujników, zwieranie wyjść przekaźnikowych, które uruchamiają podłączone do nich urządzenia. Urządzenia tego typu są od razu zaprogramowane i gotowe do pracy, zmiana algorytmu sterowania w nich jest trudna lub czasami nie możliwa. Zaletą tego typu rozwiązań jest stosunkowo niska cena związana ze zwartą konstrukcją będącą jednak również wadą wiążącą się z brakiem możliwości rozszerzenia systemu w przypadku rozbudowy obiektu szklarniowego. Przykładowy regulator klimatu pokazany jest na rys. 2.



Rys. 2. Regulator klimatu LB-760 [14]

2.2. Sterowniki PAC (Programowalne Sterowniki Automatyki)

Sterowniki PAC służą do realizacji sterowania w różnych systemach automatyki. Największymi ich zaletami są: niewielki koszt, zwarta konstrukcja, rozbudowana lista rozkazów, oprogramowanie działające w systemie Windows, które zapewnia elastyczną pracę umożliwiającą rozwiązywanie niemalże każdego zadania z dziedziny automatyki. Realizacja programów odbywa się poprzez załączanie lub

wyłączanie urządzeń elektrycznych. Od strony technicznej wykorzystuje się bramki logiczne, przekaźniki oraz kombinacyjne układy przełączające, których działanie uzależnione od wartości sygnałów wejściowych zmierzonych przez czujniki. Bardziej skomplikowane zadania wymagają użycia pamięci, ze względu na uzależnienie stanu bieżącego od wartości sekwencji wcześniejszych, przez co m.in. są nazywane sekwencyjnymi. Działanie sterowników PAC opiera się na algebrze zero-jedynkowej. W obiektach szklarniowych program może realizować [4]:

- sterowanie i wizualizację kotłów grzewczych;
- sterowanie i wizualizacja mikroklimatem szklarni;
- sterowanie systemem dokarmiania roślin;
- archiwizację danych procesu technologicznego;
- wizualizację oraz sterowanie poprzez globalną sieć Internet;

W zrealizowanych systemach automatyki opartych o sterowniki PAC możliwe jest wprowadzanie zmian na bieżąco, można doposażyć istniejący układ w dodatkowe moduły wejść/wyjść, czujniki oraz urządzenia wykonawcze. Możliwa jest też archiwizacja danych poprzez zastosowanie wizualizacji, która daje również możliwość zadawania wartości progowych poszczególnych urządzeń. Po wyposażeniu układu w moduł łączący z internetem, możliwe staje się zarządzanie systemem z dowolnego punktu na ziemi za pośrednictwem serwera VNC [10], który można uruchomić na urządzeniach z wieloma systemami, a co najważniejsze na często wykorzystywanym w urządzeniach przenośnych systemie Android.

2.3. Przykładowe elementy wykonawcze montowane w szklarniach

2.3.1. Nagrzewnica elektryczna

Nagrzewnice elektryczne szybko i skutecznie tworzą komfortowe warunki cieplne w pomieszczeniach (rys. 3). Są proste w obsłudze i odporne na uszkodzenia mechaniczne. Nadają się doskonale do długotrwałego użytkowania. Nagrzewnice elektryczne nie zużywają tlenu, nie wymagają dostaw paliwa, są bezpieczne i czyste, przystosowane do pracy ciągłej i mogą być przenośne. Można je używać do ogrzewania mieszkań, a także w sektorze rolnym, usługach i budownictwie. W zależności od mocy nagrzewnic mogą one być użyte do ogrzewania małych jak i dużych pomieszczeń. W przypadku pomieszczeń wielkometrażowych do ogrzewania można użyć większej ilości nagrzewnic.



Rys. 3. Nagrzewnica elektryczna Master B18 EPR [21]

2.3.2. Osuszacz powietrza

Pokazany na rys. 4 osuszacz przeznaczony jest do zabudowy w instalacji wentylacyjnej, w różnego rodzaju obiektach o dużych kubaturach, gdzie występuje nadmierna wilgotność. Wykonany on jest w postaci centrali pracującej na powietrzu recyrkulacyjnym, z możliwością doprowadzenia pewnej ilości świeżego powietrza. Dzięki takiej budowie występuje możliwość instalacji urządzenia w pomieszczeniu technicznym lub przestrzeni stropowej. Osuszacze mogą być wyposażone standardowo w higrostat, pozwalający na utrzymanie żądanych warunków wilgotności powietrza, lub mogą być sterowane z zewnątrz, za pomocą różnego rodzaju sterowników. Do bezpośredniego odprowadzania skroplin do kanalizacji osuszacze posiadają króciec połączony z wężykiem. W osuszaczach stosuje się też układ automatycznego rozmrażania gorącymi parami, w związku z tym mogą pracować w pomieszczeniach, w których temperatura zawiera się w przedziale 3-35°C. Istnieje możliwość wykonania specjalnych osuszaczy zbudowanych ze stali nierdzewnej, które mogą pracować w środowiskach agresywnych.

2.3.3. Poziome nawilżacze powietrza

Nawilżacz powietrza (rys. 5) składa się z pojedynczej dyszy lub wielodyszowej głowicy spełniającej rolę dyszy kierunkowej powietrza, zamocowanej w wylocie poziomo montowanej rury. Wentylator tłoczy do rury powietrze, które u jej wylotu porzywa rozpylony pył wodny. Wydajność nawilżacza może wahać się przykładowo od 2 do 50 l/h, przy wydajności wentylatorów od 100 do 1800 m³/h. Duża ilość powietrza tłoczona przez wentylatory ułatwia i przyspiesza odparowywanie wody, co pozwala na montaż nawilżaczy w bardzo trudnych warunkach. Poziome nawilżacze powietrza znajdują zastosowanie w halach o wydłużonym kształcie, w pomieszczeniach do produkcji grzybów. Najmniejsze nawilżacze poziome mogą być stosowane nawet w niedużych pomieszczeniach biurowych.



Rys. 4. Osuszacz grupy AWMC [16]



Rys. 5. Nawilżacz powietrza poziomy [17]

2.3.4. Zbiorniki z dwutlenkiem węgla

Dokarmianie roślin może być realizowane poprzez ciekły CO₂, który jest dostarczany za pomocą cystern samochodowych i przechowywany w zbiorniku magazynowym o pojemności dostosowanej do zużycia (rys. 6). Ciekły CO₂ jest odparowywany za pomocą parownicy. W zależności od warunków lokalnych

i potrzeb odbiorcy może to być parownica zamontowana w zbiorniku lub urządzenie niezależne. Sterownik mierzy stężenie CO_2 w poszczególnych szklarniach i odpowiednio dozjuje czynnik. CO_2 jest rozprowadzany wewnątrz szklarni za pomocą systemu rur dozujących. System dokarmiania roślin za pomocą CO_2 jest każdorazowo dostosowywany do potrzeb i możliwości użytkownika.



Rys. 6. Butla z dwutlenkiem węgla z podłączonym elektrozaworem [9]

2.3.5. Stateczniki do regulacji natężenia oświetlenia

Zmieniające się często wymagania w zakresie oświetlenia pociągają za sobą konieczność tworzenia elastycznych rozwiązań. Przykładem urządzeń umożliwiających zmianę natężenia światła są stateczniki zwane również ściemniaczami. Mogą one współdziałać równocześnie z urządzeniami sterowania analogowego (0-10V), z prostymi włącznikami astabilnymi oraz z czujnikami natężenia oświetlenia. Jednoczesna możliwość zastosowania różnych metod sterowania jest ogromną zaletą, zwiększającą elastyczność i energooszczędność systemu. Pozwalają one na regulację światła w zakresie 1-100% oraz zawierają zwiększającą energooszczędność systemu funkcję włączania i wyłączania lamp [7]. Dzięki wykorzystaniu najnowszej technologii cyfrowej stateczniki stały się idealne do zastosowania wszędzie tam, gdzie wymagana jest różnorodna, prosta w zastosowaniu, energooszczędna i elastyczna regulacja oświetlenia.



Rys. 7. Oprawy oświetleniowe z zamontowanym czujnikiem natężenia światła [11]

2.4. Przykładowe czujniki montowane w szklarniach

2.4.1. Czujnik temperatury

Czujnik temperatury DSZ-A001 (rys. 8) dokonuje pomiaru temperatury otoczenia w pomieszczeniach mieszkalnych, szklarniach itp. Współpracuje z wejściem analogowym i przystosowany jest też do montażu na zewnątrz budynku. Dzięki temu, że wartość zmierzonej temperatury przetwarzana jest na standardowy analogowy sygnał liniowy 0-10V czujnik ma możliwość podłączenia do wielu różnych systemów.

2.4.2. Czujnik zmierzchowy

Czujnik zmierzchowy DSZ-A101 (rys. 9) dokonuje pomiaru natężenia oświetlenia, współpracuje z wejściem analogowym, przystosowany jest do montażu na zewnątrz budynku, wartość zmierzonego natężenia światła przetwarzana jest na analogowy sygnał liniowy 0-10V przez co czujnik można podłączyć do systemów oferowanych przez różne firmy.

2.4.3. Przetwornik wilgotności

Przetworniki wilgotności (rys. 10) przeznaczone do systemów klimatyzacji i wentylacji, zasilane mogą być napięciem 24VAC. Ich dokładność waha się w granicach $\pm 3\%$ wilgotności względnej, a na wyjściu posiadają sygnał analogowy 0-10VDC. Ważnym parametrem tych czujników jest stopień ochrony, który musi wynosić co najmniej IP65. Poza tym muszą one charakteryzować się doskonałą stabilnością długookresową oraz być odporne na zanieczyszczenia.



Rys. 8. Czujnik temperatury 0 - 10V DSZ-A001 [19]



Rys. 9. Czujnik zmierzchowy DSZ-A101 [8]



Rys. 10. Przetwornik wilgotności HRT 350 [15]

2.4.4. Przetwornik stężenia CO₂

Przetworniki CO₂ pokazany na rys. 11 działa zgodnie z metodą podwójnej długości fali pojedynczej wiązki. Czujnik ten charakteryzuje się unikalnymi właściwościami pomiarowymi, oferując doskonałą stabilność pomiaru niezależnie od czasu pracy i temperatury. Układ monolitycznego interferometru wykorzystuje

optyczne, mechaniczne i elektroniczne właściwości krzemu. Przetwornik przystosowany jest fabrycznie do pomiaru wartości stężenia CO₂ w zakresie 0 do 2000 ppm, przekształcając ją w proporcjonalny sygnał 0-10 VDC. Przy pomocy zworek znajdujących się na płycie drukowanej urządzenia istnieje możliwość wyboru sygnału wyjściowego w zakresie: 0- 20 mA ,4- 20 mA oraz 0-10 V.



Rys. 11. Czujnik CO₂ [19]

3. System sterowania mikroklimatem obiektu szklarniowego opartego o sterownik Siemens serii S7-1200

3.1. Opis systemu sterowania

System sterowania mikroklimatem obiektu szklarniowego został zrealizowany w oparciu o sterownik Siemens serii S7-1200 1212C AC/DC/RLY natomiast wizualizację wykonano w środowisku WinCC również koncernu Siemens. Jej podgląd jest możliwy w urządzeniach z systemem Android za pośrednictwem serwera VNC. Komunikacja między urządzeniami odbywa się poprzez sieć LAN. Czujniki zostaną zastąpione zadajnikami napięciowymi 0-10V. Do realizacji systemu sterowania obiektem szklarniowym zostały wykorzystane następujące podzespoły:

- sterownik S7-1200 1212C AC/DC/RLY (rys. 12). Zasilany jest on napięciem 230V, posiada wbudowany zasilacz 24V DC o wydajności 300mA, który służy do zasilania czujników, dysponuje ośmioma wejściami cyfrowymi, sześcioma wyjściami przekaźnikowymi oraz dwoma wejściami analogowymi 0-10V [6]. W systemie jego zadaniem jest realizacja algorytmu sterowania;
- moduł rozszerzeń SIMATIC S7-1200, moduł wejść analogowych SM 1231, 4 wejścia analogowe napięciowe (+/-10V, +/-5V, +/-2.5V) lub prądowe (0-20 mA), 12 bit + znak. Zadaniem tego modułu jest rozszerzenie ilości wejść analogowych do ilości wymaganej przez algorytm sterowania;
- moduł rozszerzeń SIMATIC S7-1200, płytki sygnałowa SB 1232 dla CPU S7-1200, 1 wyjście analogowe napięciowe (+/- 10V DC - 12 bitów) lub prądowe (0-20mA - 11 bitów). Zadaniem tego modułu jest wyposażenie sterownika w wyjście analogowe 0-10V, które wymagane jest do realizacji algorytmu sterowania;



Rys. 12. Sterownik Siemens serii S7-1200 1212C AC/DC/RLY [18]

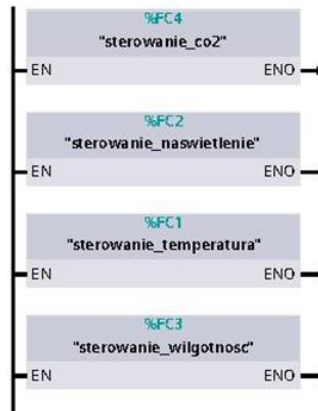
- router TP-Link TL-MR3220 Router 3G Wi-Fi. To urządzenie umożliwi komunikację pomiędzy wszystkimi urządzeniami systemu sterowania oraz udostępni połączenie internetowe za pośrednictwem modemu 3G [5];
- komputer osobisty wyposażony w oprogramowanie: Windows 7 Professional; TIA Portal v11 Basic wersja próbna; Simatic WinCC flexible 2008 wersja próbna; VNC Server 5.0.3 wersja darmowa.

