

WYKORZYSTANIE METODY BELLINGERA W PROCESIE IMPLEMENTACJI REJESTRATORÓW W MAGAZYNIE DYSTRYBUCYJNYM

THE UTILISATION OF THE BELLINGER'S METHOD IN THE DATA LOGGERS IMPLEMENTATION PROCESS IN THE DISTRIBUTION WAREHOUSE

Anna BORUCKA

anna.borucka@wat.edu.pl

Szymon Andrzej RYRYCH

szymon.ryrych@wp.pl

Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Logistyki

Instytut Logistyki

STRESZCZENIE

Posiadanie rzetelnej i adekwatnej informacji jest kluczowe na każdym z poziomów zarządzania logistycznego. W artykule zaprezentowano jedno z narzędzi służących do pozyskiwania danych z otoczenia, jakim są rejestratory. W pierwszej kolejności dokonano analizy spożywczego magazynu dystrybucyjnego, w którym zdiagnozowano problem w postaci znacznych odchyłeń temperatury i wilgotności powietrza od wymaganych norm. Następnie przedstawiono charakterystykę rejestratorów oraz możliwości ich zastosowania w logistyce. Finalnie, na podstawie metody Bellingera, dokonano wyboru odpowiedniego typu rejestratora do wdrożenia w badanym obiekcie i przedstawiono wnioski końcowe.

SUMMARY

Having credible and adequate information is crucial on each level of a logistics management. The article presents one of the tools that can be used to gather data from the environment which are data loggers. In the first place, a distribution warehouse of food industry has been analyzed. The research showed significant deviations of temperature and relative humidity from the required standards. Thereafter, the general characteristics of data loggers and possibilities of their utilization in logistics processes have been depicted. Subsequently, in order to implement in the analyzed warehouse, the right type of logger has been chosen on the basis of the Bellinger's method. At the end of the study, summarized results have been included.

Słowa kluczowe: metoda Bellingera, rejestratory, magazyn dystrybucyjny

Key words: Bellinger's method, data loggers, distribution warehouse

WSTĘP

Na każdym z poziomów zarządzania logistycznego, zarówno strategicznym, taktycznym jak i operacyjnym, niezwykle ważna jest analiza danych i poprawne, na jej podstawie, wnioskowanie. Brak prawidłowej oceny procesów i jego elementów znacznie utrudnia podjęcie właściwych decyzji, dotyczących badanego systemu. Kluczowe jest zatem posiadanie rzetelnych i adekwatnych informacji, naprzeciw czemu wychodzą

najnowsze zdobywcze techniki, oferujące szerokie, kompleksowe pozyskiwanie danych dotyczących obiektów i przepływów. Do tej grupy należą także rejestratory, pozwalające na pomiar stanu obiektu na podstawie zbioru parametrów zapisywanych z określoną częstotliwością. Aby jednak w pełni zostały wykorzystane ich możliwości, kluczowy jest dobór właściwego typu urządzenia do danego procesu. Takie podejście nie tylko gwarantuje optymalizację przepływów logistycznych, ale również wpisuje się w paradygmat Logistyki 4.0, a szczególnie w jeden z jej zasadniczych filarów, jakim jest rejestracja danych. Dlatego w niniejszym artykule zaproponowano matematyczną metodę wyboru rejestratora na przykładzie wybranego magazynu. Przedstawiono charakterystykę badanego obiektu, zdiagnozowano występujące w nim problemy, dokonano przeglądu dostępnych rejestratorów i finalnie zaproponowano wybór najlepszego z nich w oparciu o metodę Bellingera.

