

Ewa Walaszczyk, Krzysztof Nowosielski, Jarosław Maćków

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

e-mail: ewa.walaszczyk@ue.wroc.pl

ZASTOSOWANIE OPROGRAMOWANIA KLASY BPMS W MODELOWANIU PROCESU WARZENIA BRZECZKI PIWNEJ

APPLICATION OF BPMS FOR WORT BREWING PROCESS MODELLING

DOI: 10.15611/pn.2018.542.14

JEL Classification: C63, L23, O33

Streszczenie: Produkcja piwa jest procesem wieloetapowym i kosztochłonnym. Mimo że w branży browarniczej panuje dosyć duża konkurencja, szczególnie cenowa, to postęp techniczny i technologiczny sprzyja zwiększaniu produkcji i maksymalizacji zysków producentów. Małe browary, w tym też rzemieślnicze, powstające w dużej ilości w ostatnich latach, muszą stale rozwijać i doskonalić swoje procesy wytwórcze, maksymalizować wykorzystanie zasobów oraz optymalizować czas i koszt wytworzenia. Celem pracy była prezentacja wyników badań dotyczących zastosowania oprogramowania BPMS (*Business Process Modelling Software*) do analizy i usprawnienia procesu warzenia brzeczki piwnej. W tym celu w ramach procedury badawczej zbudowano model procesu, zweryfikowano jego działanie i go opomiarowano. Zgromadzone w wyniku przeprowadzonych symulacji dane dotyczące wydajności i kosztochłonności procesu poddano analizie oraz wskazano możliwości dalszego doskonalenia procesu warzenia.

Słowa kluczowe: BPMS, symulacja, zarządzanie procesem technologicznym, warzenie, brzeczka piwna.

Summary: Beer manufacturing is a multi-step and expensive production process. Despite high branch competition, continuous technical and technological progress supports the increase of production volume and maximization of income. Small breweries, including craft breweries recently arising in a large amount, have to constantly develop their production processes, maximize the use of resources and optimize time and costs of production. The aim of the paper was to present the results of BPMS (*Business Process Modelling Software*) application for the analysis and improvement of the brewing process. The aim was realized with the brewing process model building, verification and measurement. Collected data of productivity and production costs were analysed and the possible ways of process development were indicated.

Keywords: BPMS, simulation, technological process management, brewing, wort.

1. Wstęp

Piwo jest znane ludzkości od starożytności, a postęp techniczny i technologiczny sprzyja zwiększaniu produkcji i maksymalizacji zysków producentów, szczególnie jeśli chodzi o piwo typu lager, najpopularniejszy gatunek piwa na świecie [Klimek 2013; Wojtyra, Grudzień 2017]. Piwo jest trzecim po wodzie i herbacie najczęściej spożywanym napojem na świecie i jednocześnie napojem alkoholowym spożywanym w skali świata w największej ilości [Bleier i in. 2013]. W branży panuje dosyć duża konkurencja, szczególnie cenowa, co skutkuje niskimi marżami, ale także unifikacją produkcji i wyrównaniem walorów sensorycznych piw dostępnych na rynku. Te czynniki spowodowały powstanie niszy rynkowej, którą wypełniają m.in. browary rzemieślnicze, specjalizujące się w oryginalnych stylach piwnych skierowanych do bardziej wymagających i świadomych klientów [Murray, O'Neill 2012; Podeszwa 2015; Wojtyra, Grudzień 2017].

Trzeba pamiętać, że niezależnie od wielkości przedsiębiorstwa i branży, nadrzędnym celem każdej aktywności gospodarczej jest osiągnięcie jak największych zysków, które są gwarantem zachowania ciągłości działania. Ze względu na zmienność warunków funkcjonowania, rosnące wymagania konsumentów, globalną konkurencję, szybki postęp techniczno-technologiczny nawet małe browary rzemieślnicze muszą stale rozwijać i doskonalić swoje procesy wytwórcze. Aby osiągnąć zysk, są one zmuszone do maksymalizacji wykorzystania swoich zasobów produkcyjnych, czyli zwiększania wydajności produkcji przy spełnieniu zasady elastyczności procesów wytwórczych, a także dbania o optymalizację czasu wytworzenia wyrobów i o zachowanie dyscypliny kosztowej [Bako, Bożek 2016; De Felice i in. 2018; Zomparelli i in. 2018]. Podstawą jest więc racjonalne gospodarowanie zasobami, a jednym ze sposobów utrzymania wysokich wyników ekonomicznych w długiej perspektywie czasu jest przyjęcie założenia, w myśl którego każdy proces może być bardziej wydajny, co oznacza, że każdy proces może być przedmiotem działań o charakterze doskonalącym. Jak napisał w jednej ze swoich książek Tom J. Peters, amerykański pisarz i ekspert zarządzania: „Doskonałe firmy nie wierzą w doskonałość – lecz w ciągłe doskonalenie i ciągłą zmianę” [Peters, Watermann 2011].