Komputer posłuży do uruchomienia wizualizacji stworzonej w środowisku WinCC, w której widoczny będzie podgląd wartości wszystkich wejść i wyjść sterownika oraz umożliwi zmiany nastaw algorytmu sterowania;

- pięć zadajników napięciowych 0-10V będzie symulować sygnały z poszczególnych czujników, źródłem zasilania będzie zasilacz 24VDC wbudowany w sterownik;
- tablet Goclever T76 GPS z systemem Android 4.0.1 z programem VNC viewer posłuży do podglądu wizualizacji za pośrednictwem serwera VNC, komunikacja odbędzie się poprzez router;
- telefon Sony Ericsson Xperia x8 z systemem Android 2.1 i programem VNC viewer posłuży do podglądu wizualizacji za pośrednictwem serwera VNC, komunikacja odbędzie się poprzez sieć GSM;
- modem 3G Huawei e353 z kartą SIM „Orange free na kartę” podłączony do wejścia USB w routerze udostępni połączenie internetowe.

3.2. Algorytm działania programu

W programie użytych jest osiem wejść cyfrowych, sześć wyjść przekaźnikowych, jedno wyjście oraz pięć wejść analogowych. Przewidziane są dwa tryby pracy: automatyczny oraz manualny. Funkcję bezpieczeństwa pełni jedno z wejść cyfrowych będące wyłącznikiem bezpieczeństwa, którego wyzwolenie uniemożliwia pracę w którymkolwiek z trybów i całkowite wyłączenie systemu. Podgląd wartości historycznych zrealizowany jest za pomocą zaprezentowanych w formie wykresów trendów w wizualizacji. Uruchomienie jednego z trybów pracy uniemożliwia uruchomienie drugiego. Widok programu głównego wykonanego w TIA Portal v11 Basic pokazany jest na rys. 13.



Rys. 13. Program główny OB1

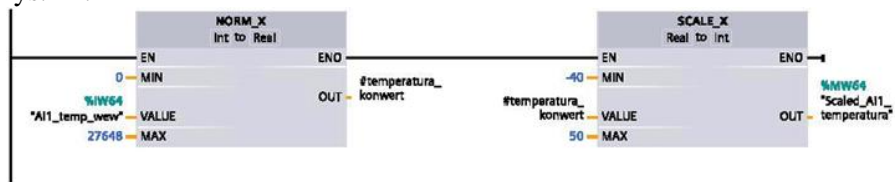
Poszczególne wejścia/wyjścia sterownika mają przypisane następujące funkcje:

- wejście cyfrowe 1 - uruchamia tryb automatyczny;
- wejście cyfrowe 2 - uruchamia tryb pracy manualnej;
- wejście cyfrowe 3 - odpowiada za wyłącznik bezpieczeństwa;
- wejście cyfrowe 4 - sygnał uruchamiający grzanie w trybie manualnym;
- wejście cyfrowe 5 - sygnał włączający oświetlenie w trybie manualnym;
- wejście cyfrowe 6 - sygnał otwierający żaluzje w trybie manualnym;
- wejście cyfrowe 7 - sygnał uruchamiający nawilżanie w trybie manualnym;
- wejście cyfrowe 8 - sygnał uruchamiający osuszanie w trybie manualnym;
- wejście analogowe 1 (0-10V) - pomiar temperatury wewnątrz obiektu;
- wejście analogowe 2 (0-10V) - pomiar poziomu naświetlenia w obiekcie;
- wejście analogowe 3 (0-10V) - pomiar poziomu wilgotności w obiekcie;
- wejście analogowe 4 (0-10V) - pomiar zawartości dwutlenku węgla w obiekcie;
- wejście analogowe 5 (0-10V) - pomiar temperatury na zewnątrz obiektu;
- wyjście przekaźnikowe 1 - uruchamia nagrzewnicę;
- wyjście przekaźnikowe 2 - włącza doświetlanie;
- wyjście przekaźnikowe 3 - otwiera żaluzje;
- wyjście przekaźnikowe 4 - uruchamia system nawilżania;
- wyjście przekaźnikowe 5 - uruchamia system osuszania;
- wyjście przekaźnikowe 6 - otwiera zawór butli z CO₂;
- wyjście analogowe 1 - poprzez wbudowany regulator PID reguluje poziom doświetlenia analogowego statecznika świetlówek.

3.2.1. Tryb pracy automatycznej

W tym trybie sterownik utrzymuje temperaturę pomiędzy dolną i górną wartością graniczną, które ustawia się w wizualizacji. Przy standardowych nastawach, gdy temperatura spadnie do 18°C zostanie uruchomione wyjście włączające grzanie, wyłączenie nagrzewnicy nastąpi dopiero po przekroczeniu 20°C. Natomiast gdy w obiekcie będzie ponad 30°C zostanie wyzwolone wyjście odpowiadające za wietrzenie tj. otwarcie żaluzji, które zostaną zamknięte po spadnięciu temperatury do

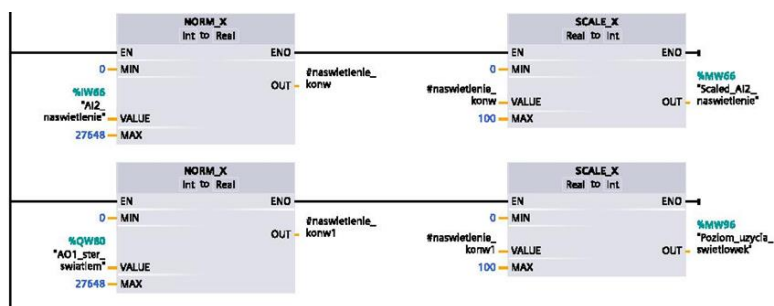
26°C. Fragment programu odpowiadającego za sterowanie temperaturą pokazany jest na rys. 14.



Rys. 14. Sterowanie temperaturą

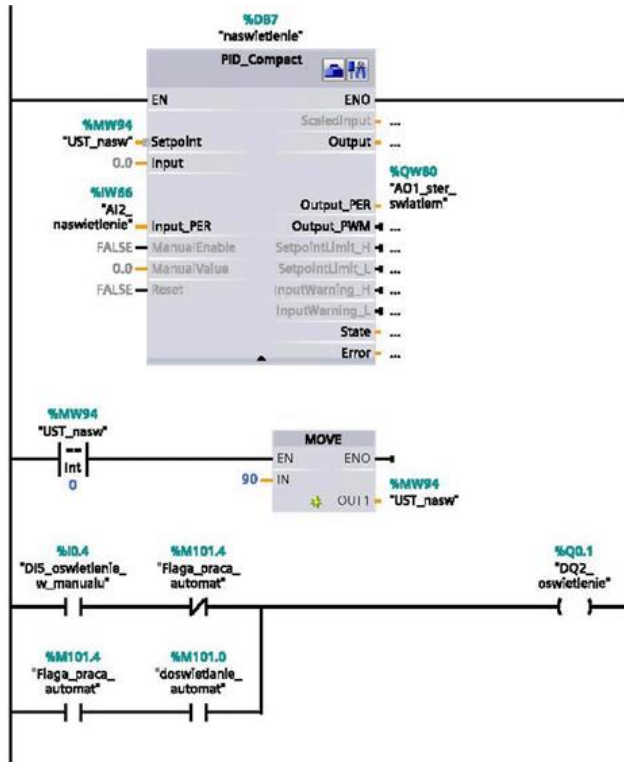
W części programu odpowiadającej za utrzymywanie wilgotności na odpowiednim poziomie w fazie testów przyjęto, że standardowo pożądaną wartością wilgotności względnej jest 70%. Gdy wilgotność spadnie poniżej 60%, zostanie włączone nawilżanie, które zakończy się, gdy wilgotność ponownie osiągnie 70%. Gdy wilgotność zacznie wzrastać i osiągnie 80% uruchomi się osuszacz powietrza, który wyłączy się po spadku wartości do 70%. Dzięki temu rozwiązaniu unika się tzw. punktu rosy czyli momentu, w którym para wodna zawarta w powietrzu osiąga na skutek schładzania stan nasycenia i skrapla się. W opisywanym układzie regulacji, ze względu na to, że nadmiar wody związany z obniżeniem temperatury zostaje usunięty przez osuszacz, taka okoliczność nie nastąpi.

Regulacja natężenia światła w obiekcie szklarniowym jest realizowane poprzez włączenie w wizualizacji przycisku, co skutkuje zwarcie przekaźnika odpowiadającego za uruchomienie doświetlania. Fragment programu odpowiadający za konwersję sygnałów analogowych w układzie regulacji natężenia światła pokazany jest na rys. 15. Poziom natężenia światła jest regulowany poprzez wbudowany w sterownik regulator PID. Ma on za zadanie utrzymywanie wewnątrz obiektu stałego naświetlenia, którego poziom jest podawany w wizualizacji. Standardowa wartość to 90% wydajności urządzeń świetlnych.



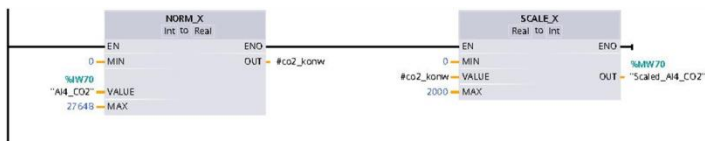
Rys. 15. Konwersja sygnału analogowego AI0.1 na poziom naświetlenia 0-100% oraz wyjścia analogowego QW80 na poziom użycia świetlówek 0-100%

Na rys. 16 pokazany jest fragment programu odpowiadający za regulację poziomu naświetlenia w trybie automatycznym.

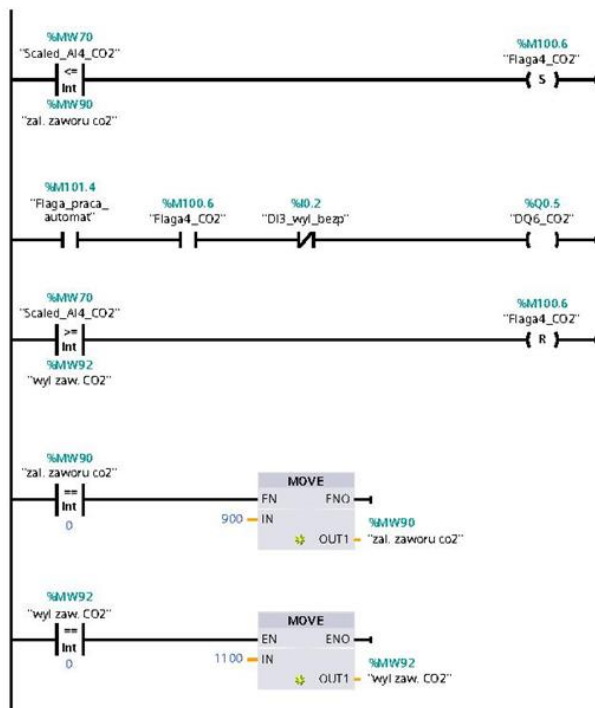


Rys. 16. Regulacja poziomu naświetlenia w trybie automatycznym

Zawartość dwutlenku węgla w powietrzu obiektu szklarniowego jest regulowana poprzez uwalnianie go z zainstalowanych w szklarni butli sterowanych poprzez czujnik, który mierzy jego zawartość w [PPM] (Parts per million) w zakresie 0-2000[PPM]. Standardowo, gdy stężenie zmaleje poniżej 900 PPM zostanie wywołony przekaźnik otwierający butlę, do czasu aż wartość CO₂ zostanie podniesiona do 1100PPM. Fragment programu konwersującego sygnał analogowy z wejścia AI0.1 na zawartość CO₂ 0-2000PPM pokazany jest na rys. 17.