1. WPROWADZENIE

1.1. Charakterystyka badanego magazynu

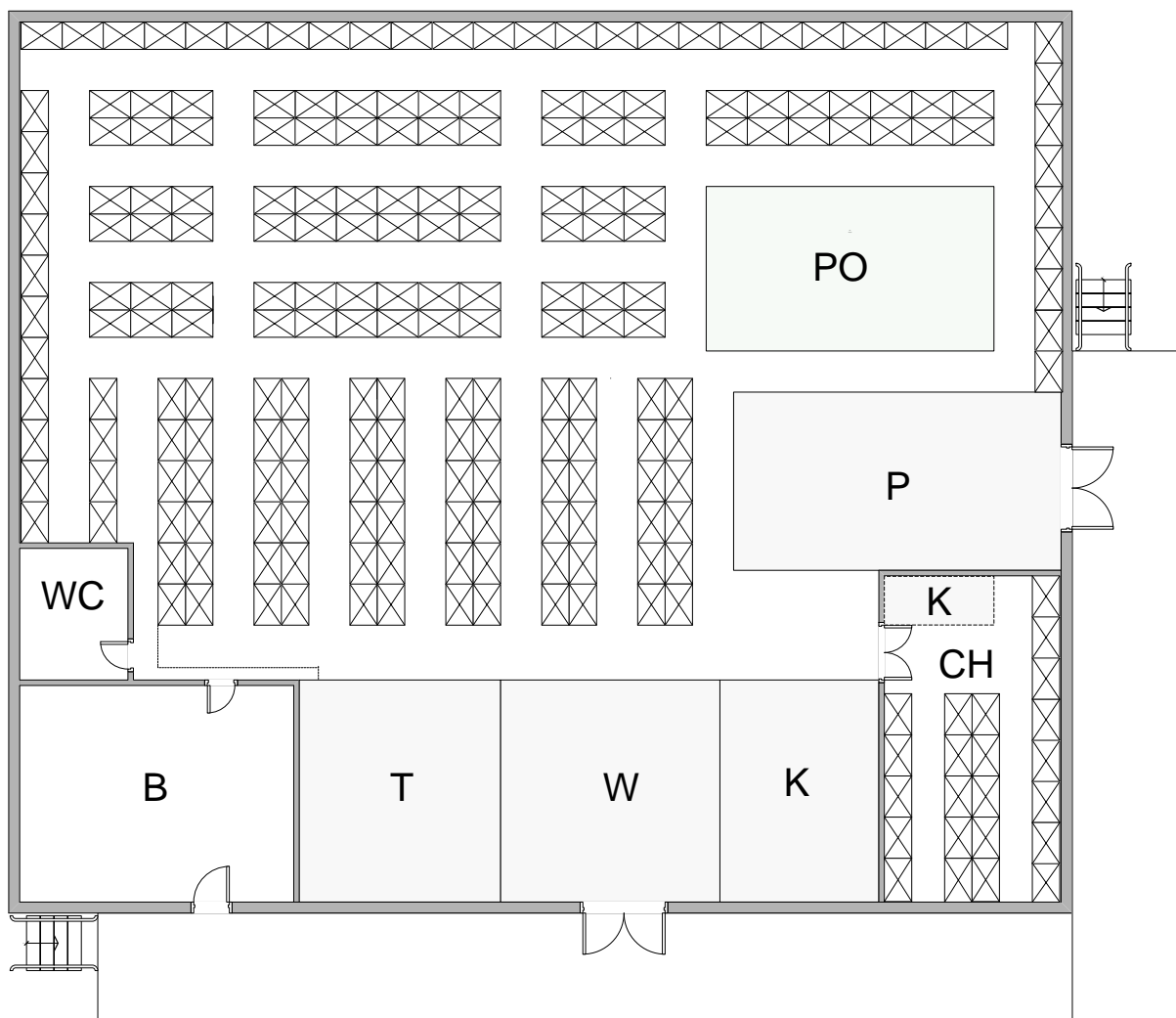
Optymalizacja procesów logistycznych w magazynie polega na takim wykorzystaniu posiadanych przez przedsiębiorstwo zasobów, które zapewni minimalizację kosztu i czasu oraz maksymalizację wydajności i elastyczności tych procesów. Doskonalenie przepływów magazynowych może mieć podłoże w zmianach dotyczących infrastruktury logistycznej, wyposażenia, układu stref magazynowych, jak również w sposobie zarządzania (delegowania i raportowania zadań). Kluczowe jest jednak zdefiniowanie istniejących problemów i określenie możliwości ich rozwiązania.

Badanym w niniejszym artykule obiektem jest magazyn dystrybucyjny wyrobów spożywczych, w którym przechowywane są zarówno produkty o długiej dacie przydatności do spożycia, jak również szybko psujące się produkty mleczne. Budowla magazynowa ma powierzchnię prawie 50 arów. Wzdłuż dwóch ścian zewnętrznych mieści się czołowo-boczny front przeładunkowy. Wewnątrz obiektu można wyróżnić:

- strefę przyjęć (312 m²);
- strefę składowania, składającą się z pola odkładczego, 3 regałów jednostronnych umieszczonych przy ścianach budynku, 15 regałów dwustronnych dwurzędowych wolnostojących;
- strefę kompletacji (192 m²);
- strefę wydań (256 m²);
- strefę techniczną (240 m²);
- chłodnię (312 m²);

- biuro (320 m²);
- łazienkę (80 m²).

Poglądowy plan magazynu został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Plan badanego magazynu

Źródło: Opracowanie własne.

Pole odkładcze służy do składowania ładunków niespaletyzowanych, a także – w okresach zwiększonego popytu – produktów uformowanych na paletach. Wykorzystywana jest tutaj metoda składowania blokowego. Regały są w stanie pomieścić 1648 pjł. Do obsługi magazynu wykorzystywany jest system WMS, pozwalający na stosowanie metody wolnych miejsc.

1.2. Wyniki audytu HACCP w magazynie

W celu zapewnienia właściwego poziomu realizowanych procesów, zagwarantowania jakości przechowywanych produktów oraz sprawdzenia zgodności procesu magazynowego z zasadami normy PN-EN ISO 22000:2006 Systemy zarządzania bezpieczeństwem żywności,

w badanym magazynie przeprowadzono audyt wewnętrzny. Jednym z niepokojących sygnałów, stwierdzonych podczas kontroli, były różnice pomiędzy rzeczywistą a wymaganą normatywnie temperaturą i wilgotnością względną powietrza (Tabela 1), które były przyczyną wielu niepokojących zjawisk, jak na przykład:

- obecność pleśni w niektórych produktach;
- wzrost liczby zainfekowanych ładunków;
- tworzenie się grud w materiałach sypkich.

Tabela 1. Porównanie pomiarów temperatury i wilgotności względnej powietrza z wymaganiami

	Temperatura		Wilgotność względna	
	Wymagana	Rzeczywista	Wymagana	Rzeczywista
Produkty suche	15÷18°C	15÷22°C	<55%	30÷70%
Produkty chłodzone	4÷7°C	4÷9°C	<75%	40÷85%

Źródło: Opracowanie własne.