Intencją autorów niniejszego opracowania jest zaprezentowanie narzędzi informatycznych wpisujących się w tzw. czwartą rewolucję przemysłową (Industry 4.0), które mogą służyć gromadzeniu i analizie danych pochodzących z procesów zachodzących w jednostkach gospodarczych w celu usprawnienia procesów decyzyjnych i skupienia uwagi decydentów na działaniach sprzyjających zwiększaniu wartości oraz ograniczeniu strat [Ahuett-Garza, Kurfess 2018; Johansson i in. 2018; Vaidya i in. 2018]. Jednym z narzędzi szczególnie przydatnych w zarządzaniu procesami jest oprogramowanie do modelowania i wizualnej symulacji procesów biznesowych (BPMS – *Business Process Modelling Software*). Jest ono stosowane zarówno w procesach produkcyjnych (por. [Nurek, Gendek 2012; Kluska, Pawlewski 2018]),

usługowych (por. [Pongjetanapong i in. 2018]), jak i logistycznych (por. [Kostrzewski 2017; Szczepański i in. 2017]).

Celem niniejszego opracowania jest prezentacja wyników badań dotyczących zastosowania oprogramowania BPMS do analizy i usprawniania procesu warzenia brzezki piwnej. Cel ten został zrealizowany poprzez przeprowadzenie pomiarów wydajności i kosztochłonności przykładowego procesu, analizy zgromadzonych wyników oraz wskazanie możliwości dalszego jego doskonalenia.

W artykule, oprócz wstępu i podsumowania, wyszczególniono zagadnienia o charakterze metodycznym (punkt 2) oraz analityczno-projektowym (punkt 3). W punkcie 2 scharakteryzowano przedmiot badań oraz przybliżono metodykę prowadzenia prac poznawczych. Z kolei w punkcie 3 scharakteryzowano proces browarniczy ze szczególnym uwzględnieniem etapu warzenia brzezki piwnej. Następnie opisano modelowanie tego procesu w programie klasy BPMS, dokonano jego analizy ekonomicznej i na tej podstawie wskazano na możliwość wprowadzenia zmian o charakterze doskonalącym.

2. Przedmiot badań i metodyka badawcza

Przedmiotem badań był proces produkcji brzezki piwnej prowadzony w browarze rzemieślniczym o wybićiu 20 hl, zlokalizowanym na terenie Wrocławia.

Badania procesu przeprowadzone w ramach niniejszej pracy oparto na teorii systemów, a ich celem było zrozumienie działania procesu warzenia jako systemu wytwórczego wprowadzonego w stan dynamiczny. Do poznania i analizy działania procesu warzenia zostały użyte połączone metody symulacji i wirtualnego quasi-eksperymentu [Yin 1984].

Model procesu został zbudowany na podstawie informacji uzyskanych od piwowara z badanego browaru. Do budowy modelu wykorzystano oprogramowanie do wizualnej symulacji procesów biznesowych Witness Horizon (ver. 22) firmy Lanner Group Ltd. (dalej zwane także Programem). Dane wejściowe oraz zmienne procesu warzenia zostały wprowadzone do programu, a powstały model został wykorzystany do zmierzenia wydajności i kosztochłonności procesu. Dodatkowo dane uzyskane w efekcie prowadzonych symulacji procesu posłużyły do wskazania zakresu oraz kierunków zmian o charakterze doskonalącym.

Procedura badawcza składała się z następujących etapów [Davis i in. 2007; Gilbert, Troitzsch 2005]:

1. Analiza procesu, w ramach której określono jego cel, zidentyfikowano wejścia i wyjścia, niezbędne zasoby oraz wyodrębniono działania zachodzące w obrębie tego procesu.

2. Stworzenie modelu na podstawie danych zebranych podczas pracy instalacji do warzenia brzezki w wybranym browarze rzemieślniczym.

3. Zbudowanie modelu procesu z wykorzystaniem oprogramowania Witness Horizon.

4. Weryfikacja działania modelu polegająca na uruchomieniu serii symulacji na celu testowania, czy model procesu warzenia działa prawidłowo i czy odwzorowuje rzeczywisty proces.

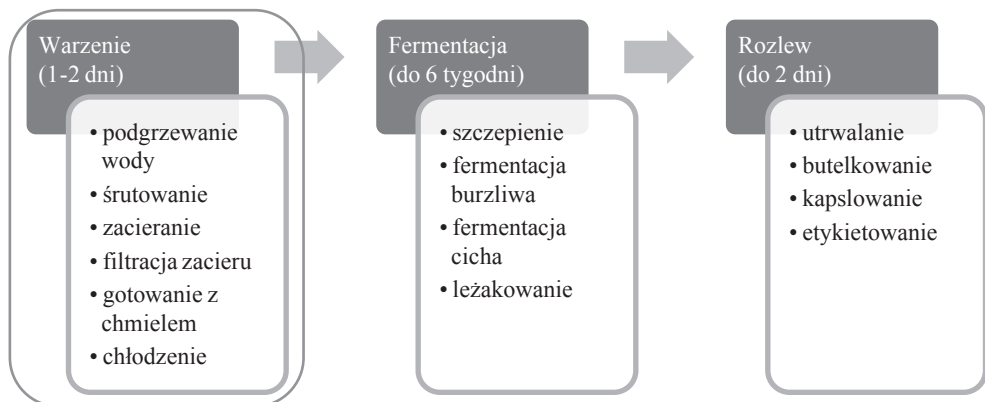
5. Wybranie mierników procesu i wprowadzenie danych do modelu, mających na celu opomiarowanie procesu oraz określenie jego wydajności i kosztocłonności.