Rys. 17. Konwersja sygnału analogowego AI0.1 na zawartość CO₂ 0-5000PPM

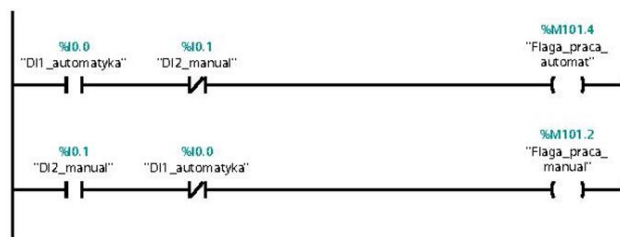
Część programu odpowiadająca za sterowanie zaworem CO₂ w trybie automatycznym pokazana jest natomiast na rys. 18.



Rys. 18. Część programu odpowiadająca za sterowanie zaworem CO₂ w trybie automatycznym

3.2.2. Tryb pracy manualnej

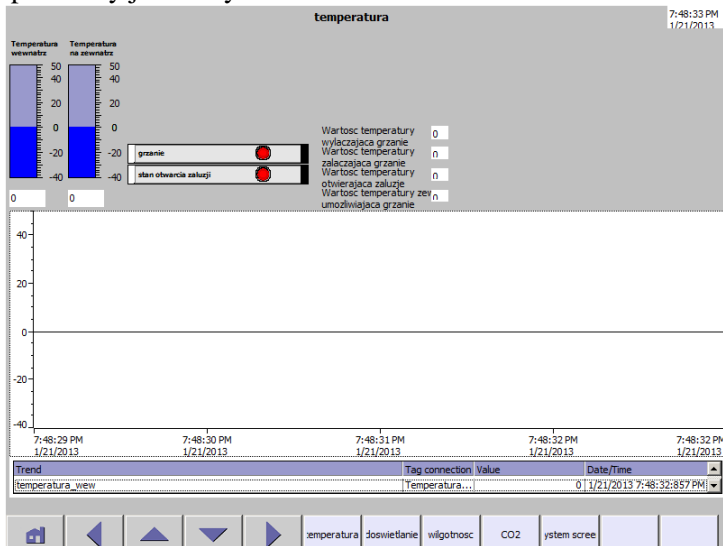
W trybie manualnym poprzez zwarcie wejść można wyzwoić poszczególne wyjścia przekaźnikowe. W przypadku doświetlania konieczne będzie dodatkowo uruchomienie w wizualizacji przycisku odpowiadającego za włączenie świetlówek. Fragment programu odpowiadający za przełączanie pomiędzy trybami ręcznym i automatycznym pokazany jest na rys. 19.



Rys. 19. Fragment programu odpowiadający za przełączanie pomiędzy trybami ręcznym i automatycznym

3.3 Wizualizacja programu sterowania

Wizualizacja sterowania została wykonana w środowisku WinCC firmy Siemens. Umożliwia ona podgląd stanu wszystkich wejść i wyjść wykorzystanych w sterowniku oraz podgląd wartości sygnałów analogowych z czujników. W wizualizacji jest też możliwa zmiana zadanych wartości progowych poszczególnych urządzeń w trybie pracy automatycznej. Dane archiwalne wartości wejść analogowych są zapamiętywane w postaci wykresów. Stworzonych zostało sześć masek reprezentujących dane, a przykładowy wygląd okna regulacji temperatury pokazany jest na rys. 20.



Rys. 20. Widok okna sterowania temperaturą w wizualizacji

3.4 Komunikacja pomiędzy urządzeniami

Komunikacja pomiędzy urządzeniami odbywa się poprzez sieć Ethernet. Wszystkie podzespoły są podłączone do routera, przy czym możliwe jest wykorzystanie komunikacji przewodowej i bezprzewodowej. Jedynym urządzeniem, które musi być podłączone za pomocą kabla jest sterownik S7, ze względu na wbudowane w niego wyjście Profinet. Dostęp do internetu udostępniony jest z modemu 3G podłączonego do portu USB routera za pośrednictwem karty SIM z aktywną taryfą mobilnego Internetu.



Rys. 21. Schemat ideowy połączenia urządzeń w sieć Ethernet [5]

4. Podsumowanie

Celem pracy było opracowanie systemu sterowania umożliwiającego regulację mikroklimatu panującego w obiekcie szklarniowym. W ramach pracy napisano i zrealizowano program sterujący mikroklimatem w obiekcie szklarniowym do sterownika Siemens serii S7-1200. Utworzono też wizualizację w środowisku WinCC. Komunikacja urządzeń została zrealizowana się poprzez sieć Ethernet z dostępem do Internetu.

Program sterowania, realizuje postawione zadania, pozwala na uruchomienie dwóch trybów pracy, manualnej i automatycznej, bez możliwości włączenia ich jednocześnie. W trybie pracy manualnej poprzez zwarcie poszczególnych wejść uruchamiane są urządzenia wykonawcze podłączone do wyjść przekaźnikowych sterownika, natomiast w drugim trybie wszystkie urządzenia są włączane automatycznie, w zależności od nastaw wpisanych w programie wizualizacyjnym. Po każdym ponownym uruchomieniu sterownika program wraca do nastaw sprzed utraty zasilania. Wartości poszczególnych wejść analogowych można obserwować w postaci trendów w wizualizacji.

Zaletą wykorzystanego rozwiązania jest podgląd najważniejszych czynników, od których jest zależny prawidłowy wzrost roślin w obiekcie szklarniowym, niezależnie od tego gdzie znajduje się użytkownik. Proces sterowania posiada wizualizację, która może być widoczna na urządzeniach wyposażonych w system Android z zainstalowanym programem VNC viewer. Ze sterownikiem, poprzez zainstalowany serwer VNC, można łączyć się zarówno w sieci Ethernet jak i Internet. Wizualizacja umożliwia zarówno podgląd jak i zmianę nastaw wartości uruchamiających poszczególne urządzenia wykonawcze podłączone do sterownika w trybie pracy automatycznej.

Dzięki zastosowaniu PAC możliwe jest sterowanie mikroklimatem uzależnione od fazy wzrostu roślin, co sprawia że taki system jest wydajniejszy od układów na bazie zwykłych regulatorów klimatu. Projekt można rozbudowywać poprzez moduły rozszerzeń o kolejne czujniki i elementy wykonawcze, co pozwala zaoszczędzić środki w dłuższej perspektywie czasu korzystania z opisanego systemu sterowania.

Bibliografia

1. BROEL-PLATER B., *Układy wykorzystujące sterowniki PLC projektowanie algorytmów sterowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008, s. 6-23. [aa1]
2. KURPASKA S., *Technika doświetlania roślin*, Hasło ogrodnicze, 07/2004 <http://www.ho.haslo.pl/article.php?id=1754> [3.12.2015] [aa14]
3. PUDELSKI T. pod red., *Uprawa warzyw pod osłonami*, PWRiL Warszawa 1998, wyd. III popraw, s. 29-46. [aa13]
4. RUTKOWSKI K., GRODNY K., *Sterowanie oraz wizualizacja procesem technologicznym w obiektach szklarniowych*, Inżynieria Rolnicza 3(121)/2010 online: [http://ir.ptir.org/artykuly/pl/121/IR\(121\)_2750_pl.pdf](http://ir.ptir.org/artykuly/pl/121/IR(121)_2750_pl.pdf) [3.12.2015] [3]
5. Instrukcja obsługi routera TL-MR3220 3G/3.75G Wireless N Router http://www.tp-link.com.pl/resources/document/datasheet/TL-MR3220_ds.zip [3.12.2015] [12]
6. *SIMATIC S7, Programowalny sterownik S7-1200*, Podręcznik systemu, wydanie 1, Warszawa 2011. [14]
7. EL-sc ściemniające stateczniki elektroniczne, materiały informacyjne firmy Helvar http://www.helvar.com/sites/default/files/ELsc_PL.pdf [aa8]
8. <http://ledowyswiat.pl/329-472-large/czujnik-zmierzchowy-010v-dsz-a101.jpg> [3.12.2015]
9. <http://members.optusnet.com.au/wiz007/co2%20bottle/co2bottle2.JPG> [3.12.2015] [7]
10. http://pl.wikipedia.org/wiki/Virtual_Network_Computing, 2012 [aa12]
11. http://www.fachowelektryk.pl/images/stories/oswietlenie/oprawy-oswietleniowe-na-swietlowki-liniowe/oprawy-oswietleniowe_6.jpg [3.12.2015] [8]
12. http://www.intelligentnedomy.pl/images/stories/produkty/dsz-a101/czujnik_dsz-a101_2.jpg [3.12.2015] [10]
13. <http://www.label.pl/po/miernik-co2-lb852.html> [3.12.2015]
14. <http://www.label.pl/po/rek760a.html> [3.12.2015] [1]
15. <http://www.nit.lt/images/default/source/keitiklis-hrt350.JPG> [3.12.2015] [11]
16. <http://www.osuszacze.watersmile.pl/materialy/info/big/42.png> [3.12.2015] [5]
17. <http://www.wilpo.biz.pl/img/zdj/poziome.jpg> [3.12.2015] [6]
18. https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?objkey=P_ST70_XX_04757 [3.12.2015]
19. Karta informacyjna wyrobu CD-Pxx-00-0 kanałowy przetwornik stężenia CO2 http://www.ztch.pl/oferta/jc/06_Pomiar%20i%20regulacja%20innych%20parametrow/03_JC_przetw_CO2_CDPxx.pdf [3.12.2015]
20. Materiały informacyjne firmy AWMC <http://www.osuszacze.-watersmile.pl/przemyslowe/grupa-awmc.html>, [3.12.2015] [aa4]
21. Materiały informacyjne firmy Centrum Nagrzewnic <http://www.centrum-nagrzewnic.pl/nagrzewnica-elektryczna-master-b18-epr-p-8.html>, [3.12.2015] [aa5]

22. Materiały informacyjne firmy Wilpo <http://www.wilpo.biz.pl/oferta.html#-nawilzacz>, [3.12.2015]

*W rozdziale wykorzystano fragmenty pracy inżynierskiej pt.: System sterowania mikroklimatem w szklarni z wykorzystaniem PLC, wykonanej przez Macieja Wawrzyniaka pod kierownictwem dr hab. inż. Andrzej Rybarczyka i obronionej w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Lesznie w roku 2013.

ZASTOSOWANIE WYBRANYCH NARZĘDZI LEAN MANUFACTURING DO ZWIĘKSZANIA EFEKTYWNOŚCI PRACY W PRODUKCJI MAŁOSERYJNEJ WIELOASORTYMENTOWEJ

Waldemar Woźniak

1. Wstęp

W czasach dużej rywalizacji na rynku, nowoczesne rozwiązania w obszarze zarządzania stanowią m.in. podstawę do utrzymania, a nawet wzrostu pozycji gospodarczej przedsiębiorstw. Istotnym argumentem pozycjonującym przedsiębiorstwa wśród konkurencji jest ich innowacyjność, postrzegana nie tylko z pozycji produktów czy usług, ale również w aspekcie procesów wewnętrznych. Stąd też, skupienie się na kosztach, jakości i terminach wytwarzania, wymusza reorganizację, usprawnienia, a przede wszystkim zmiany w obrębie zarządzania.

Lean Manufacturing jest odpowiedzią na potrzeby usprawnień i stanowi zbiór metod i narzędzi skupiających się na wyeliminowaniu strat, które opóźniają działania przedsiębiorstwa. Stąd też Lean koncentruje się na poszukiwaniu drogi, w której redukcja wybranego parametru (koszt, czas, jakość) pośrednio wpłynie na zaspokojenie potrzeb klienta. Wówczas oceną eliminacji wszelkich strat w przedsiębiorstwie jest wzrost wskaźników efektywności procesów oraz wydajności pracy zasobów.

Lean Manufacturing [1] jest filozofią zarządzania, polegającą na nieustannym eliminowaniu marnotrawstwa, zdefiniowanego jako wszystkie czynności, inwestycje i procesy nie dodające wartości do produktu lub usługi z punktu widzenia klienta. To podejście ma na celu zwiększenie efektywności przedsiębiorstwa tak, by było ono konkurencyjne na rynku. Lean pokazuje, że można tego dokonać bez redukcji miejsc pracy czy też zwiększania obciążenia pracowników dodatkową pracą, a poprzez zaangażowanie kadry menadżerskiej w doskonaleniu systemu pracy, który ma być oparty na wymianie informacji, odpowiedzialności i pracy zespołowej.