W celu natychmiastowej poprawy warunków klimatycznych podjęto decyzję o modernizacji systemu monitorowania i kontrolowania temperatury oraz wilgotności, wdrażając poniższe zalecenia:

- monitorowanie parametrów w czasie rzeczywistym;
- wprowadzenie systemu ostrzegania o odchyleniach od wartości normatywnych;
- zapisywanie i analizowanie danych pomiarowych w systemie komputerowym;
- kontrola wartości parametrów w wielu miejscach magazynu wyznaczonych na podstawie ustalonych punktów krytycznych.

Ponieważ spełnienie takich wymagań gwarantują rejestratory temperatury i wilgotności względnej powietrza, podjęto decyzje o ich zastosowaniu w badanym magazynie.

2. CHARAKTERYSTYKA REJESTRATORÓW

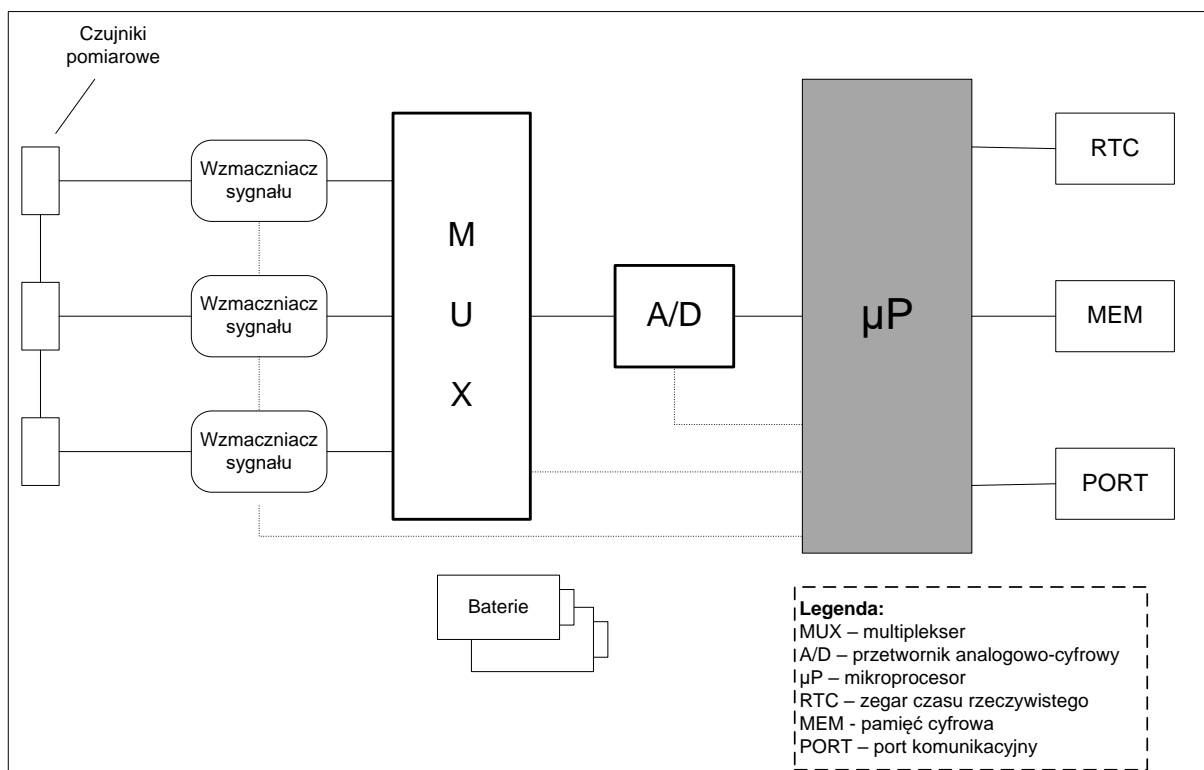
2.1. Definicja i budowa rejestratora

Rejestratory danych (*data recorder*, *data logger*) to urządzenia elektroniczne, które rejestrują i zapisują informacje na temat przebiegu określonych parametrów w czasie za pomocą wbudowanych bądź zewnętrznych czujników. W branżowej nomenklaturze funkcjonują jako *loggers* i korzystając z różnego rodzaju czujników mogą dokonywać

pomiaru takich wielkości jak np. temperatura, ciśnienie, wilgotność powietrza, natężenie światła, poziom wody, prędkość i kierunek wiatru, przechylenie, przyspieszenie. Ze względu na sposób poboru danych wyróżnia się ich dwa zasadnicze rodzaje:

1. Elektroniczne rejestratory autonomiczne – dane zapisywane są w pamięci rejestratora, a ich odczytu dokonuje się na komputerze. Liczba możliwych pomiarów ograniczona jest pojemnością zastosowanej pamięci. Po jej zapełnieniu dane są nadpisywane albo rejestracja danych jest przerywana, co jest największą wadą tego sposobu.
2. Systemy rejestracji – tworzone zazwyczaj z większej liczby rejestratorów podłączonych do rejestratora centralnego siecią przewodową bądź bezprzewodową. Programowanie loggerów i odczyt oraz analiza danych dokonywane są poprzez odpowiednie oprogramowanie komputerowe.