6. Wskazanie możliwości dokonania zmian w modelu na podstawie przeprowadzonych symulacji i wartości wybranych wskaźników.

3. Wyniki badań i ich omówienie

3.1. Analiza procesu warzenia

Produkcja piwa jest procesem złożonym, składającym się z trzech głównych części: warzenia, fermentacji i rozlewu, w ramach których wykonywane są poszczególne operacje i procesy jednostkowe (rys. 1). Proces produkcji piwa rozpoczyna się od etapu warzenia, w którym jako produkt pośredni otrzymuje się brzezkę piwną. Brzezka powstaje ze słodu, wody i chmielu oraz ewentualnie innych dodatków. Następnie brzezka jest zaszczipiana drożdżami i następuje fermentacja, w wyniku której otrzymuje się piwo. Utrwalone piwo jest rozlewane do opakowań jednostkowych i etykietowane [Kunze 1999].



Rys. 1. Etapy procesu produkcji piwa

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Kunze 1999].

W ramach prowadzonych badań zajęto się analizą procesu warzenia, gdyż jest to najbardziej skomplikowany logistycznie etap w procesie produkcji piwa. Jest to również etap, który w bardzo dużej mierze wpływa na jakość końcowego wyrobu – to tutaj tworzą się związki kształtujące smak i aromat produktu końcowego.

Proces produkcji brzezki rozpoczyna się śrutowaniem, czyli mechanicznym rozdrobnieniem słodu w śrutowniku, oraz podgrzaniem wody w kadzi warzelnej

do temperatury 95°C. Tak przygotowane surowce wprowadza się do kadzi zaciernej (wodę wprowadza się w ilości 1/5 podgrzanej wody, uzupełnia się ją wodą zimną do uzyskania temperatury zacierania; reszta wody jest przetrzymywana w zbiorniku wody gorącej – do tego celu w badanym browarze użyto kadzi wirowej typu whirlpool). W kadzi zaciernej zachodzi proces zacierania, najważniejszy etap produkcji brzezki. Jego celem jest enzymatyczny rozkład skrobi na maltozę, która będzie substratem do produkcji alkoholu przez drożdże w trakcie fermentacji, a także enzymatyczny rozkład białek i innych związków oraz rozpuszczenie w wodzie związków rozpuszczalnych siodu i produktów rozkładu enzymatycznego. Proces ten zachodzi pod wpływem enzymów obecnych w rozdrobnionym siodzie. Prowadzi się go najczęściej metodą infuzyjną, polegającą na dolewaniu gorącej wody do zacieru w celu podniesienia temperatury do takiej, która sprzyja działaniu określonych enzymów (przerwa białkowa, maltozowa i dekstrynująca), a następnie podnosi się temperaturę, aby dezaktywować enzymy i zakończyć proces zacierania [Pazera, Rzemieniuk 1998; Kunze 1999].

Kolejnym etapem jest filtracja zacieru, czyli oddzielenie brzezki od stałych części wysłodzin. Zachodzi ona w kadzi filtracyjnej, która wyposażona jest w sito. Jako warstwę filtracyjną wykorzystuje się naturalne złożo filtracyjne utworzone z opadających na sito części stałych zacieru, przede wszystkim łuski. Po ułożeniu się złoża otwiera się zawór spustowy kadzi, przez który brzezka przednia spływa do korytka brzezkowego¹. Początkowo spływającą brzezkę ze względu na dużą mętność zawraca się do kadzi filtracyjnej i ponownie filtruje, aż do uzyskania brzezki klarownej. Po przefiltrowaniu całej brzezki przedniej przemywa się wysłodziny za pomocą pozostałej gorącej wody, aby wypłukać cukry znajdujące się w złożu. Pozostałe po procesie młóto jest odpadem, który należy szybko usunąć, gdyż ulega psuciu ze względu na dużą zawartość wody, resztki ekstraktu i białka. Nadmiar wody pozostały po zakończeniu wysładzania (woda pozostała po uzyskaniu brzezki w zdeklarowanej objętości wybicia) również jest usuwany.

Brzezkę przednią wraz z wysłodkową przepompowuje się do kadzi warzelnej, w której podnosi się jej temperaturę do 100°C i następuje gotowanie z chmielem. Proces ten ma na celu utrwalenie brzezki i jej częściowe zagęszczenie, sterylizację, a także rozpuszczenie składników chmielu i izomeryzację alfa-kwasów. Ten etap jest ważny dla barwy, smaku, aromatu i innych cech organoleptycznych piwa [Pazera, Rzemieniuk 1998]. Chmiel dodaje się partiami, aby wydobyć z niego związki zarówno goryczkowe, jak i aromatyczne. Nachmieloną brzezkę odbiera się od dołu kadzi i wprowadza do wymiennika ciepła w celu ochłodzenia jej do temperatury nastawnej fermentacji. Ochłodzona brzezka wprowadzana jest do kadzi wirowej tak, aby nabrała rotacji. W ten sposób można oddzielić osady i natlenić brzezkę.