Narzędzi i metod Lean Manufacturing jest bardzo wiele. Najpopularniejszymi są 5S (porządek i organizacja pracy), SMED (redukcja czasu przezbrojeń), Standaryzacja Pracy, Poka -Yoke (zapobieganie błędom), Ciągły Przepływ, System Kanban (system ssący) czy TPM (utrzymanie ruchu). W przypadku przedsiębiorstw, gdzie występuje produkcja małoseryjna i wieloasortymentowa, najważniejszymi narzędziami są: 5S, Just In Time, SMED, Zarządzanie przez cele czy Heijunka. Narzędzia dobierane są indywidualnie do każdego przedsiębiorstwa w zależności od potrzeb i możliwości wykorzystania.

2. Diagnoza problemu w obszarze zarządzania zasobami ludzkimi w produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej – studium przypadku

Przytoczone poniżej badania przeprowadzono na podstawie wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego w województwie bydgoskim. Podstawową operacją technologiczną w procesie produkcyjnym, która stanowiła istotny problem organizacyjny był montaż wyrobów gotowych tj. specjalistycznych przewodów niskoprądowych do podłączania urządzeń medycznych. Opisywane przedsiębiorstwo powstało w 2005 roku i sukcesywnie się rozwija, co można zaobserwować poprzez ciągle zwiększenie wolumenu zamówień.

Mimo braku firm konkurencyjnych (analiza dotyczyła przedsiębiorstw o podobnej branży w promieniu 100 km od aktualnej siedziby) oraz z uwagi na fakt, że badane przedsiębiorstwo jest głównym producentem i dostawcą wymienionych wyrobów jednostkowych, swoją politykę pro-klienta skierowało na ciągły rozwój i coraz szybsze zaspokojenie jego potrzeb. Mankamentem przyjętej strategii jest fakt, że główna operacja technologiczna – montaż, jest wykonywana ręcznie z drogich, ale łatwo dostępnych materiałów i bazuje na doświadczeniu manualnym pracowników linii produkcyjnej. Stąd charakterystyka montażu wiąże się z trudnością ustalenia normy czasowej w odniesieniu do czynności, a w konsekwencji do wyrobu (czas wykonania czynności, czas montażu wyrobu). Ten problem potęguje duża różnorodność pojedynczych zleceń o bardzo małej liczbie powtarzalności. To w efekcie angażuje znaczącą ilość pracowników i utrudnia proces planowania zleceń oraz zarządzania zasobami ludzkimi.

Na chwilę obecną w procesie montażu pracuje 25 pracowników i mimo, że sam montaż składa się z czterech czynności (dokładnie: zdjęcie izolacji i nałożenie osłon, pinowanie, łączenie-lutowanie, zakładanie osłon i kontrola wewnętrzna), to jest on bardzo prosty i nieskomplikowany. Z kolei różnorodność zamówień, bardzo krótkie serie (kilka, kilkanaście wyrobów na zlecenie) oraz różne czasy montażu dla wyrobów nietypowych powodują trudność w efektywnym planowaniu zadań dla dostępnych zasobów ludzkich. Poszukiwanie rozwiązań opartych na buforowaniu wyrobów poprzez model magazynowania jest natomiast nie możliwy z uwagi na ciągle zmiany zamówień, różnorodność oraz brak powtarzalności lub rzadkość ich występowania. Należy jeszcze raz podkreślić, że specyfika montażu specjalistycznych kabli niskoprądowych wiąże się z brygadowym (brygada to 4 pracowników, gdzie każdy pracownik jest odpowiedzialny za jedną z czterech czynności w procesie montażu) systemem pracy, polegającym na tym, że każda brygada jest odpowiedzialna za montaż przydzielonego zlecenia. Zatem częstym przypadkiem jest fakt, nierównomiernego rozłożenia w czasie zleceń montażu na dostępne brygady i duże czasy oczekiwania na kolejne zlecenie.

W prezentowanym przypadku pomierzono i przedstawiono średnie czasy montażu wybranych wyrobów (tabela nr 1).

Tab. 1. Średnie czasy montażu w analizowanym przypadku

Wyroby	Czas produkcji
Przewód A (sek.)	271 s
Przewód B (sek.)	327 s
Przewód C (sek.)	420 s

Jak widać z przedstawionych czasów, montaż wyrobów jest bardzo zróżnicowany, a w przypadku realizacji małych partii złożonych z kilku wariantów, powoduje zakłócenia w równomiernym obsadzeniu pracowników (brygad) do realizacji dziennego wolumenu zleceń. Należy przy tym pamiętać, że jeżeli pracownik będzie się permanentnie przezbierał (wykonywał różne czynności dla różnych wyrobów), to jego efektywny czas pracy się zmniejszy, a czas montażu wyrobu (zleceń) wzrośnie.

Tym bardziej jest to uciążliwe w aspekcie realizacji misji i celów strategicznych badanego przedsiębiorstwa do których należą:

- szybkie reagowanie na potrzeby i zamówienia klienta (ograniczanie czasu montażu i dostaw do siedziby klienta),
- poprawa pracy zespołowej,
- jakość i uznanie marki,
- wzrost stopy zysku,
- zwiększenia satysfakcji klientów.

W celu szybkiego reagowania na zmiany w popycie oraz utrzymania aktualnego systemu przyjmowania zleceń, przedsiębiorstwo zaczęło poszukiwać usprawnień. Miałyby one umożliwić efektywne planowanie i realizowanie zamówień pod kątem równomiernego obciążenia pracowników (brygad). Wówczas sumaryczny czas realizacji zleceń i tym samym czas oczekiwania klientów na wyroby znacząco zmaleje. Dla pełnego zrozumienia sytuacji przedsiębiorstwa oraz planowanych usprawnień, przeanalizowano wybiórczo kilka zamówień oraz dokonano oceny efektywności planowania zasobów ludzkich na podstawie wybranych parametrów i wskaźników.

3. Propozycja doboru narzędzi Lean do produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej – studium przypadku

3.1 Analiza przypadku

W badanym przedsiębiorstwie analizie poddano zlecenia na trzy różne wyroby: przewód niskoprądowy do urządzeń medycznych grupy A (w skrócie wyrób A – określenie umowne z uwagi na zachowanie anonimowości przedsiębiorstwa i tajemnicy handlowej), przewód niskoprądowy do urządzeń medycznych typu B (w skrócie wyrób B), przewód niskoprądowy do urządzeń typu C (w skrócie wyrób C). Wszystkie przedstawione wyroby występowały w różnych wariantach, które różniły się od siebie m.in. długością przewodu, typem zakończenia, ilością żył itp.

(tabela nr 2). Proces produkcji i montażu dotyczył małych partii wyrobu w różnych wariantach, około 5 – 20 szt. na zamówienie, z natychmiastową dostawą do klienta. Ta specyfika pracy była zbliżona do jednego z rozwiązań filozofii Lean czyli Just-In-Time. Zatem badane przedsiębiorstwo całkowicie skracало łańcuch dostaw, eliminując funkcje magazynów (zarówno surowców czy półproduktów jak również wyrobów gotowych).

Tab. 2. Produkty i ich warianty

Rodzaj towaru	Wariant
Wyrób A	AI
	AII
	AIII
Wyrób B	BI
	BII
	BIII
	BIV
	BV
Wyrób C	CI
	CII

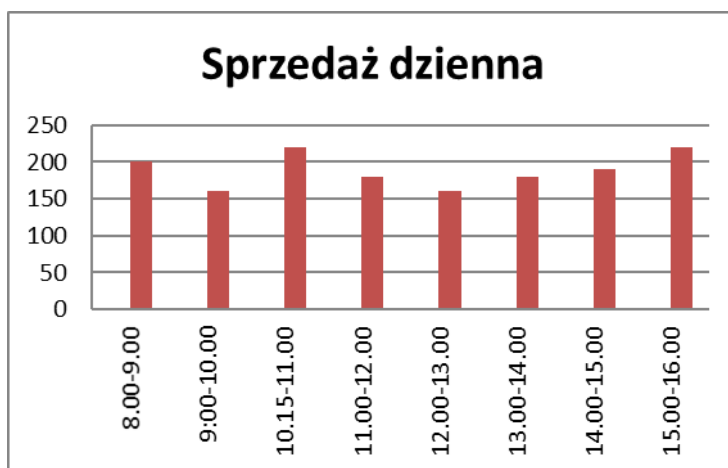
Przyjmowanie, a następnie realizacja zleceń bazowała na ich automatycznym przekazywaniu do produkcji w dniu ich rejestracji. Zdarzały się przypadki przesunięć zleceń na kolejne dni robocze z uwagi na ich nadmiarowość i brak wolnych mocy produkcyjnych (wolnych brygad). W przyjętym systemie przyjmowania zleceń, proces planowania był zdeterminowany dwoma parametrami: dostępną brygadą i dostępnym stanowiskiem montażowym. Z uwagi na gniazdowy system organizacji pracy oraz skracanie czasu oczekiwania na zlecenie i materiał, pracownik odpowiedzialny za sterowanie procesem montażu (mistrz), przygotowywał stanowiska pracy uzbrajając je w kartę zlecenia i niezbędny materiał. Następnie brygady, które kończyły jedno zlecenie przekierowywał na kolejne stanowisko pracy i przydzielał następne zlecenie. Ten model planowania i sterowania montażem był ukierunkowany na zlecenie i wykorzystywał zasadę FIFO (First-In-First-Out). W efekcie, wchodzące zamówienia ustawiały się w kolejce, a pracownicy produkcyjni (brygady), którzy wykonali jedno zamówienie, pobierali następne wolne.

Podobnie funkcjonowała dystrybucja, czyli każde zrealizowane zamówienie było pakowane, układane do pojemników transportowych i pozostawiane na stanowisku pracy. W momencie opuszczenia stanowiska pracy przez brygadę realizującą zlecenie (brygada przechodziła do następnego stanowiska pracy i realizowała kolejne zamówienie) mistrz zmianowy transportował wyroby do magazynu i w ten sposób rozliczał się ze zrealizowanego zamówienia. W drodze powrotnej pobierał kolejne zlecenie oraz materiał i organizował pracę na zwolnionym stanowisku.

Z uwagi na zróżnicowane zamówienia (wyrób, wariant) oraz parametry (ilość i szacunkowy czas), można było zauważyć nierównomierne obciążenie pracą,

szczególnie w okresie końca każdej zmiany. Zlecenia, których czas realizacji przekraczał granicę zmianową były wstrzymywane, brygady zwalniane z dalszej pracy, a nierozpoczęte zlecenia przechodziły na kolejną zmianę. Kolejnym utrudnieniem w relacji plan – wykonanie wyrobu były szacunkowe normatywy (czasy wykonania). Z uwagi na nietypowość zleceń i brak ich powtarzalności, opracowane czasy wykonania danego przewodu były obarczone wysokim błędem. To z kolei niejednokrotnie doprowadzało do opóźnień w realizacji zaplanowanych zleceń, a w konsekwencji zwiększało nierównomierność w obciążaniu pracą poszczególne brygady.

Wyżej wymienione ograniczenia, które spowodowały nierównomierne obciążenia zasobów, bezpośrednio wpływały na ilość montowanych przez brygady przewodów w badanych (ustawionych regularnie wg zmianowego czasu pracy) interwałach czasowych oraz na kompletację dostaw i realizację zamówień złożonych przez klientów. Charakterystyka ilościową montażu i sprzedaży poszczególnych przewodów w analizowanym okresie (dniu pracy) przedstawia rys. 1. Należy przy tym stwierdzić, że charakterystyki kolejnych zmian i dni roboczych był podobne.



Rys. 1. Ilość montowanych i sprzedawanych przewodów w analizowanych interwałach czasowych w badanym okresie

Analiza ilości montowanych i sprzedawanych przewodów w ramach jednej zmiany, jednego dnia pracy na podstawie przyjmowanych zleceń nasunęła następujące wnioski:

- duża zmienność i nieregularność, a przede wszystkim nietypowość i brak powtarzalności w zamówieniach jednorodnego wyrobu (np. wyrób A, wariant AI) przekładała się na brak kompletacji zleceń montażu np. w godzinach 8.00 – 9.00 popyt na wariant AI wynosi 30 sztuk, a w godzinach od 12.00 – 13.00 0 sztuk,
- przyjmowanie dużej ilości zamówień (wyroby jednostkowe i niepowtarzalne) w czasie rzeczywistym i automatyczne zlecenie ich do montażu powodowało, że w analizie pracy zmianowej pojawiała się duża

dysproporcja ilościowa, co z kolei wskazywało nie nieefektywność wykorzystania dostępnych zasobów ludzkich, np. w godzinach 8.00 – 9.00 popyt na produkty wynosi 200 sztuk, a w godzinach od 12.00 – 13.00 160 sztuk,

- przyjmowanie jednostkowych zamówień na np. 1 lub 2 przewody niskoprądowe i angażowanie do ich montażu brygad cztero-osobowy zakłóca regularną pracę brygad (ciągłe przebrojenia bazujące na specyfice montażu nowego wyrobu),
- występowanie zmiennego obciążenia stanowisk pracy w związku ze zmiennym popytem, które permanentnie wprowadza zmiany zarówno w procesie montażu jak również w pozostałych procesach związanych z transportem wewnątrz-zakładowym, składowaniem buforowym i magazynowym oraz sprzedażą i dystrybucją do klienta.