Data loggery są instrumentami pomiarowymi o niewielkim rozmiarze, pozwalającym na zamontowanie w praktycznie każdym miejscu np. na regale magazynowym w kontenerze czy na palecie. Budowa przykładowego rejestratora zaprezentowana została na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowy schemat blokowy budowy rejestratora

Źródło: W.I. Kipp (1998), *Understanding Today's Transport Environment Measuring Recorders*, <http://www.wikipco.com/Transport%20Recorders.pdf>.

Zasada działania przedstawionego na powyższym rysunku rejestratora jest następująca. Czujniki pomiarowe z ustaloną częstotliwością pobierają informacje o stanie parametrów z otoczenia. Wymagają one często wzmacniacza sygnału, umożliwiającego zapis

i/lub emisję pomiarów. Następnie sygnał przekazywany zostaje do multipleksera, który przetwarza dane (z kilku czujników na wejściu, w jeden sygnał na wyjściu) do przetwornika analogowo-cyfrowego. Konwertuje on sygnał analogowy na cyfrowy, który przesyłany jest dalej do mikroprocesora wyposażonego m.in. w zegar czasu rzeczywistego (pozwalającego na oznaczenie danych czasem ich pobrania), pamięć cyfrową (zapisującą i magazynującą informacje) oraz port komunikacyjny (zapewniający wymianę danych pomiędzy urządzeniem, a komputerem). Mikroprocesor kontroluje także algorytmikę wszystkich wykonywanych przez pozostałe elementy operacji. Całość zasilana jest energią z baterii, bądź ogólnej sieci elektrycznej.

2.2. Możliwości zastosowania rejestratorów w procesach logistycznych

Na rynku dostępnych jest wiele różnych rodzajów rejestratorów, począwszy od prostych urządzeń pozwalających na pomiar jednej cechy, do bardziej złożonych przyrządów, mierzących jednocześnie wiele parametrów. Rejestratory wykorzystywane są niemal w każdej dziedzinie gospodarki. Ich możliwości sprawiły, że zaczęły być stosowane również w logistyce, zwłaszcza w procesach transportu i magazynowania. Sprzyja temu istnienie w procesach logistycznych kluczowych parametrów, mocno wpływających na jakość i bezpieczeństwo przepływów na każdym etapie łańcucha. Należą do nich:

- temperatura;
- wilgotność powietrza;
- natężenie światła;
- ruch;
- przyspieszenia;
- przechyły.

Ich pomiar w funkcji czasu pozwala na określenie chwili wystąpienia odchylenia od pożądaných wartości, a nawet lokalizacji, jeżeli urządzenie jest wyposażone w sensory GPS. Stąd możliwości zastosowania w logistyce są bardzo szerokie, najczęściej jednak loggery sprawdzają się podczas:

1. Kontroli temperatury i wilgotności powietrza w procesie magazynowania produktów spożywczych – co jest przedmiotem badania w niniejszym artykule.
2. Monitorowania warunków przewozu towarów delikatnych w transporcie. Umożliwiają między innymi ustalenie odpowiedzialności finansowej za straty spowodowane w czasie przewozu, co jest szczególnie istotne w złożonych, międzynarodowych łańcuchach dostaw, w które zaangażowana jest duża liczba podmiotów

gospodarczych. W przypadku uszkodzeń często powstają spory rozstrzygane na drodze sądowej, które mogą ciągnąć się latami. Rejestratory pozwalają na precyzyjne określenie miejsca i czasu wystąpienia nieprawidłowości, np. zbyt dużych wstrząsów czy przechyleń ładunków.