¹ Korytko brzezkowe (Granta lub Granda) jest to zbiornik na brzezkę umiejscowiony pod kadzią filtracyjną, w którym piwowar sprawdza klarowność brzezki po filtracji. Korytko brzezkowe spotkać można w browarach ze starszą instalacją. W nowych browarach nie montuje się tego zbiornika, ponieważ unika się kontaktu brzezki z tlenem zawartym w powietrzu.

Na tym kończy się etap warzenia. W jego efekcie uzyskuje się brzezkę zdolną do fermentacji.

Nad przebiegiem procesu warzenia w browarze rzemieślniczym czuwa na zmianę dwóch piwowarów (jeden od rana do wczesnego popołudnia, drugi od popołudnia do zakończenia warzenia) oraz asystent piwowara, który zajmuje się śrutowaniem słodu i myciem instalacji.

Na podstawie opisu procesu warzenia dokonano analizy i identyfikacji poszczególnych elementów procesu. Efekty tych działań zawarto w tab. 1.

Tabela 1. Elementy identyfikacji procesu warzenia brzezki

Cel	Produkcja brzezki piwnej	
Wejścia	<ul style="list-style-type: none"> • woda • słód • chmiel 	
Wyjścia	<ul style="list-style-type: none"> • brzezka • młóto • nadmiar wody 	
Zasoby	maszyny	<ul style="list-style-type: none"> • śrutownik • kadź wirowa typu whirlpool • zbiornik wody gorącej • kadź zacierana • kadź filtracyjna • kadź warzelna • korytko brzezkowe • wymiennik ciepła
	pracownicy	<ul style="list-style-type: none"> • piwowar – 2 osoby • asystent piwowara – 1 osoba
	materiały pomocnicze	<ul style="list-style-type: none"> • energia elektryczna • woda do chłodzenia
Działania	<ul style="list-style-type: none"> • śrutowanie • podgrzewanie wody • zacieranie • filtracja zacieru • gotowanie • chłodzenie 	

Źródło: opracowanie własne.

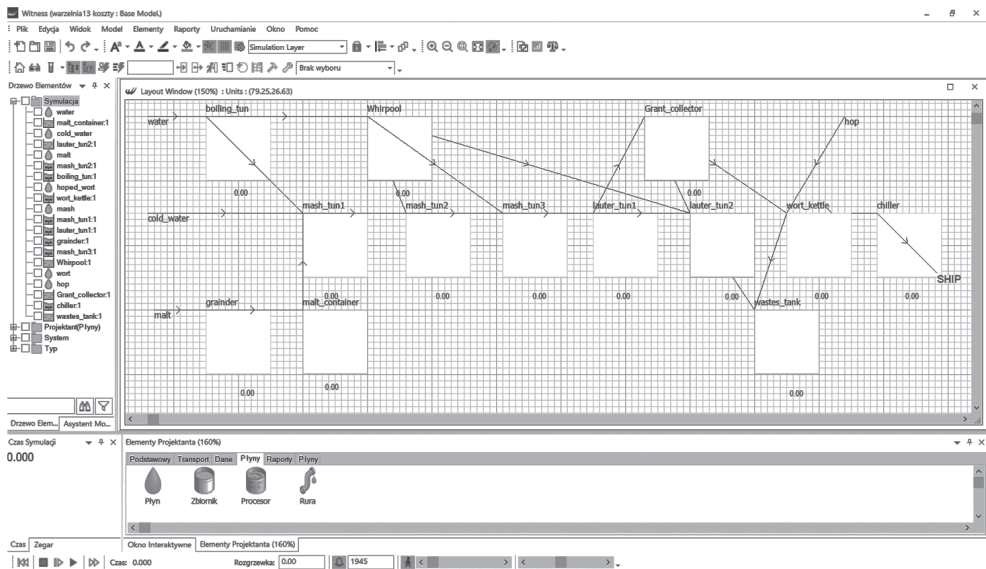
3.2. Budowa modelu procesu i jego działanie

Kolejnym etapem badań było zbudowanie modelu procesu warzenia brzezki za pomocą programu do symulacji procesów biznesowych Witness Horizon. Program umożliwia budowanie modeli procesów, wprowadzanie ich w stan dynamiczny (przeprowadzanie wizualnych symulacji działania modelu), co jest ogromną zaletą

tego typu programów. Możliwa jest także ingerencja użytkownika polegająca na zmianie parametrów używanych elementów w każdym momencie działania modelu.

Program jest wyposażony w elementy służące do modelowania zarówno procesów ciągłych (płyn), jak i dyskretnych (części). Model procesu warzenia piwa i okno programu z wyświetlonymi elementami do budowy procesów ciągłych przedstawiono na rys. 2². Do jego budowy wykorzystano takie elementy, jak:

- płyn (element poddawany obróbce),
- procesor (element, w którym wykonywane są czynności na płynach i mogą zachodzić w nim zmiany płynów),
- zbiornik (element, w którym płyny są przetrzymywane, ale nie są na nich wykonywane żadne czynności).



Rys. 2. Model procesu warzenia brzeczki zbudowany w programie Witness Horizon

Źródło: opracowanie własne.