Wszystkie przedstawione powyżej wnioski można zaobserwować na podstawie dokładnej analizy zleceń montażowych realizowanych w ciągu jednej zmiany dnia roboczego (tabela 3). W przypadku produkcji małoseryjnej, a nawet jednostkowej i nie powtarzalnej, obserwacja ilości montowanych przewodów w poszczególnych godzinach pracy wskazuje na trudność w ich planowaniu i pełnemu wykorzystywaniu dostępnych zasobów ludzkich.

Tab. 3. Wielkość zamówień (ilość przewodów) z badanego dnia pracy

Godziny na zmianę	Łącznie	AI	AII	AIII	BI	BII	BIII	BIV	BV	CI	CII
8.00-9.00	200	30	20	40	20	0	0	40	30	20	0
9:00-10.00	160	30	30	10	0	20	30	0	20	20	0
10.15-11.00	220	40	20	40	30	0	30	40	0	20	0
11.00-12.00	180	10	0	30	0	30	30	35	20	15	10
12.00-13.00	160	0	30	20	40	0	0	30	30	0	10
13.00-14.00	180	20	10	10	40	30	30	20	0	20	0
14.00-15.00	190	0	20	30	30	30	40	0	20	0	20
15.00-16.00	220	20	50	50	10	0	0	50	20	20	0
Suma	1510	150	180	230	170	110	160	215	140	115	40

Podsumowując badany przypadek zawierał zamówienia o łącznej ilości 560 wyrobów typu A montowanych w trzech wariantach, 795 wyrobów typu B, montowanych w pięciu wariantach i 155 wyrobów typu C, montowanych w dwóch wariantach.

W następstwie tego, do kontynuacji i oceny prowadzonych badań w zakresie proponowanych zmian organizacyjnych oraz usprawnień zwiększających efektywność pracy zasobów ludzkich opracowano narzędzia w postaci wskaźników.

W tym celu obliczono:

- Średni montaż / średnia sprzedaż przewodów na osobę:

- Liczba pracowników – 25
 Dzienny montaż / sprzedaż – 1510
 Sprzedaż na osobę = Dzienna sprzedaż/Liczba pracowników = $1510/25=60,4$
- b) Jednostkowy koszt robocizny
 Koszt utrzymania jednego pracownika dziennie – 100 zł
 Suma kosztów utrzymania 25 pracowników dziennie - $100 \text{ zł} * 25 = 2500 \text{ zł/dziennie}$
 Jednostkowy koszt robocizny = koszt pracy (utrzymania pracowników) / dzienną sprzedaż
 Jednostkowy koszt robocizny = $2500/ 1510 = 1,66 \text{ zł}$
- Podsumowanie opisanych wskaźników przedstawia tabela 4.

Tab. 4. Wskaźniki do analizy zmian w badanym systemie pracy

Wskaźnik	Wartość
Liczba pracowników (osoby)	25
Dzienny montaż / sprzedaż na osobę (szt.)	60
Koszt utrzymania jednego pracownika dziennie (zł)	100
Koszty utrzymania wszystkich pracowników na zmianie (zł)	2500
Jednostkowy koszt robocizny (zł)	1,66

Wykorzystując informację na temat ilości zleceń na wyroby oraz szacowane czasy montażu (tabela 1), obliczono liczbę pojedynczych pracowników potrzebną do ich wykonania w podziale na godziny pracy w okresie jednej zmiany dnia roboczego. Obliczenia przeprowadzono dwoma sposobami, tj. na podstawie szacowanych czasów wstępnie pomierzonych oraz wykorzystując wskaźnik TAKT TIME.

W pierwszym przypadku, aby zrealizować dzienne zamówienie potrzeba 476 825 sekund, tj. 7 847 minut. Wartość ta została wyznaczona na podstawie danych z tabeli 1 i tabeli 2. Wówczas, zakładając, że nominalny czas pracy pracownika wynosi 8h na zmianę pomniejszony o 15 min. przerwę czyli 465 minut, możemy określić zapotrzebowanie na pracowników:

$$\text{Liczba potrzebnych pracowników} = 7847/465 = 17 \text{ pracowników}$$

Jest to oczywiście uśredniona ilość pracowników na zmianę. Natomiast chcąc analizować zapotrzebowanie pracowników w ciągu godziny według pojawiających się zleceń należałoby przeprowadzić dodatkowe obliczenia tak, jak zaprezentowano w tabelach 5 i 6.

Tab. 5. Ilość wyrobów na zamówienie w poszczególnych godzinach zmiany produkcyjnej

Godziny pracy na zmianę	Sumaryczna ilość wyrobów	w tym: Typ A	w tym: Typ B	w tym: Typ C
8.00-9.00	200	90	90	20
9.00-10.00	160	70	70	20
10.15-11.00	220	100	100	20
11.00-12.00	180	40	115	25
12.00-13.00	160	50	100	10
13.00-14.00	180	40	120	20
14.00-15.00	190	50	120	20
15.00-16.00	220	120	80	20
SUMA	1510			

Tab. 6. Czas realizacji zleconych zamówień w rozbiciu na godziny zmiany produkcyjnej

Godziny pracy na zmianę	Typ B	Typ C	Czas trwania (sec)	Minuty
8.00-9.00	90	20	62 220	1 037
9.00-10.00	70	20	50 260	838
10.15-11.00	100	20	68 200	1 137
11.00-12.00	115	25	58 945	982
12.00-13.00	100	10	50 450	841
13.00-14.00	120	20	58 480	975
14.00-15.00	120	20	61 190	1 020
15.00-16.00	80	20	67 080	1 118

Na tej podstawie można zestawić wyniki pomiarów i określić zapotrzebowanie na pracowników na podstawie czasów wstępnie pomierzonych (szacunkowych) do realizacji zamówień w ramach dziennej produkcji. Wyniki pomiarów zapisano w tabeli 7.

Analizując dane liczbowe w tabeli 7, wyraźnie widać, że zapotrzebowanie na zasoby ludzkie w każdej godzinie pracy jest inne i waha się pomiędzy 14 pracownikami w godzinach od 9.00 do 10.00, a 25 pracownikami w godzinach od 10.15 do 11.00. Z wartości średniej tj. 17 pracowników na zmianę a wartości rzeczywistej 25 pracowników na zmianę wynika, że koszty montażu w kosztach osobowych są o ponad 30% procent zawyżone z tytułu przyjętej organizacji pracy.

Tab. 7. Liczba pracowników potrzebnych w ciągu każdej godziny pracy (normatywy)

Godziny pracy	Minuty	Czas pracy pracownika	Liczba pracowników
8.00-9.00	1037	60	17
9.00-10.00	838	60	14
10.15-11.00	1137	45	25
11.00-12.00	982	60	16
12.00-13.00	841	60	14
13.00-14.00	975	60	16
14.00-15.00	1020	60	17
15.00-16.00	1118	60	19
		Średnia	17

Druga metoda wyznaczania zapotrzebowania na zasoby ludzkie do realizacji zamówień w analizowanym przypadku bazuje na wskaźniku TAKT TIME czyli na określeniu czasu pracy gniazda montażowego względem zamówień klienta:

$$\text{TAKT TIME} = \frac{\text{dostępny czas montażowy}}{\text{ilościowe zapotrzebowanie klienta}}$$

Proces tworzenia tego wskaźnika przebiega w następujących krokach:

Krok 1. - Obliczenie czasu Takt Time dla każdej godziny pracy. (tabela 8)

Tab. 8. Takt Time dla każdej godziny pracy w ciągu zmiany

Godziny pracy na zmianę	Ilość	Takt Time
8.00-9.00	200	18
9.00-10.00	160	23
10.15-11.00	220	12
11.00-12.00	180	20
12.00-13.00	160	23
13.00-14.00	180	20
14.00-15.00	190	19
15.00-16.00	220	16

Krok 2 – określenie udziału procentowego zapotrzebowania czasu pracy na danych wyrób z dokładnością do wariantu.

Ze względu na to, że suma czasów cykli dla każdego wyrobu jest różna, należy obliczyć średnie czasy wynikające udziału czasu pracy montażu poszczególnych wyrobów w kolejnych godzinach do nominalnego czasu pracy w ciągu zmiany. Stąd udział procentowy czasu montażu wyrobów na zmianę przedstawia tabela 9,

natomiast w kolejnych godzinach zmiany tabela 10. Analizując dane z tabeli 9, nie widać zagrożenia wynikającego z przyjętego systemu pracy. Wszystkie wyroby mają swoje miejsce na montaż w czasie trwania zmiany. Z kolei analizując tabelę 10, już wyraźnie widać, jak duża zmienność panuje w poszczególnych godzinach pracy, np. w pierwszej godzinie pracy zapotrzebowanie na wyrób A jest na poziomie 45%, w kolejnych godzinach maleje do poziomu 22%, aby w końcowej części zmiany wzrosnąć do wielkości 54%. Jeżeli przyjęlibyśmy zasadę tworzenia brygad specjalizujących się w wybranym wyrobie to efektywność pracy znacząco by zmalała.

Tab. 9. Udział procentowy czasu montażu wyrobów w nominalnym czasie pracy zmiany

Rodzaj wyrobu	Wariant	Ilość	Udział % czasu montażu	Suma wariantów
Wyrób A	AI	150	9,93%	37,09%
	AII	180	11,92%	
	AIII	230	15,23%	
Wyrób B	BI	170	11,26%	43,38%
	BII	110	7,28%	
	BIII	160	10,60%	
	BIV	215	14,24%	
	BV	140	9,27%	19,54%
Wyrób C	CI	115	7,62%	
	CII	40	2,65%	

Tab. 10. Procentowy udział montażu wyrobów w poszczególnych godzinach dziennej zmiany

Udział w godzinie	8.00-9.00	9.00-10.00	10.15-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00
Wyrób A	45,00%	43,75%	45,45%	22,22%	31,25%	22,22%	26,32%	54,55%
Wyrób B	45,00%	43,75%	46,15%	63,89%	68,75%	66,67%	63,16%	36,36%
Wyrób C	10,00%	12,50%	8,40%	13,89%	0,00%	11,11%	10,53%	9,09%

Krok 3 – wyznaczenie czasu cyklu na podstawie wzoru (wyliczenia przedstawiono w tabeli 11):

$$\text{Czas cyklu} = \% \text{ udział produktu A} * \text{czas trwania montażu produktu A} + \% \text{ udział produktu B} * \text{czas trwania montażu produktu B} + \% \text{ udział produktu C} * \text{czas trwania montażu produktu C}$$

Tab. 11. Czas cyklu w rozbiciu na godziny analizowanej zmiany

Czas cyklu w godzinach na zmiany	8.00-9.00	9.00-10.00	10.15-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00
	311,1	314,1	309,4	327,5	309,5	324,9	322,1	304,9

Krok 4 – Wyznaczenie ilości pracowników do montażu przyjętych zamówień na podstawie wzoru (obliczenia przedstawiono w tabeli 12):

$$\text{Liczba pracowników} = \text{Czas cyklu} / \text{Takt Time}$$

Tab. 12. Liczba operatorów w poszczególnych godzinach (wykorzystując TAKT TIME)

Liczba operatorów w godzinowo	8.00-9.00	9.00-10.00	10.15-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	Średni a
	17	14	25	16	14	16	17	19	17

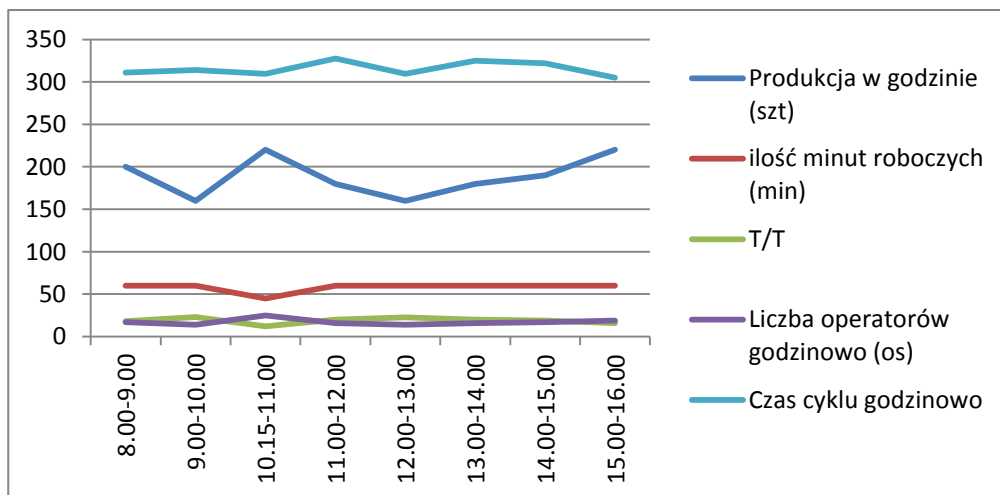
Wykonane powyżej obliczenia zestawiono i zapisano w tabeli 13 oraz pokazano na rysunku 2.