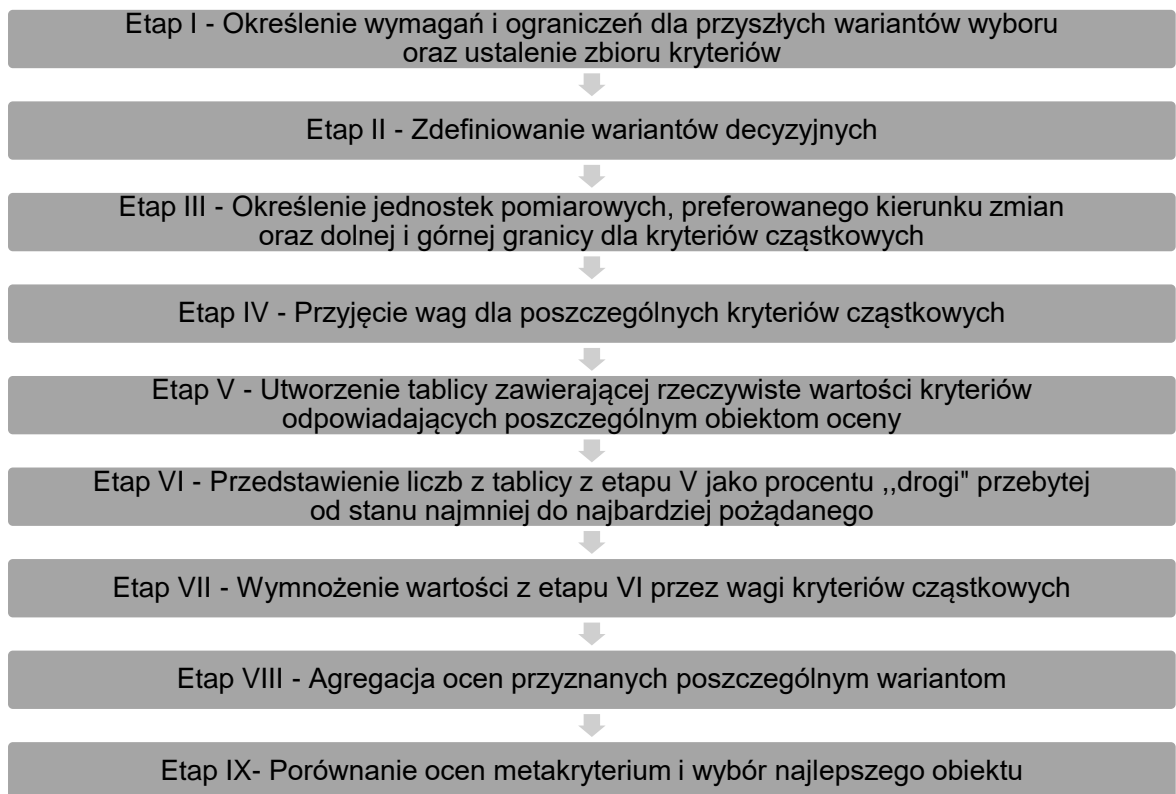
3. Monitorowania żywności w chłodniczym łańcuchu dostaw poprzez ciągły pomiar warunków klimatycznych chłodzonych i mrożonych produktów spożywczych od pozyskania surowca, poprzez produkcję, przechowywanie, transport, aż do momentu rozmrożenia gotowego produktu przed konsumpcją (Grabowska, 2014). W takim przypadku zastosowanie rejestratorów wymaga kompleksowego podejścia do zarządzania przepływem dóbr i ścisłej współpracy w całym łańcuchu dostaw, co często jest utrudnione przez międzynarodowy charakter przepływów.
4. Monitorowania warunków produkcji w branży farmaceutycznej – rejestratory dokonują pomiarów zużycia energii w poszczególnych maszynach oraz służą monitorowaniu temperatury, wilgotności, natężenia światła, czy stężenia różnych substancji podczas procesu produkcji. Wykorzystywane są także w laboratoriach, do kontroli warunków klimatycznych.

3. METODA WYBORU WŁAŚCIWEGO TYPU REJESTRATORA

3.1. Podstawy teoretyczne metody Bellingera

Różnorodność dostępnych produktów znacznie utrudnia wybór właściwego rejestratora. Z pomocą przychodzą narzędzia matematyczne, w tym wielokryterialne analizy porównawcze (WAP), w skład których wchodzi między innymi metoda Bellingera.

Jej twórcą – stąd nazwa - jest Bernhard Bellinger. Zaproponował on porządkowanie obiektów na podstawie wartości oceny łącznej, wyznaczonej ze zbioru przyjętych kryteriów cząstkowych (Duchaczek, Skorupka, 2014). Ponieważ często zdefiniowane kryteria należą do różnych, nieporównywalnych zbiorów, konieczne jest doprowadzenie ocen poszczególnych wariantów do porównywalności, a następnie ich zsumowanie (Duchaczek, Skorupka, 2013). Należy zatem dla każdego z kryteriów oceny ustalić najbardziej i najmniej pożądany stan oraz zdecydować czy dane kryterium jest stymulantą czy destymulantą (Duchaczek, Skorupka, Szleszyński, 2012). Szczegółowy algorytm postępowania w metodzie Bellingera można przedstawić za pomocą dziewięciu etapów, przedstawionych na rysunku 3.



Rys. 3. Algorytm postępowania w metodzie Bellingera

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Siergiejczyk, Krzykowska, Kruszyna, 2014, s. 101.

W I etapie konieczne jest ustalenie wymagań oraz ograniczeń dla przyszłych, hipotetycznych wariantów rozwiązania, oraz określenie kryteriów decyzyjnych na podstawie których będzie dokonywane porównywanie obiektów. W kolejnym, II etapie zostaje zdefiniowany zbiór wariantów decyzyjnych. Ponadto w oparciu o wcześniej ustalone kryteria dokonuje się selekcji obiektów spełniających postawione wymagania. Szczegółowe zdefiniowanie kryteriów ocenowych następuje w etapie III, gdzie określa się jednostki pomiarowe oraz ustala pożądaną kierunek zmian, odpowiednio dla każdego z kryteriów:

- stymulanty – preferowany wzrost wartości,
- destymulanty – preferowany spadek wartości,

wraz z granicznymi wartościami dopuszczalnych zmian dla każdego z kryteriów cząstkowych. W etapie IV natomiast ma miejsce ustalenie wag. Hierarchizacji kryteriów dokonuje się poprzez utworzenie macierzy pierwszeństwa, a następnie jej znormalizowanie. Efektem etapu V jest tabela zawierająca rzeczywiste wartości badanych kryteriów dla każdego z wariantów które - w etapie VI - prezentowane są jako procent „drogi” przebytej od stanu najmniej do najbardziej pożądanego. W tym celu konieczne jest określenie odległości pomiędzy kresem dolnym a górnym każdego z kryteriów oceny wartości decyzyjnych, którą wyznacza się z zależności (1):

$$\Delta_j = |supX - infX| \quad (1)$$

gdzie:

Δ_j – odległość pomiędzy kresem górnym i kresem dolnym zbioru wartości,

$supX$ – kres górny dopuszczalnego zbioru wartości,

$infX$ – kres dolny dopuszczalnego zbioru wartości.