Każdemu z surowców przypisano inny kolor, widoczny po uruchomieniu symulacji: woda ciepła – ciemnoniebieski, woda zimna – jasnoniebieski, słód – żółty, chmiel – pomarańczowy. Ponadto zmieniono kolor mieszaniny surowców tworzących zacier na kolor brązowy, brzeczkę po chmieleniu na pomarańczowy, a brzeczkę

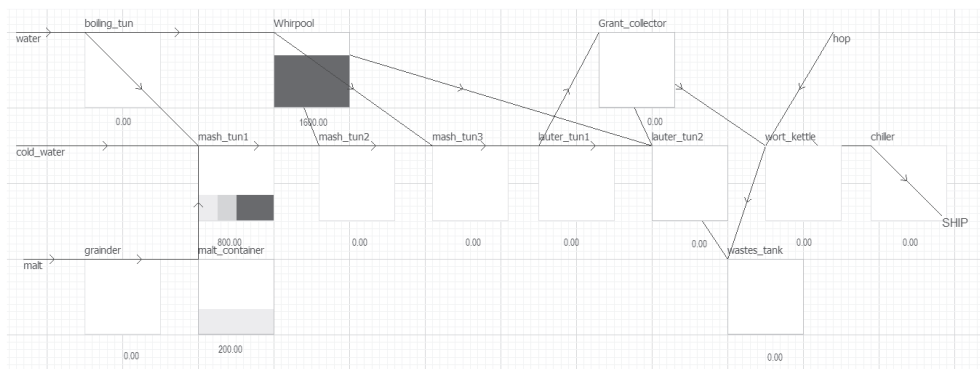
² W trakcie budowy modelu posłużono się angielskimi nazwami surowców i urządzeń. Surowce: *water* – woda; *cold_water* – zimna woda; *malt* – słód; *hop* – chmiel. Urządzenia: *boiling_tun* – kadź warzelna jako zbiornik do grzania wody; *Whirlpool* – kadź wirowa typu whirlpool jako zbiornik na wodę gorącą; *mash_tun* – kadź zacierana; *lauter_tun* – kadź filtracyjna; *Grant_collector* – korytko brzeczkowe (Granta); *wort_kettle* – kadź warzelna; *chiller* – wymiennik ciepła; *grainder* – śrutownik; *malt_container* – zbiornik na ześrutowany słód; *wastes_tank* – zbiornik na odpady.

ochłodzoną na różowy. Procesory mają obramowanie w kolorze żółtym, natomiast zbiorniki w kolorze zielonym. Pod każdym z procesorów i zbiorników umieszczono licznik wskazujący aktualną objętość zawartych w nim elementów. Niektóre z urządzeń musiały zostać w modelu zmnożone ze względu na większą ilość czynności w nich wykonywanych – każda czynność musi być w programie zobrazowana za pomocą osobnej maszyny. Model procesu zakończono na etapie chłodzenia brzezki, czyli ostatnim elementem modelu procesu jest wymiennik ciepła.

3.3. Opomiarowanie procesu – wydajność i kosztocłonność

Dane wejściowe i wydajnościowe dla poszczególnych surowców i przebiegu procesów pochodzą z browaru rzemieślniczego o wybićiu 20 hl, zlokalizowanego na terenie Wrocławia. Ilość poszczególnych surowców wprowadzonych do modelu na wejściu do procesu określono na poziomie: woda – 2000 l; zimna woda – 200 l; sód – 400 kg; chmiel – 20 kg. Do modelu wprowadzono także minimalne objętości elementów wchodzących do poszczególnych urządzeń, przy których może rozpocząć się przetwarzanie surowców, oraz maksymalne pojemności zbiorników. Ponadto wpisano czasy trwania poszczególnych etapów oraz szybkości przetłaczania półproduktów pomiędzy urządzeniami.

Po wprowadzeniu tych danych przeprowadzono szereg symulacji mających na celu sprawdzenie działania modelu i odwzorowania przez niego rzeczywistego procesu warzenia. Ostatecznie określono czas symulacji na 32 godziny i 25 minut (1945 minut). Taki czas pozwalał na całkowite opróżnienie zbiorników, czyli przekazanie ochłodzonej brzezki z wymiennika ciepła do dalszych etapów procesu produkcji piwa. Czas ten był na podobnym poziomie jak czas uwarzenia brzezki w rzeczywistej instalacji w browarze. Przykładowy moment działania modelu przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Działanie modelu procesu warzenia w 780. minucie pracy

Źródło: opracowanie własne.