Tab. 13. Zestawienie wskaźników w układzie godzinowego systemu pracy na zmianę

Godziny	8.00-9.00	9.00-10.00	10.15-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00
Produkcja w godzinie (szt.)	200	160	220	180	160	180	190	220
Ilość minut roboczych (min)	60	60	45	60	60	60	60	60
T/T	18	23	12	20	22,5	20	19	16
Liczba operatorów w godzinowo (os)	17	14	25	16	14	16	17	19
Czas cyklu godzinowo	311,1	314,1	309,4	327,5	309,5	324,9	322,1	304,9

Mimo, że obie metody tj. pomiaru szacowanych czasów wstępnie pomierzonych oraz Takt Time pokazują te same wyniki w zakresie zapotrzebowania na pracowników, to drugie rozwiązanie prezentuje znacznie więcej informacji na temat

zmienności i nierównomierności obłożenia stanowisk/gniazd montażowych zasobami ludzkimi.



Rys. 2. Zestawienie wskaźników w godzinowym cyklu zmianowym

Zatem analizując wykonane obliczenia i obserwując ich zachowanie w postaci reprezentacji graficznej (rysunek 2) poszukuje się takiego rozwiązania, które doprowadziłoby do wygładzenia zapotrzebowania pracowników w poszczególnych godzinach pracy w trakcie zmiany. Chodzi o doprowadzenie do sytuacji, w której, w każdej godzinie pracy zmianowej będzie zapotrzebowanie na taką samą ilość pracowników do montażu przewodów niskoprądowych.

3.2 Propozycja rozwiązania

Analizując zaprezentowaną w poprzednim rozdziale sytuację organizacji pracy badanego przedsiębiorstwa, zdiagnozowano szereg zakłóceń w obszarze zarządzania dostępnymi zdolnościami produkcyjnymi (zasoby ludzki, stanowiska pracy). Do najważniejszych można zaliczyć:

1. Przedsiębiorstwo ponosi wysokie koszty związane z utrzymaniem zapasów – surowców do produkcji (zlokalizowanych w magazynie surowców) z uwagi na przyjętą zasadę automatycznego przekazywania zamówień od klientów do procesu produkcyjnego (montażu), mając na uwadze fakt, że są one rzadko powtarzalne i dotyczą jednostkowych wyrobów;
2. Przedsiębiorstwo otrzymuje dużo zamówień ma wyroby jednostkowe lub w partiach o charakterze małoseryjnym z krótkimi czasami realizacji i aktualny sposób planowania zleceń produkcyjnych wprowadza dużą zmienność obciążenia brygad na które składają się pracownicy produkcyjni w układzie godzinowym na zmianie produkcyjnej;

3. Przedsiębiorstwo nie radzi sobie z planowaniem produkcji do tego stopnia, że stanowiska robocze są nierównomiernie obciążane, zasoby ludzkie pracują nieefektywnie, powstają zakłócenia w dystrybucji, a w konsekwencji klienci nie otrzymują zamawianych wyrobów na czas.

Na tej podstawie zdefiniowano cel projektowanego rozwiązania, polegający na opracowaniu nowej koncepcji godzinowego (w ramach zmiany produkcyjnej) planowania zleceń produkcyjnych ukierunkowanego na równomierne obciążanie zasobów ludzkich. Przyjęty cel wiąże się z wygładzeniem obciążania pracowników w procesie montażu. To z kolei wiąże się z planowaniem i kontrolą ilości przyjmowanych zleceń na produkcję (pośrednio operować odpowiednim wolumenem zamówień od klientów) i bilansowaniem ze stałą ilością dostępnych pracowników na zmianie, przy jednoczesnym założeniu, że wszystkie zasoby będą równomiernie obciążone pracą.

W koncepcji przyjętego rozwiązania wprowadzono dokładną analizę przychodzących zamówień w kierunku ich dzielenia na mniejsze tj. planowania względem sztywnych reguł czasowych. Oznacza to, że determinantą planowania była godzina pracy zasobu, a nie jak wcześniej czas wykonania zlecenia produkcyjnego (na podstawie zamówienia od klienta). W efekcie przyjętej koncepcji dopuszczono możliwość dzielenia zamówienia na takie części, które gwarantowałyby zamknięcie (wykonanie) w pełnej godzinie pracy zmianowej. Mimo, że to rozwiązanie generuje większą ilość przebrojeń oraz możliwość wykonywania jednego zamówienia (zlecenia produkcyjnego) przez wiele zasobów to jednocześnie redukuje się nierównomierne obciążenia.

W celu przeprowadzenia badań projektowanego rozwiązania wykorzystano narzędzie do analizy warunkowej tj. dodatek Solver do MS Excel. Z pomocą Solvera dostosowano ilości przewodów do montażu do zmieniającego się czasu dyspozycji zasobów produkcyjnych. Ograniczeniem w poszukiwaniu rozwiązania zbliżonego do optymalnego były sztywno ustawione godziny pracy w ramach zmiany produkcyjnej. W efekcie programowania za pomocą dodatku Solver, zaplanowano próbny plan produkcji dla poszczególnych stanowisk roboczych, który już po pierwszych obliczeniach pokazał możliwość redukcji zróżnicowanego obciążania zasobów ludzkich zleceniami (częściowymi zamówieniami od klientów) produkcyjnymi.

Kolejnym krokiem było opracowanie uniwersalnego programu planowania produkcji (montażu) w oparciu o przyjmowane zamówienia od klientów. W tym celu sformułowano następujące założenie:

1. Przedsiębiorstwo ma wdrożone narzędzie Lean Manufacturing 5S.
2. Przedsiębiorstwo posiada stałą liczbę pracowników produkcyjnych i dwóch operatorów, którzy podają materiał i odbierają gotowy produkt.
3. Każdy pracownik będzie pracował samodzielnie, oznacza to, że nastąpi rezygnacja z brygadowego systemu pracy, a wszystkie cztery czynności montażowe będzie mógł wykonywać ten sam pracownik.
4. Pracownicy są mobilni – nie muszą pracować w jednym miejscu, wszystkie narzędzia noszą ze sobą, mogą zmieniać miejsce pracy.
5. Pracownicy otrzymują materiały na czas, a po wykonaniu wyrobu następuje ich odbiór przez operatora.

6. Przedsiębiorstwo w każdej chwili pracy posiada materiały do wyrobu zamówionych wyrobów.
7. Pracownicy wytwarzają wyroby w założonym czasie, tj. nie istnieją opóźnienia.

Na tym etapie badań oprogramowano narzędzie do analizy danych w dodatku Solver, uwzględniając trzech pracowników i trzy wyroby. Ograniczenia dodatku Solver w MS Excel nie pozwoliły rozszerzyć programowania do wszystkich 25 pracowników montażowych. Nie mniej jednak, z punktu widzenia koncepcji i opracowanego modelu, wspartego narzędziem informatycznym, można potwierdzić jej słuszność oraz możliwość praktycznego zastosowania. Obliczenia wykonane za pośrednictwem dodatku Solver zaprezentowano w tabeli 14.

Tab. 14. Planowanie zleceń z użyciem narzędzia Solver

Zasoby:	Pracownik1			Pracownik2			Pracownik 3						
Godziny:	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Suma	Suma A	Suma B	Suma C
08:00	1	0	2	0	4	1	4	0	2	14	5	4	5
09:00	0	2	1	1	3	1	3	0	2	13	4	5	4
10:00	3	1	1	0	4	2	0	0	3	14	3	5	6
11:00	5	0	0	0	2	2	0	1	1	11	5	3	3
12:00	2	1	1	1	1	2	0	1	1	10	3	3	4
13:00	1	0	2	0	5	0	3	0	4	15	4	5	6
14:00	0	1	2	2	0	2	1	3	1	12	3	4	5
15:00	3	0	0	0	0	2	0	5	0	10	3	5	2
Razem										99	99		

Jak widać z powyższego zestawienia, w okresie pierwszej godziny pracy, dzieląc zamówienie od klienta na pojedyncze zlecenia na konkretne wyroby uzyskano następującą sytuację:

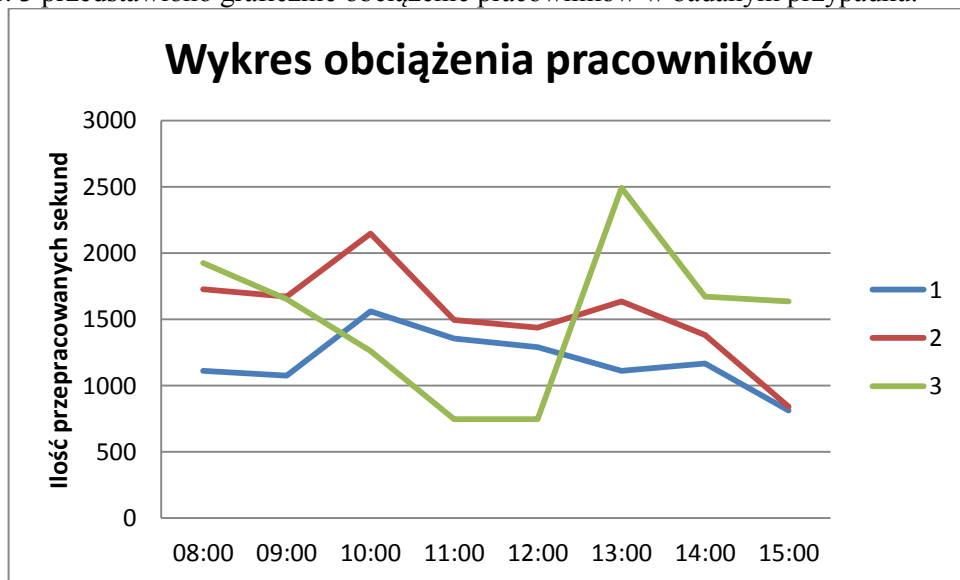
- wyrób A może być wykonywany przez dwóch pracowników jednocześnie,
- wyrób B przez jednego pracownika, a
- wyrób C przez wszystkich trzech pracowników.

Tym samym rozkładając równomiernie obciążenie pracą wszystkich dostępnych pracowników. Na tej podstawie prześledźmy czasy obciążenia pracowników w poszczególnych godzinach pracy na zmianie produkcyjnej (tabela 15).

Tab. 15. Obciążenie czasowe pracowników

Godziny pracy	Czas pracy w sek.		
	Pracownik 1	Pracownik 2	Pracownik 3
08:00	1111	1728	1924
09:00	1074	1672	1653
10:00	1560	2148	1260
11:00	1355	1494	747
12:00	1289	1438	747
13:00	1111	1635	2493
14:00	1167	1382	1672
15:00	813	840	1635
Razem	9480	12337	12131

Mimo, że w poszczególnych godzinach pracy widać jeszcze częściowe zróżnicowanie w obciążeniu montażem poszczególnych pracowników, to w efekcie końcowym czasu pracy poszczególnych pracowników są do siebie zbliżone. Na rys. 3 przedstawiono graficznie obciążenie pracowników w badanym przypadku.



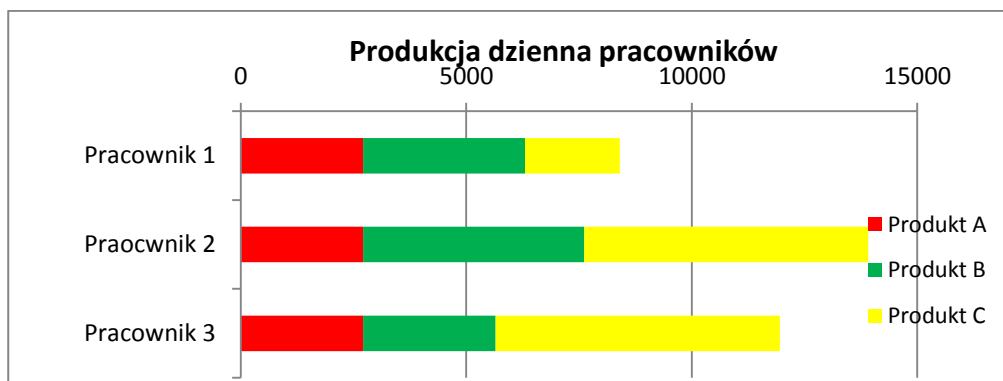
Rys. 3. Wykres obciążenia pracowników w badanym przypadku

W oprogramowanym narzędziu informatycznym, wystarczy zmienić ilość zamówienia, a program znając czas montażu poszczególnych wyrobów oraz dostępność zasobów automatycznie dopasuje ilość pracy do konkretnego pracownika.