Ocena i -tego obiektu na podstawie j -tego kryterium różni się dla stymulant (2) i destymulant (3). Są one wyznaczane wg poniższych wzorów:

- dla stymulant:

$$O_{xij} = \frac{x_{ij} - supX}{\Delta_j} * 100\% \quad (2)$$

- dla destymulant:

$$O_{xij} = \frac{infX - x_{ij}}{\Delta_j} * 100\% \quad (3)$$

gdzie:

O_{xij} – ocena i -tego wariantu na podstawie j -tego kryterium cząstkowego,

x_{ij} – rzeczywista wartość j -tego kryterium dla i -tego obiektu.

Otrzymany procent „drogi”, w etapie VII, mnożony jest przez ustalone wagi kryteriów. Tak powstałe oceny poszczególnych kryteriów sumowane są w etapie VIII dla każdego z wariantów decyzyjnych. IX – ostatni etap – to wybór najlepszego wariantu na podstawie porównania wartości metakryterium i otrzymanych wyników.

3.2. Wykorzystanie metody Bellingera do wyboru typu rejestratorów w analizowanym magazynie

Przedstawiony algorytm stał się podstawą przeprowadzonego badania, pozwalającego na wybór typu urządzenia rejestrującego, najlepiej dopasowanego do procesów realizowanych w przedmiotowym magazynie. Na początku konieczne było ustalenie wymagań i ograniczeń względem wybieranych loggerów. W obliczu zdefiniowanych wcześniej problemów, najważniejszym okazało się posiadanie przez rejestrator czujnika temperatury oraz higrometru. Z tego punktu widzenia istniała możliwość wybrania dwóch niezależnych urządzeń monitorujących – jednego dokonującego pomiarów temperatury oraz drugiego mierzącego poziom wilgotności względnej powietrza, co jednak powodowałoby niepotrzebne, dodatkowe procedury i koszty, dlatego już na wstępie zrezygnowano z takiej propozycji.

Następnie wyznaczono zbiór kryteriów decyzyjnych w postaci 5 kryteriów ilościowych, opisujących dane techniczne urządzeń, z których 2 posiadają po dwa subkryteria, o równoważnym priorytecie. W ten sposób powstał zbiór 7 kryteriów postaci:

- Dokładność pomiaru temperatury (C1) – maksymalny błąd pomiaru, nie może przekroczyć +/- 0,5 °C.

- Dokładność pomiaru wilgotności względnej (C2) – błąd pomiaru nie powinien przekraczać +/- 5%.
 - Zakres pomiarowy:
 - Dolna granica (C3) – najniższa temperatura pomiaru, która nie powinna być wyższa niż -20 °C. Ma to szczególne znaczenie dla chłodzi.
 - Górna granica (C4) – najwyższa możliwa do zmierzenia temperatura.
 - Stopień ochrony IP zapewnianej przez obudowę. Na podstawie normy PN-EN 605029:2003 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy, określany jest kod IP składający się z dwóch cyfr:
 - Pierwsza cyfra charakterystyczna (C5) – obudowa zabezpiecza ochronę ludzi przed dostępem do niebezpiecznych części wewnątrz urządzenia oraz chroni urządzenie przed wnikaniem ciał obcych takich jak pyły. Mieści się w zakresie od 0 do 6.
 - Druga cyfra charakterystyczna (C6) – stopień wodoodporności obudowy, oceniany w skali 0 ÷ 9.
 - Czas pracy baterii (C7) – czas użytkowania baterii, mierzony w latach.

W etapie drugim zdefiniowano warianty decyzyjne. Na podstawie przeprowadzonej analizy rynku wybrano 5 data loggerów, spełniających wymaganie symultanicznego pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza. Zaprezentowano je, wraz z mierzonymi przez nie parametrami, w Tabeli 2. Spośród nich zostanie wybrany jeden, celem wdrożenia w rozpatrywanym magazynie

Tabela 2. Analizowane rejestratory wraz z rodzajem mierzonych parametrów

Lp.	Nazwa urządzenia	Rodzaj mierzonych parametrów
1	LOG22	temperatura; wilgotność
2	TR-3020	temperatura; wilgotność
3	TGP-4500	temperatura; wilgotność
4	TRE37	temperatura; wstrząsy; swobodny spadek z wysokości; wilgotność
5	TRE38	temperatura; wstrząsy; swobodny spadek z wysokości; wilgotność; natężenie światła

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym etapem badania było określenie pożądanego kierunku zmian, oraz ich dolnych i górnych granic dla poszczególnych kryteriów. Zostały one przedstawione w Tabeli 3. Trzy z nich to destymulanty, dla których preferowane są niższe wartości, natomiast dla czterech pozostałych, pożądana jest wyższa wartość.

Tabela 3. Pożądany kierunek oraz dolna i górna granica zmian dla poszczególnych kryteriów cząstkowych

Kryterium	Dokładność pomiaru temperatury [± °C]	Dokładność pomiaru wilgotności [± %]	Zakres pomiarowy [°C]		Stopień odporności IP		Czas pracy baterii [lata]
			Dolna granica	Górna granica	pierwsza cyfra	druga cyfra	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
Pożądany kierunek zmian	destymulanta	destymulanta	destymulanta	stymulanta	stymulanta	stymulanta	stymulanta
Kres górny	0,5	5	- 20	90	6	9	2
Kres dolny	0,1	1	- 40	50	0	0	1

Źródło: Opracowanie własne.