WITNESS

Statystyki Procesora Raport Czas Na-Zmianie

Nazwa	mash_tun2	boiling_tun	wort_kettle	mash_tun1	lauter_tun1	grainder	mash_tun3	chiller
Objetosc Do	1330.00	2000.00	2020.06	1000.00	1630.00	400.00	1630.00	2000.00
Objetosc Od	1330.00	2000.00	2020.00	1000.00	1630.00	400.00	1630.00	2000.00
Objetosc Aktualna	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IL_Procesow	1	1	1	1	1	1	1	1
Razem % Napelnianie	96.86	71.72	92.20	99.43	96.58	83.55	99.18	73.76
% Napelnianie Zajete	0.31	10.28	17.31	3.08	0.05	20.57	0.29	1.56
% Napelnianie Bezczyynn	0.00	0.00	26.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Napelnianie czeka na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Przetwarzanie	3.08	27.76	6.17	0.51	2.57	8.23	0.77	24.68
% Przetwarzanie czeka	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Razem % Oprzoznianie	0.05	0.51	1.63	0.05	0.85	8.23	0.05	1.56
% Oprzoznianie Zajete	0.05	0.51	1.63	0.05	0.85	8.23	0.05	1.56
% Oprzoznianie Bezczyynn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Oprzoznianie czeka na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Pusty	96.56	61.44	48.72	96.35	96.52	62.98	98.89	72.21
% Naprawa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Naprawa czeka na Pra	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Mycie	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Mycie czeka na Pra	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Zamknij

Pomoc

<<

>>

Wykres

Wykres Stanow

Wykres Przeplyw.

Drukuj

Minitab

Zmien Wiersze na Kolumny

Raport Szczeg.

Grupa Zadan

Styl Raportu:

Jak Podano

Indywidualnie

Grupa

Rys. 4. Statystyki urządzeń (procesorów) modelu warzenia brzezki

Źródło: opracowanie własne.

Raporty Kosztów, Przychodów i zużycia mediów

Przychody	Element			Na Ilość	Całkowite
Całkowity Przychód				0,00 zł	0,00 zł

Koszty	Element	Stale	Na Użycie	Na Ilość	Całkowite
	water	0,00 zł		9,00 zł	9,00 zł
	cold_water	0,00 zł		0,90 zł	0,90 zł
	malt	0,00 zł		1 040,00 zł	1 040,00 zł
	hop	0,00 zł		1 060,00 zł	1 060,00 zł
	mash_tun2(1)	0,00 zł		10,00 zł	10,00 zł
	boiling_tun(1)	0,00 zł		330,00 zł	330,00 zł
	wort_kettle(1)	0,00 zł		125,00 zł	125,00 zł
	mash_tun1(1)	0,00 zł		2,00 zł	2,00 zł
	lauter_tun1(1)	0,00 zł		2,00 zł	2,00 zł
	mash_tun3(1)	0,00 zł		10,00 zł	10,00 zł
	chiller(1)	0,00 zł		54,00 zł	54,00 zł
	lauter_tun2(1)	0,00 zł		22,50 zł	22,50 zł
	wastes_tank(1)	0,00 zł		375,06 zł	375,06 zł
Całkowity Koszt		0,00 zł	0,00 zł	3 040,47 zł	3 040,47 zł

Zyski					
Całkowity Zysk					-3 040,47 zł

Zamknij

Pomiar

Cost

Pokaż

Typ

Grupa

Indywidualnie

Pokaż Wszystkie

Drukuj

Pomoc

Rys. 5. Raport kosztów modelu warzenia brzezki

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowane oprogramowanie pozwala na wygenerowanie raportów zużycia surowców oraz wykorzystania procesorów i zbiorników, a także na wprowadzenie danych kosztowych dotyczących zarówno kosztów stałych, jak i zmiennych oraz zysku z przekazania produktu do odbiorcy. Wybrane statystyki i raporty przedstawiono na rys. 4 i 5.

W efekcie przeprowadzenia procesu warzenia uzyskano 20 hl brzezki. Oprócz brzezki pozostałością po procesie są odpady, które stanowi młóto oraz pozostała brzezka, która jako przekraczająca zadeklarowaną przez browar objętość wybicia, nie może zostać przekazana do fermentacji. Biorąc pod uwagę masy składników na wejściu do procesu, wydajność produktowa (rozumiana jako stosunek masy uzyskanego produktu do masy surowców) wyniosła 76%. Pozostałe 24% stanowią odpady.

Analizując statystyki urządzeń (procesorów) po zakończonym procesie warzenia (rys. 4), należy zauważyć, że większość czasu są one bezczynne (pozycja % Pusty), stosunkowo mało czasu zajmuje napełnianie i opróżnianie (pozyccje odpowiednio % Napełnianie zajęte i % Opróżnianie zajęte). Taka sytuacja jest typowa dla procesów okresowych, w których działania na jednej partii surowców muszą zostać zakończone, nim załadowana zostanie kolejna partia. Przez to przez większość czasu urządzenia są bezczynne i nieużywane.

W zbudowanym modelu wprowadzono jedynie koszty zmienne, czyli te zależne od działania procesu (rys. 5). Poza kosztami utylizacji powstałych odpadów (znajdujących się w zbiorniku na odpady, *wastes_tunk*) najbardziej kosztochłonnym procesem jest podgrzewanie wody w kadzi warzelnej (w modelu urządzenie to nazwano zbiornikiem do grzania wody, *boiling_tun*). Jeśli chodzi o surowce, to najbardziej kosztochłonne są chmiel i słód. Całkowity koszt zmienny wytworzenia jednej warki wyniósł 3040,47 zł.