3.3. Analiza wyników w aspekcie opracowanej koncepcji planowania

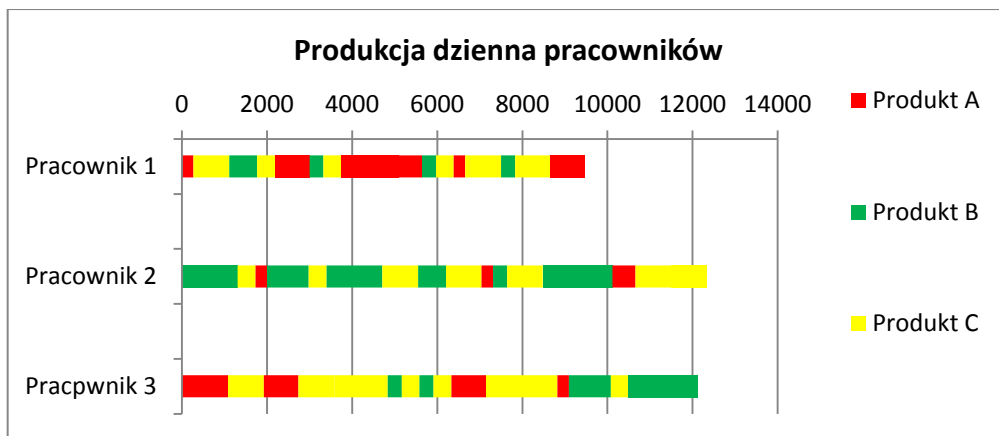
Zaproponowane rozwiązanie zmienia całkowicie proces planowania. Punktem ciężkości staje się uniwersalny pracownik, który może pracować na każdym stanowisku montażowym i wykonywać każdą z czterech czynności w procesie montażu. Podzielenie zamówień od klientów względem ilości przewodów do montażu, zwiększa wolumen zleceń produkcyjnych. Oznacza to, że praktycznie każdy przewód do montażu jest niezależnym zleceniem produkcyjnym. Dzięki temu możemy elastycznie przydzielać zlecenia do zwalnianych zasobów (pracowników). Prezentowaną koncepcję najlepiej przedstawić w postaci porównania badanego dnia pracy dla planowania realizacji pełnych zamówień versus planowanie równomiernego obciążania zasobów.

Na rys. 4 zaprezentowano model planowania zleceń montażowych w oparciu o pełne zamówienia od klienta i struktura obciążenia pracowników montażem poszczególnych wyrobów.



Rys.4 Wykres obrazujący produkcję całymi seriami

Natomiast na rys. 5 pokazano efekt równomiernego względem czasu, obciążenia pracowników montażem poszczególnych wyrobów pochodzących z różnych zamówień.



Rys. 5 Wykres przedstawiający produkcję małymi partiami

W jednym i drugim przypadku ogólny czas pracy w procesie montażu jest taki sam, ale w przypadku drugim, wykorzystanie czasu pracy pracowników jest równomierne i efektywne w stosunku do pierwszego. W efekcie końcowym, zamówienie, a w konsekwencji klient zostanie obsłużony szybciej. Na przykład, w przypadku zamówienia na 5 wyrobów typu A, 4 wyroby typu B i 5 wyrobów typu C, w pierwszym analizowanym rozwiązaniu zostanie ono zrealizowane po 7753 sekundach czyli około 2 godzinach, w drugim po 2100 sekundach czyli po 35 minutach.

W analizie obciążeń pracowników montażu, można zaobserwować, że pierwszy przypadek wprowadza znaczącą nierównomierność w obciążeniu pracą:

- pracownik 1 pracuje - **8407 sekund**,
- pracownik 2 pracuje - **13915 sekund**,
- pracownik 3 pracuje - **11953 sekund**.

Z kolei w przypadku drugim obciążenie wygląda następująco:

- pracownik 1 pracuje - **9480 sekund**,
- pracownik 2 pracuje - **12337 sekund**,
- pracownik 3 pracuje - **12131 sekund**.

4. Podsumowanie

Opracowana koncepcja zmiany procesu planowania bazująca na rozdzielaniu zamówień na drobne zlecenia montażowe opiera się o narzędzie Lean Manufacturing – Heijunka. Podstawą tego procesu jest równomierne obciążanie stanowisk produkcyjnych zleceniami, gdzie determinantą jest jednakowy interwały czasowe. Zatem nie rozpatrujemy realizacji kompletnych zamówień i ich przekazywanie w postaci zleceń do sterowania produkcją, tylko dzielimy je według ilości / jednostek oraz jednostkowych czasów wykonania tak, aby bilansowały się w określonym czasie, ale gwarantowały wykorzystanie stałych i dyspozycyjnych zasobów.

Korzyści z zastosowania tej formy planowania produkcji są następujące:

1. Zmniejszenie liczby zapasów, ponieważ produkowany wyrób jest od razu sprzedawany i nie ma potrzeby przechowywania go w magazynie.
2. Brak ryzyka, że wyrób nie zostanie sprzedany, ponieważ przedsiębiorstwo produkuje tylko to co zamówili klienci.
3. Równomierne wykorzystanie pracowników do pracy. Model uwzględnia, że niektóre produkty wymagają większego nakładu czasowego, a pomimo wszystko zatrudnieni pracują z takim samym obciążeniem.
4. Zmiany popytu nie powodują problemów w firmie, ponieważ jest ona elastyczna i potrafi się do nich dostosować.
5. Łatwiejsze jest dostarczenie produktów klientowi, ponieważ produkty nie są produkowane dużymi partiami.
6. Linie produkcyjne są bardziej wydajne.

Dodatkowe atuty przemawiające za wykorzystaniem przyjętego sposobu planowania to poprawienie relacji z klientami. Z jednej strony przedsiębiorstwo efektywnie wykorzystujące dostępne zasoby może przyjąć więcej zamówień i łatwiej dopasować się do wolumenu zamówień, z drugiej natomiast usprawnić kanał dystrybucji wyrobów gotowych. Wówczas klient nie musi czekać, aż przedsiębiorstwo wyprodukuje całą partię, ale dzieląc ją na mniejsze zlecenia gwarantuje ciągłość dostaw, co w niejednym przypadku jest wystarczające do zachowania ciągłości pracy z poziomu zamawiającego. W analizowanym przypadku, zakładając system pracy przed usprawnieniem, sytuacja wyglądałaby następująco: wprowadzenie do montażu pierwszego zamówienia na wyroby A doprowadziłoby do faktu, że ponowne zlecenie tego wyrobu byłoby możliwe po zakończeniu kolejnych następnie zgłoszonych, zgodnie z zasadą FIFO. Z kolei po usprawnieniu procesu planowania, montaż wyrobów typu A, w mniejszej niż zamówionej ilości, mógłby być montowany w małych odstępach czasu i płynnie dostarczany do zamawiającego.

Każde przedsiębiorstwo chce dostarczać klientowi produkt jakiego oczekuje, w czasie jakim chce i cenie jaką on zaakceptuje. Prezentowana koncepcja planowania z wykorzystaniem narzędzia Lean Manufacturing - Heijunka jest w stanie zapewnić pierwsze dwie opcje, pamiętając, że problem wzrostu ceny będzie spowodowany tylko i wyłącznie zwiększonymi kosztami dystrybucji wyrobów do klienta. Z kolei podwyższone koszty mogą zostać zrównoważone równomiernym obciążeniem pracowników, a co za tym idzie zwiększeniem ich efektywności pracy, a w konsekwencji zmniejszeniem kosztów pracy w wyrobie.

Zalet rozwiązań opartych na narzędziach Lean typu Heijunka jest bardzo wiele i coraz więcej przedsiębiorstw decyduje się na wykorzystanie tego typu rozwiązań, chociażby ze względu na obniżenie kosztów magazynowania czy łatwiejsze przestawienie się na zmienność popytu. Właściciele przedsiębiorstw sądzą, że poprzez zastosowanie Heijunka łatwiej im będzie dopasować się na rynku zbytu. Zatem wprowadzenie narzędzi Lean do przedsiębiorstwa może znacząco poprawić funkcjonowanie firmy, poprawiając jakość czy zmniejszając marnotrawstwo. Ważnym jest, aby pamiętać, że usprawnienie wybranych procesów wewnętrznych polega na ciągłym doskonaleniu i rozwoju przedsiębiorstwa w zakresie organizacji pracy.

Bibliografia

1. Babalska D., *Heijunka i Bęben-Bufor-Lina*, Wiedza i Praktyka, Warszawa, 2013
2. Balle M., Balle F., *Dyrektor firmy jako Lean Menadżer. Powieść o transformacji przedsiębiorstwa*, Wyd. LEIP, Wrocław 2012.
3. Brzeziński Marek, *Organizacja i sterowanie produkcją*, Placet, Warszawa, 2002
4. Jeffery K. Liker, *Droga Toyoty*, MT Biznes, Warszawa 2005
5. Jurek R., *Palnowanie w firmie produkcyjnej*, Wiedza i Praktyka, Warszawa 2013
6. Koch T., *Lean Manufacturing czyli jak wdrażać konkurencyjność*, II Konferencja Lean Manufacturing, Wrocław, 2002
7. Schonberger R. J., *Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity*, The Free Press, New York 1982
8. Siuta B., *Strategia zarządzania produktem*, TNOiK, Bydgoszcz, 1996
9. Skalik J., *Projektowanie organizacji instytucji*, wyd. AE we Wrocławiu, Wrocław 1996.
10. Sudol S., *Przedsiębiorstwo przemysłowe*. Ekonomika, organizacja, zarządzanie, PWE, Warszawa 1988.

Strony internetowe

1. <http://lean.org.pl/heijunka-poziomowanie-produkcji> [sierpień 2014]
2. <http://www.leanvision.com/lean-manufacturing> [lipiec 2014]
3. <http://www.log24.pl/artykuly/koncepcja-poziomowania-produkcji,2771> [sierpień 2014]
4. <http://trilogiq.pl/lean-tek-zalozenia-lean-manufacturing> [lipiec 2014]
5. http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2013/p049.pdf [wrzesień 2014]

Streszczenia

WYKORZYSTANIE PROGRAMU EPANET DO OCENY BEZPIECZEŃSTWA PRZECIWOŻAROWEGO W MAŁYCH MIEJSCOWOŚCIACH

Waldemar Uździcki, Ireneusz Nowogoński, Ewa Ogiółda, Michał Tesz

Streszczenie: W pracy przedstawiono możliwości programu Epanet w zakresie oceny bezpieczeństwa przeciwpożarowego w małych miejscowościach. Przedstawiono przykład obliczeniowy istniejącego układu. Wykazano brak możliwości zapewnienia bezpieczeństwa mieszkańców z uwagi na niewłaściwy dobór średnic sieci wodociągowej.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo przeciwpożarowe, modelowanie, obliczenia hydrauliczne, sieci wodociągowe.

USING PROGRAM EPANET TO ASSESS FIRE SAFETY IN SMALL TOWNS

Abstract: The paper presents the capabilities of Epanet in the evaluation of fire safety in small towns. An example of the calculation of the existing system was presented. It has been demonstrated inability to ensure the safety of residents due to the wrong choice of diameter of water network.

Key words: fire safety, modeling, hydraulic calculations, water supply systems

OCENA DYSKOMFORTU PRACOWNIKÓW NA STANOWISKACH PRACY MALARNI PROSZKOWEJ

Łukasz Michalski, Maria Kowal

Streszczenie: Podstawowym założeniem pracy było scharakteryzowanie oraz ocenienie warunków pracy na malarni proszkowej w ujęciu bezpieczeństwa i higieny pracy. Podstawowe narzędzie badawcze służące ocenie warunków pracy to metoda oceny dyskomfortu OWAS. Badania przeprowadzono na grupie pracowników stanowiącej brygadę malarską. Stwierdzono, że należy zwrócić uwagę na zniwelowanie ryzyka wystąpienia monotonii pracy, która prowadzi do ryzyka mięśniowo-szkieletowego dyskomfortu.

Słowa kluczowe: dyskomfort, ocena ryzyka zawodowego, malarnia proszkowa, choroby układu mięśniowo-szkieletowego.