W etapie IV, za pomocą macierzy pierwszeństwa kryteriów, przedstawionych w Tabeli 4, dokonano hierarchizacji, określając jednocześnie dla każdej z par stopień preferencji. Dla kryteriów równoważnych, wartość wynosi 1, dla tych o wyższej preferencji, przyjęto stopnie od 2 do 5, natomiast te o preferencji niższej, przyjęły wartości ułamkowe (odwrotne) od 1/2 do 1/5.

Tabela 4. Macierz pierwszeństwa kryteriów

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1	2	4	4	5	3	3
C2	1/2	1	4	4	4	2	3
C3	1/4	1/4	1	2	2	1/2	1/2
C4	1/4	1/4	1/2	1	1	1/3	1
C5	1/5	1/4	1/2	1	1	1/4	1/3
C6	1/3	1/2	2	3	4	1	4
C7	1/3	1/3	2	1	3	1/4	1
SUMA	2,87	4,58	14,00	16,00	20,00	7,33	12,83

Źródło: Opracowanie własne.

Ostatni wiersz tabeli 4 zawiera sumy poszczególnych kolumn, niezbędne do znormalizowania poniższej macierzy i ustalenia wartości wag dla rozpatrywanych kryteriów cząstkowych, które wyznacza się, dzieląc każdą z wartości w kolumnie, przez ich sumę. Powstałą w ten sposób znormalizowaną macierz pierwszeństwa kryteriów przedstawiono w Tabeli 5. Dodatkowo, w ostatniej kolumnie, obliczono średnią

arytmetyczną dla każdego z wierszy. Wartości te agregują się do 1 i stanowią wagi poszczególnych kryteriów (Tabela 5).

Tabela 5. Znormalizowana macierz pierwszeństwa kryteriów

Kryterium	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Wartość średnia - waga kryterium
C1	0,35	0,44	0,29	0,25	0,25	0,41	0,23	0,32
C2	0,17	0,22	0,29	0,25	0,20	0,27	0,23	0,23
C3	0,09	0,05	0,07	0,13	0,10	0,07	0,04	0,08
C4	0,09	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,08	0,06
C5	0,07	0,05	0,04	0,06	0,05	0,03	0,03	0,05
C6	0,12	0,11	0,14	0,19	0,20	0,14	0,31	0,17
C7	0,12	0,07	0,14	0,06	0,15	0,03	0,08	0,09
Suma								1,00

Źródło: Opracowanie własne.

W kolejnym etapie, na podstawie danych technicznych wybranych do analizy urządzeń (Tabela 2) do każdego z wariantów decyzyjnych dopasowano rzeczywiste wartości kryteriów dla poszczególnych rejestratorów (Tabela 6).

Tabela 6. Rzeczywiste wartości kryteriów dla poszczególnych rejestratorów

Nazwa urządzenia - wariant decyzyjny	Dokładność pomiaru temperatury [± °C]	Dokładność pomiaru wilgotności [± %]	Zakres pomiarowy [°C]		Stopień odporności IP		Czas pracy baterii [lat]
			Dolna granica	Górna granica	Pierwsza cyfra	Druga cyfra	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
LOG22	0,4	3	-40	70	5	4	2
TR-3020	0,4	3	-20	55	2	0	1
TGP-4500	0,4	3	-25	85	6	8	1
TRE37	0,3	1,8	-40	85	5	4	2
TRE38	0,2	1,8	-40	85	5	4	2

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7. Przedstawienie rzeczywistych wartości kryteriów jako procentu „drogi” przebytej od stanu najmniej do najbardziej pożądanego

Kryterium	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
LOG22	25	50	100	50	83,3	44,4	100
TR-3020	25	50	0	12,5	33,3	0	0
TGP-4500	25	50	25	87,5	100	88,9	0
TRE37	50	80	100	87,5	83,3	44,4	100
TRE38	75	80	100	87,5	83,3	44,4	100

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym krokiem było przemnożenie wartości z Tabeli 7 przez wagi poszczególnych kryteriów, zawartych w Tabeli 5 a następnie ich agregacja, co przedstawiono w Tabeli 8.

Tabela 8. Procent „drogi” przebytej od stanu najmniej do najbardziej pożądanego z uwzględnieniem wag kryteriów

Kryterium	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	SUMA
LOG22	7,91	11,68	7,79	2,95	3,96	7,64	9,38	51,31
TR-3020	7,91	11,68	0	0,74	1,58	0	0	21,91
TGP-4500	7,91	11,68	1,95	5,17	4,75	15,29	0	46,74
TRE37	15,81	18,68	7,79	5,17	3,96	7,64	9,38	68,43
TRE38	23,72	18,68	7,79	5,17	3,96	7,64	9,38	76,34

Źródło: Opracowanie własne.

Tak otrzymane wartości metakryterium umożliwiają podjęcie decyzji o wyborze najlepszego wariantu. Znając wymagania analizowanego magazynu oraz wykorzystując metodę Bellingera, dla określonego pierwotnie zbioru rejestratorów i kryteriów cząstkowych, do wdrożenia w rozpatrywanym magazynie zdecydowano się wybrać urządzenie **TRE38** (Rysunek 4).



Rys. 4. Rejestrator TRE38

Źródło: <https://www.newsteo.com/en/datalogger/shockrecorder/>.