3.4. Wskazanie możliwości zmiany rzeczywistego procesu warzenia na podstawie analizy wyników symulacji

Model procesu jest odwzorowaniem rzeczywistego procesu warzenia brzezki piwnej w browarze rzemieślniczym o wybicu 20 hl. Na podstawie uzyskanych danych i obserwacji pracy modelu można wskazać możliwości modyfikacji procesu, aby był on mniej kosztochłonny i/lub bardziej wydajny.

Wybrane narzędzie komputerowe (Witness Horizon) umożliwia wprowadzenie dowolnych zmian w modelu procesu w trakcie jego działania (symulacji), jego wejść i wyjść, a także zasobów i elementów sterowania procesem. Bardzo ważne jest więc, aby proponowane zmiany były wprowadzane do modelu z zachowaniem rygoru technologicznego. Oznacza to, że w trakcie symulacji komputerowej oraz dokonywania modyfikacji funkcjonowania procesu niezbędne jest wsparcie specjalistyczne w zakresie technologii wytwarzania. Niezbędne jest także uwzględnienie zasad ekonomiki produkcji, jeśli proponowane zmiany mają zostać zaimplementowane. Wybrane narzędzie komputerowe umożliwia dokonanie niskokosztowych symulacji dokonanych zmian w obrębie procesu i dostarcza danych wynikowych

m.in. w zakresie stopnia wykorzystania maszyn, obciążenia pracą poszczególnych stanowisk czy synchronizacji działań w procesie dla różnych scenariuszy jego przebiegu i uzbrojenia. Umożliwia także obserwację wartości zużywanych zasobów, w tym kosztów energii, zużytych materiałów czy kosztów osobowych.

Zakładając brak możliwości ingerencji w technologię wytwarzania produktu w badanym przypadku, obszary procesu warzenia brzezki, w których można dokonywać modyfikacji, to: layout procesu, przepływ materiałów przez proces oraz zmiany maszyn i urządzeń. Z tych trzech możliwości i dostępnych danych w przypadku analizowanego procesu można dokonać jedynie zmian urządzeń na mniej kosztowne. Procesem, który generuje najwyższe koszty, jest podgrzewanie wody w kadzi warzelnej. Urządzenie pobiera dużą ilość energii elektrycznej, a czas grzania wynosi 9 godzin. Można więc rozpatrzyć zmianę urządzenia na mocniejsze, które co prawda zużywałoby więcej energii, ale czas podgrzewania byłby krótszy. Mogłoby to przynieść oszczędności zarówno w postaci zmniejszenia kosztów zmiennych, jak i skrócenia czasu produkcji jednej warki, a co za tym idzie zwiększenia obciążenia urządzeń.

Po wprowadzeniu zmienionych danych dotyczących pracy kadzi warzelnej w etapie podgrzewania wody w zbudowanym modelu produkcji brzezki sprawdzono, jakie efekty ta zmiana przyniosła. Okazało się, że mimo że urządzenie pobierało więcej energii, to ze względu na skrócenie czasu grzania do 7 godzin koszt zmienny wynikający z pracy tego urządzenia spadł z 330 do 300 zł. Ostatecznie czas procesu skrócił się do 30 godzin i 5 minut (1805 minut), a koszt wytworzenia jednej warki spadł do 2975,47 zł. Podsumowanie efektów dokonanych zmian przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Efekty zmiany danych pracy urządzenia do podgrzewania wody w modelu

Wyszczególnienie	Przed zmianą	Po zmianie	% redukcji
Czas podgrzewania	9 godz.	7 godz.	22,2%
Czas procesu	1945 min	1805 min	7,2%
Koszt podgrzewania	330 zł	300 zł	9,1%
Koszty zmienne procesu	3 040,47 zł	2 975,47 zł	2,1%

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych zawartych w powyższej tabeli, pochodzących z symulacji pracy modelu przy zmienionych parametrach pracy urządzenia do podgrzewania wody, należy rozważyć wprowadzenie zaproponowanych zmian w rzeczywistym procesie. Z analizy danych liczbowych wynika, że zmiana ta przyniosła pozytywne efekty, zarówno w czasie trwania procesu, jak i w wysokości kosztów zmiennych.

4. Zakończenie

Procesy produkcyjne oparte na tradycyjnych technologiach są skomplikowane i trudne do modyfikacji, szczególnie w tak zmiennej i dynamicznej sytuacji rynkowej, jaka ma miejsce na rynku piwa. Wsparciem dla producentów mogą być programy do wizualnej symulacji procesów biznesowych, które pozwalają na zbudowanie modelu procesu i przeprowadzenie wizualnych symulacji jego działania. W środowisku programu można dokonywać zmian wybranych parametrów i sprawdzać efekty swoich działań, minimalizując ryzyko porażki biznesowej (nieopłacalność inwestycji, wysokie straty, wysokie koszty funkcjonowania procesu, w tym koszty utrzymania maszyn i ich obsługi). Narzędzia komputerowe do symulacji procesów są coraz bardziej powszechnie stosowane w przemyśle. Wynika to z tego, że technologia informatyczna staje się coraz bardziej wydajna i dostępna dla przedsiębiorstw. Powstają specjalistyczne narzędzia, które przy relatywnie niskich nakładach na zakup i niewielkich kosztach szkolenia kadr potrafią wzbogacić wiedzę decydentów o różne scenariusze rozwoju procesów i zminimalizować ryzyko porażki biznesowej [Johansson i in. 2018; Vaidya i in. 2018].