ASSESSMENT DISCOMFORT OF WORKERS AT WORKPLACES POWDER COATING

Abstract: The primary objective of the study was to characterize and assess the working conditions on the powder paint shop in terms of health and safety at work. Basic research tool for the assessment of working conditions is a method of evaluating the discomfort Owase. The study was conducted on a group of employees representing brigade painting. It was found that attention should be paid to reducing the risk of monotonous work, which leads to the risk of musculoskeletal discomfort.

Key words: discomfort, risk assessment, powder coating, musculo-skeletal disorders

ANALIZA BEZPIECZEŃSTWA SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ W ASPEKTCIE AWARYJNOŚCI SIECI WODOCIĄGOWEJ

Waldemar Uździcki Ewa Ogiółda, Ireneusz Nowogoński, Bartosz Dębicki,
Remigiusz Aksentowicz

Streszczenie: Systemy zaopatrzenia w wodę są złożonymi układami. Ich zadaniem jest dostawa wody w odpowiedniej ilości, o odpowiedniej jakości i pod wystarczającym ciśnieniem. Ich bezpieczeństwo uzależnione jest od wielu czynników i może być rozpatrywane w różnych aspektach. W artykule przeprowadzono analizę bezpieczeństwa w kontekście awaryjności sieci wodociągowej.

Słowa kluczowe: awarie, bezpieczeństwo, system zaopatrzenia w wodę

WATER SUPPLY SYSTEM SAFETY ANALYSIS IN ASPECT OF WATER PIPES BREAKDOWNS

Abstract: Water supply systems are complicated objects. Their task is supplying water of right quantity, quality and pressure. Their safety depends on different conditions, so it could be analysed in a few aspects. In this paper safety analysis in aspect of breakdowns in water pipe network was done.

Key words: breakdown, safety, water supply system

WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ SYSTEMU TECHNOLOGICZNO-PNEUMATYCZNEGO

Remigiusz Aksentowicz, Waldemar Uździcki

Streszczenie: W artykule zaprezentowano zarys metodologii obliczania efektywności energetycznej Systemu Technologiczno – Pneumatycznego (STP). Przedstawiono sposób wyznaczania wskaźników efektywności energetycznej pneumatycznych instalacji odciągowych wraz z pozostałymi składnikami wchodzącymi w skład Systemu Technologiczno – Pneumatycznego. Możliwość określenia efektywności energetycznej STP pozwala podejmować działania służące oszczędności energii oraz wprowadzaniu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej STP.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, energia pierwotna, oszczędność energii, pneumatyczna instalacja odciągowa, system technologiczno-pneumatyczny, wskaźniki efektywności energetycznej

ENERGY EFFICIENCY INDICATOR OF TECHNOLOGICAL-PNEUMATIC SYSTEMS

Abstract: The article presents the outline of the methodology for calculating the energy efficiency of Technological – Pneumatic System (STP). A method of determining the energy efficiency indicators of pneumatic suction system along with other components comprising the STP system, is presented. The ability to determine STP energy efficiency allows to take actions to save energy and introduce projects aimed at improving energy efficiency of STP.

Key words: energy efficiency, GGS, energy saving, pneumatic extraction system, technological-pneumatic system, energy efficiency indicators;

BADANIA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ SYSTEMU TECHNOLOGICZNO-PNEUMATYCZNEGO

Remigiusz Aksentowicz, Ewa Ogiółda

Streszczenie: Zgodnie z wymaganiami prawa w Europie i w Polsce należy podejmować działania zmierzające do poprawy efektywności energetycznej na wielu płaszczyznach i w różnych dziedzinach gospodarki. Poprawa efektywności wykorzystania energii dotyczy również użytkowników końcowych. System Technologiczno – Pneumatyczny niestety cechuje się dużą energochłonnością. W artykule przedstawiono wyniki badań efektywności energetycznej STP w zależności od zastosowanego dodatkowego wyposażenia technicznego instalacji oraz strukturę zużycia energii pierwotnej w zależności od współczynnika jednoczesności użytkowania obrabiarek k_u .

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, energia pierwotna, oszczędność energii, pneumatyczna instalacja odciągowa, przetwornica częstotliwości, system technologiczno-pneumatyczny

TESTING ENERGY EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL-PNEUMATIC SYSTEMS

Abstract: Pursuant to legal requirements in Europe and Poland, we are to take actions to improve energy efficiency on many levels and in various areas of the economy. Improving energy efficiency also applies to end-users. Technological – Pneumatic System (STP), however, is characterized by high energy consumption, unfortunately. The article presents the results of STP energy efficiency depending on additional technical equipment applied and the structure of primary energy consumption depending on coincidence factor for machine tools k_u .

Key words: energy efficiency, GGS, energy saving, pneumatic extraction system, frequency converter, technological-pneumatic system;

BADANIE PROCESÓW PRACY MASZYN WSPÓŁPRACUJĄCYCH Z PNEUMATYCZNYMI SYSTEMAMI ODCIĄGOWYMI PRACUJĄCYMI W WARUNKACH ZMIENNYCH

Waldemar Uździcki, Ewa Ogiółda

Streszczenie: Do przemysłu wprowadza się coraz więcej pneumatycznych instalacji odciągowych dostosowanych do procesów pracy. W artykule przedstawiono zagrożenia występujące przy eksploatacji pneumatycznych instalacji odciągowych. Przy projektowaniu trzeba uwzględnić procesy pracy obrabiarek. Pokazano metodę obserwacji ciągłych wykorzystaną do badania współczynnika użytkowania obrabiarek. Przedstawiono wyniki badań przemysłowych procesów pracy dla różnych rodzajów obrabiarek.

Słowa kluczowe: instalacje odciągowe, procesy pracy, zagrożenia.

WORK PROCESSES OF MACHINE TOOLS COOPERATING WITH PNEUMATIC EXHAUSTION SYSTEMS WORKING IN VARIABLE CONDITIONS RESEARCH.

Abstract: More and more exhaustion systems tailored to work processes are implemented to industry. In this paper hazard connected with exhaustion system exploitation was shown. Work processes of machine tools should be considered in project. The method of continuous observation used for research of machine tools use coefficient was shown. Results of work processes research for different types of machine tools were presented.

Key words: exhaustion systems, work processes, hazard

ANALIZA PORÓWNAWCZA WŁAŚCIWOŚCI DREWNA POCHODZENIA KRAJOWEGO I EGZOTYCZNEGO W OPARCIU O NAJCZĘŚCIEJ WYKORZYSTYWANE GATUNKI DREWNA

Czesław Częstochoński, Jacek Dziubaka

Streszczenie: W pracy przeprowadzono analizę wyników przeprowadzonych badań. W części teoretycznej porównano i przeanalizowano pochodzenie wszystkich gatunków, ich warunków wzrostu, budowy mikroskopowej i makroskopowej. Przeanalizowano właściwości fizyczne i mechaniczne. W części badawczej wyznaczono gęstość, nasiąkliwość, pęcznienie i udarność wszystkich omawianych gatunków drewna w zależności od wilgotności. Wyniki i wnioski z przeprowadzonych badań mogą być przydatne dla efektywniejszego wykorzystania omawianych gatunków drewna.

Słowa kluczowe: drewno, wilgotność, właściwości, udarność, pęcznienie.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF DOMESTIC AND EXOTIC WOOD BASED ON THE MOST COMMONLY USED WOOD SPECIES

Abstract: the article analyzed the studies. In the theoretical part were compared and analyzed the origin of all species, their growth conditions, the construction of microscopic and macroscopic. They analyzed the physical and mechanical properties. In the research part we determined the density, absorbency, swelling and impact of all these types of wood depending on humidity. The results and conclusions of the study may be useful for the effective utilization of these wood species.

Key words: wood, moisture, property, impact of wood, swell.

INTELIĞENTNY SYSTEM STEROWANIA MIKROKLIMATEM W SZKLARNI Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMOWALNEGO STEROWNIKA AUTOMATYKI

Maciej Wawrzyniak, Paweł Bachman, Owczarek Piotr

Streszczenie: W pracy opisano inteligentny system automatycznej regulacji klimatu w szklarni. Jego zadaniem jest regulacja temperatury, wilgotności, oświetlenia oraz zawartości dwutlenku węgla w powietrzu za pomocą programowalnego sterownika automatyki. Podczas sterowania uwzględnia on zmienne zapotrzebowanie na różne czynniki klimatu podczas różnych faz wzrostu roślin. Opisano wybrane urządzenia do regulacji klimatu oraz elementy wykonawcze oraz czujniki. W części końcowej zaprezentowano założenia dotyczące działania systemu oraz omówiono zastosowane komponenty, algorytm działania i przykładowe bloki programu oraz wizualizację i sposób komunikacji pomiędzy poszczególnymi komponentami.

Słowa kluczowe: sterowanie inteligentne, klimat, szklarnia

INTELLIGENT CONTROL SYSTEM OF GREENHOUSE CLIMATE WITH A PROGRAMMABLE AUTOMATION CONTROLLER

Abstract: This paper describes an intelligent system of automatic climate control in the greenhouse. Its function is to control temperature, humidity, lighting and carbon dioxide content in the air by use programmable automation controller. During the control, system takes into account the fluctuating demands for various climate factors during the different phases of plant growth. Selected devices to regulate the climate and the actuators and sensors have been described. The final section presents the assumptions concerning operation of the system and discusses the used components, operation algorithm, sample program blocks, visualization and communication between the control system's components.

Key words: intelligent control, climate, greenhouse

ZASTOSOWANIE WYBRANYCH NARZĘDZI LEAN MANUFACTURING DO ZWIĘKSZANIA EFEKTYWNOŚCI PRACY W PRODUKCJI MAŁOSERYJNEJ WIELOASORTYMENTOWEJ

Waldemar Woźniak

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono podstawowe informacje dotyczące Lean Manufacturing. Opisano badania przeprowadzone w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Podstawową operacją technologiczną w procesie produkcyjnym, która stanowiła istotny problem organizacyjny był montaż wyrobów gotowych. Poddano badaniu zlecenia na trzy różne. Przeprowadzono analizę przypadku za pomocą dwóch metod badawczych. Zdiagnozowano szereg zakłóceń w obszarze zarządzania dostępnymi zdolnościami produkcyjnymi. Dzięki zastosowanemu narzędziu wykazano, że możliwa jest taka zmiana organizacji produkcji, która spowoduje znaczne zmniejszenie kosztów produkcji i zwiększenie wydajności.

Słowa kluczowe: Lean Manufacturing, efektywność pracy

USE OF SELECTED LEAN MANUFACTURING TOOLS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF MULTI-ASSORTMENT SMALL SERIES PRODUCTION

Abstract: The chapter presents basic information on Lean Manufacturing. Described studies in selected manufacturing company. The basic technological operation in the production process, which was an important organizational problem, was the assembly of finished products. They were studied in three different orders. Analysis was carried out the case of using two test methods. Diagnosed a series of disturbances in the area of management of available production capacity. Thanks to the tool demonstrated that it is possible the change in the organization of production, which will result in a significant reduction in production costs and increase productivity.

Key words: Lean Manufacturing, effectiveness of work

Informacje o autorach (w kolejności alfabetycznej)

Aksentowicz Remigiusz

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy
e-mail: r.aksentowicz@iibnp.uz.zgora.pl

Bachman Paweł

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy
e-mail: p.bachman@iibnp.uz.zgora.pl

Częstochowski Czesław

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy
e-mail: czcz36@vp.pl

Dębicki Bartosz

Absolwent kierunku Inżynieria Środowiska

Dziubałka Jacek

Absolwent
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy

Kowal Maria

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy
e-mail: M.Kowal@iibnp.uz.zgora.pl

Michalski Łukasz

Absolwent studiów inżynierskich na kierunku Bezpieczeństwo i Higiena Pracy
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy
e-mail: lukaszmichalski91@gmail.com

Nowogoński Ireneusz

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska
e-mail: i.nowogoński@iis.uz.zgora.pl

Ogiolda Ewa

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska
e-mail: e.ogiolda@iis.uz.zgora.pl

Owczarek Piotr

Politechnika Poznańska
Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
Zakład Urządzeń Mechatronicznych
e-mail: piotr.owczarek@put.poznan.pl

Tesz Michał

Absolwent kierunku Inżynieria Środowiska

Uździcki Waldemar

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy
e-mail: w.uzdzicki@iibnp.uz.zgora.pl

Wawrzyniak Maciej

Student studiów doktoranckich
Wydział Mechaniczny
e-mail: maciejwawrzyniak@gmail.com

Węgrzyn Zbigniew

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Bezpieczeństwa i Nauk o Pracy
e-mail: Z.Wegrzyn@iibnp.uz.zgora.pl

Woźniak Waldemar

Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją
e-mail: W.Wozniak@iizp.uz.zgora.pl