Rejestrator ten spełnia wszystkie założone oczekiwania. Dodatkowym atutem jest posiadanie czujnika natężenia światła, co może zostać wykorzystane celem zapewnienia jeszcze wyższej jakości składowanych produktów. Ponadto jest wyposażony w system komunikacji RFID. Taki interfejs pozwoli na automatyczne, bezprzewodowe wysyłanie danych do skonfigurowanego systemu komputerowego.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wiele decyzji podniewmowanych w przedsiębiorstwach, także w obszarze logistyki, wspieranych jest nowoczesnymi systemami rejestrującymi, przetwarzającymi i interpretującymi gromadzone informacje, celem wypracowania najlepszych w danych warunkach rozwiązań. Taki sposób zarządzania, uzupełniany wiedzą i doświadczeniem menadżerów, jest gwarancją skuteczności i jakości realizowanych procesów, wymaga jednak poniesienia określonych nakładów i często długiego okresu wdrażania. Tymczasem wsparciem mogą stać się proste metody i narzędzia matematyczne, ułatwiające podejmowanie decyzji. Jednym z nich jest zaprezentowana w artykule metoda Bellingera, która została wykorzystana w procesie wyboru najlepszego rejestratora, celem jego implementacji w badanym magazynie.

Na podstawie wniosków z przeprowadzonych analiz należy w pierwszej kolejności podkreślić możliwość i celowość zastosowania rejestratorów danych w procesach logistycznych. Dotyczy to szczególnie produktów, dla których zmiana warunków przechowywania czy przewożenia może mieć negatywny wpływ na ich jakość, przyczyniać się do powstawania pleśni, inicjowania procesów gnilnych i wzrostu czynników chorobotwórczych, (np. produkty spożywcze). Gama dostępnych rozwiązań w zakresie

pomiarów i monitoringu temperatury, wilgotności, ciśnienia powietrza, wstrząsów czy przechyłów jest imponująca, zresztą nie tylko w aspekcie możliwości pomiarowych, ale również rozwiązań technologicznych. Wymienione w analizie rejestratory są tylko przykładowe, służyły jedynie zaprezentowaniu metody ich wyboru.

Drugim wnioskiem, płynącym z przeprowadzonych analiz, jest potwierdzenie słuszności i trafności wykorzystania metody Bellingera w zakresie wyboru właściwego rejestratora, dedykowanego problemom zdiagnozowanym w analizowanym magazynie. Metoda ta możliwa jest do zastosowania w wielu obszarach logistycznych, w których decyzje są podejmowane na podstawie różnych kryteriów.

Zaprezentowane badanie jest nie tylko utylitarne ale również przyszłościowe. Jego kolejnym etapem jest rzeczywisty proces implementacji wybranego rejestratora w magazynie celem potwierdzenia, że zaproponowane rozwiązanie przyczyniło się do usprawnienia realizowanych procesów.

LITERATURA

- Grabowska, B. (2014). *Łańcuch chłodniczy w przetwórstwie mrożonej żywności*. Chłodnictwo i Klimatyzacja, 10, 78-79.
- Duchaczek, A. Skorupka, D. (2013). *Ocena ryzyka uszkodzenia obiektów mostowych*. Zeszyty Naukowe WSOWL, 3.
- Duchaczek, A. Skorupka, D. (2014). *Zastosowanie zmodyfikowanej metody Bellingera do optymalizacji doboru środków transportowych*. Budownictwo i Architektura, 13(4).
- Duszczyk, M. (2009). *HACCP, czyli jak spełnić podstawowe wymogi sanitarne*. <http://biznes.gazetaprawna.pl> (14.08.2018).
- <http://research.omicsgroup.org> (14.08.2018).
- <https://www.geminidataloggers.com> (14.08.2018).
- <http://www.mera-sp.com.pl/katalog-produktow/rejestratory-loggery> (14.08.2018).
- <https://www.newsteo.com/en/datalogger/shockrecorder> (14.08.2018).
- Kipp, W.I. (1998). *Understanding Today's Transport Environment Measuring Recorders*. <http://www.wikipco.com/Transport%20Recorders.pdf> (14.08.2018).
- PN-EN 12830:2002 Rejestratory temperatury stosowane podczas transport, przechowywania i dystrybucji schłodzonej, zamrożonej, głęboko zamrożonej/szybko zamrożonej żywności i lodów – Badania, charakterystyka działania, przydatność.
- PN-EN 605029:2003 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (Kod IP).
- Siergiejczyk, M. Krzykowska, K. Kryszyna R. (2014). Analiza porównawcza systemów precyzyjnego łądowania. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, 102, 101.

- Skorupka D. Duchaczek, A. Szleszyński, A. (2012). Optymalizacja doboru środków transportowych w logistyce magazynowej materiałów budowlanych. *Zeszyty Naukowe WSOWSL*, 4, 138.
- PN-EN ISO 22000:2006 System Zarządzania Bezpieczeństwem Żywności – wymagania dla wszystkich uczestników łańcucha żywnościowego (HACCP).
- Ryrych, S.R. (2018). *Wykorzystanie rejestratorów w logistyce na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa*. Niepublikowana praca magisterska. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- Wessel R. (2011). *DB Schenker Uses Temperature-logging Tags to Monitor Drug Shipments*. www.rfidjournal.com (14.08.2018).