Produkcja brzezki piwnej jest procesem skomplikowanym technologicznie. Mimo to możliwe było odwzorowanie tego procesu w programie Witness Horizon, wykorzystując moduł do modelowania procesów, w których elementami poddawany przetworzeniu są płyny. Wprowadzenie danych i przeprowadzenie wielokrotnych symulacji budowanego modelu pozwoliło na odwzorowanie jego działania w sposób zbliżony do rzeczywistego. Analiza uzyskanych danych statystycznych oraz kosztowych wskazała miejsce, w którym można dokonać zmian o charakterze doskonalącym, skutkujących m.in. zmniejszeniem kosztochłonności procesu oraz skróceniem czasu jego trwania.

Literatura

- Ahuett-Garza H., Kurfess T., 2018, *A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing*, Manufacturing Letters, no. 15, s. 60–63, <https://doi.org/10.1016/J.MFGLET.2018.02.011>
- Bako B., Bożek P., 2016, *Trends in simulation and planning of manufacturing companies*, Procedia Engineering, no. 149, s. 571–575, <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.06.707>
- Bleier B., Callahan A., Farmer S., Min H., 2013, *Craft beer production*, Senior Design Reports (CBE), no. 53, University of Pennsylvania.
- Davis J.P., Eisenhardt K.M., Bingham C.B., 2007, *Developing theory through simulation methods*, Academy of Management Review, vol. 32(2), s. 480–499.
- De Felice F., Petrillo A., Zomparelli F., 2018, *Prospective design of smart manufacturing: An Italian pilot case study*, Manufacturing Letters, no. 15, s. 81–85, <https://doi.org/10.1016/J.MFGLET.2017.12.002>

- Gilbert N., Troitzsch K.G., 2005, *Simulation for the social scientist*, Open University Press, Maidenhead (Wielka Brytania).
- Johansson P.E.C., Malmköld L., Fast-Berglund Å., Moestam L., 2018, *Enhancing future assembly information systems – putting theory into practice*, *Procedia Manufacturing*, no. 17, s. 491–498, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.088>
- Klimek K., 2013, *Produkcja piwa w Polsce*, Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. *Roczniki Naukowe*, nr 16(2), s. 117–122.
- Kluska K., Pawlewski P., 2018, *The use of simulation in the design of Milk-Run intralogistics systems*, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51(11), s. 1428–1433, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.314>
- Kostrzewski M., 2017, *Implementation of distribution model of an international company with use of simulation method*, *Procedia Engineering*, no. 192, s. 445–450, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.077>
- Kunze W., 1999, *Technologia piwa i siodu*, Wydawnictwo Piwochmiel, Warszawa.
- Murray D.W., O'Neill M.A., 2012, *Craft beer: Penetrating a niche market*, *British Food Journal*, vol. 114(7), s. 899–909, <https://doi.org/10.1108/00070701211241518>
- Nurek T., Gendek A., 2012 *Wykorzystanie pakietu Witness do modelowania przebiegu procesów produkcyjnych w leśnictwie*, *Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna*, nr 2, s. 1–4,
- Pazera T., Rzemieniuk T., 1998, *Browarnictwo*, WSiP, Warszawa.
- Peters T.J., Watermann R.H., 2011, *W poszukiwaniu doskonałości w biznesie: doświadczenia najlepiej zarządzanych firm Ameryki*, MT Biznes, Warszawa.
- Podeszwa T., 2015, *Browarnictwo rzemieślnicze (craft-brewing) – oddolna aktywność mikrowytwórców stymulantem rozwoju rynku i samokształcenia w zakresie browarnictwa*, *Acta Innovations*, nr 15, s. 51–56.
- Pongjetanapong K., O'Sullivan M., Walker C., Furian N., 2018, *Implementing complex task allocation in a cytology lab via HCCM using Flexsim HC*, *Simulation Modelling Practice and Theory*, no. 86, s. 139–154, <https://doi.org/10.1016/J.SIMPAT.2018.05.007>
- Szczepański E., Żak J., Jacyna-Golda I., Murawski J., 2017, *Simulation support of freight delivery schedule in urban areas*, *Procedia Engineering*, no. 187, s. 520–525, <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.04.409>
- Vaidya S., Ambad P., Bhosle S., 2018, *Industry 4.0 – A Glimpse*, *Procedia Manufacturing*, no. 20, s. 233–238, <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2018.02.034>
- Wojtyra B., Grudzień Ł., 2017, *Rozwój przemysłu piwowarskiego w Polsce w okresie tzw. piwnej rewolucji w latach 2011–2016*, *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, nr 31(1), s. 52–67, <https://doi.org/10.24917/20801653.311.4>
- Yin R.K., 1984, *Case study research: design and methods*, [w:] *Applied Social Research Methods Series*, vol. 5, Sage Publications.
- Zomparelli F., Petrillo L., Salvo B. Di, Petrillo A., 2018, *Re-engineering and relocation of manufacturing process through a simulative and multicriteria decision model*, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51(11), s. 1649–1654. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2018.08.220>