

AUTOMATYZACJA PRZEPŁYWU MATERIAŁÓW W MAGAZYNIE: OD TEORII DO PRAKTYKI

// W praktyce nie ma gotowych schematów i recept na zaplanowanie magazynu automatycznego, uwzględniając wszystkie strumienie towarowe i ich natężenia. Jak zatem sobie poradzić z tym ciekawym zagadnieniem? Odpowiedź brzmi: opierając się na matematyce, dobrej praktyce inżynierskiej i wielu latach praktycznych doświadczeń z zakresu operacji logistycznej.

Autor // ROBERT LUBANDY



Absolwent Politechniki Śląskiej i Akademii Leona Koźmińskiego. Od prawie 25 lat związany zawodowo z logistyką. Jako dyrektor logistyki w zakładzie produkcyjnym branży metalowej odpowiedzialny za logistykę magazynową i nadzór nad produkcją. Dyrektor ds. sprzedaży rozwiązań automatyzacji magazynowej w Europie Wschodniej. Zaprojektował ponad 200 magazynów i rozwiązań automatyzacji magazynowej w branżach FMCG, części zapasowych, lekarstw i produkcyjnej. Od 2008 r. samodzielnie z własną firmą na rynku usług konsultingowych w krajach Europy Wschodniej. W 2012 i w 2021 r. laureat nagrody CONSTANTINUS AWARD przyznawanej przez Austriacką Izbę Gospodarczą. Firma Lubandy.Logistic.Services prowadzi projekty doradcze w Europie Wschodniej i posiada biura konsultantów w Austrii, Ukrainie, Kazachstanie i Polsce.

JAK WYGLĄDA POCZĄTEK PROCESU PLANOWANIA?

Teoria: badając przepływy i strumienie towarowe z przeszłości, ekstrapolujemy je, uwzględniając wskaźniki wzrostu na przyszłość.

Praktyka: żaden rozsądny klient wspierany przez doświadczonego doradcę nie określi wskaźników wzrostu jedynie na podstawie estymacji działu sprzedaży, nie uwzględniając innych parametrów. Należą do nich np. demografia, dostępność siły pracowniczej w regionie, wpływ zmian zachodzących w sposobie dystrybucji towarów lub zmiany mody na dany produkt i sezonowość.

To jedno z największych wyzwań w procesie planowania, gdy na bazie danych z przeszłości musimy dzisiaj zaplanować przyszłość w perspektywie najbliższych 5–8 lat. Odchylenia naszych założeń mogą wynosić w zależności od branży do 250% i więcej. Co zatem zrobić, aby z jednej strony nie przekroczyć rozsądnych ram zwrotu z inwestycji, a z drugiej nie zaplanować magazynu, który już na wstępie wyczerpie swoimi możliwościami kilka najbliższych lat?

Tutaj dygresja: zdarzały się w naszej praktyce projekty, które zakładały wzrosty na poziomie 1–5% rocznie, i klienci utrzymywali bardzo sztywne ramy czasu pracy i liczby pracowników. Głównym celem długoplanowym w takich projektach jest stabilizacja kosztów dystrybucji przy zrównoważonym pobycie na dany towar. W takich projektach przewidujemy stabilną przyszłość w określonych ramach infrastruktury i nakładów CAPEX¹ i OPEX². Tego typu projekty są rzadkością na rynkach CEE i dlatego wymagane jest od planistów podejście polegające na przewidywaniu określonych czynników na przebieg procesu.

JAKIE TO MOGĄ BYĆ CZYNNIKI?

Jednym ze „standardów” ostatnich lat w projektach branży e-commerce są spiętrzenia sezonowe znane z przestrzeni medialnej jak np. „black week”, „back to school”, „X-MAS” i wiele innych powodujących zaburzenia w obliczonych uprzednio natężeniach strumieni przepływu.

Co to oznacza w praktyce? Że w analizie natężenia strumienia wydzielamy okresy spiętrzeń (uwaga: także okresy je poprzedzające, w których dokonuje się zakupu i zwiększenia

¹ Suma nakładów inwestycyjnych zarówno w infrastrukturę, urządzenia, jak i oprogramowanie.

² Całokształt oczekiwanych kosztów eksploatacji, począwszy od kosztów energii, ubezpieczenia, serwisu, części zamiennych aż do zużycia materiałów eksploatacyjnych.

zapasu magazynowego) i określamy dynamikę tych spiętrzeń. Co oznacza, że musimy przewidzieć, na ile spiętrzenia te zaburzają przepływy pomiędzy procesami. Dobrym narzędziem dla tego typu analiz jest wykonanie dynamicznych wykresów Sankeya³, gdzie punkty o znaczeniu procesowym mają parametr wydajności (częściej przepustowości) i przepuszczane przez nie strumienie podlegają weryfikacji z punktu widzenia zdolności do realizacji danego procesu. W ten sposób określa się nominalną przepustowość procesu dla wartości średniorocznej i bada się zdolność do adaptacji strumienia spiętrzeń przez np. dodanie kolejnego stanowiska procesowego lub przez zwiększenie wydajności nominalnej⁴.

Przestrzec należy także przed podejściem do analizy przepływów na zasadzie matematycznej średniej i przyjęcia wartości średnich w jednostce czasu. Wiele zjawisk towarzyszących realizacji potoku towarowego w magazynie podlega np. tzw. zjawisku pulsacji, który prowadzi do zmiennego natężenia w jednostce czasu⁵. Tego typu zjawiska mogą mieć swoje przyczyny w nierównomierności realizacji zadań w systemach sterowania, opóźnień w reakcji elementów sterowania, nierównomierności wydajności pracowników lub nakładaniu się strumieni jednostkowych pochodzących z różnych źródeł, a łączących się na wspólnym odcinku np. przenośnika.

Pomijając aspekt sposobu kompensacji spiętrzeń sezonowych jest zmiana organizacji pracy np. poprzez zwiększenie ilości zmian pracy lub wydłużenie (zgodnie z przepisami prawa pracy) czasu trwania zmiany w tym okresie. Niesie

to za sobą dodatkowo konieczność wprowadzenia zmian w organizacji pracy, przynosi jednak korzyści wynikające z faktu braku zatrudnienia pracowników sezonowych⁶.

JAK DOBRAĆ TECHNOLOGIE I URZĄDZENIA DO REALIZACJI PROCESÓW, ABY POWSTAŁ SPÓJNY SYSTEM AUTOMATYZACJI MAGAZYNOWEJ?

Teoria: należy przyporządkować poszczególne procesy do przyszłych stref magazynu i wprowadzać technologie pozwalające na redukcję zasobów, czasu realizacji i całkowitych kosztów operacji w magazynie.

Praktyka: w świetle istnienia wielu podobnych technologii i systemów na rynku powinno dokonać się wstępnej analizy adaptacji danego systemu do danego procesu, jednocześnie sprawdzając jego użyteczność i stopień wykorzystania w przypadku połączenia go z systemem w następującym lub poprzedzającym procesie.

Klasycznym przykładem jest znalezienie rozwiązania dla składowania palet z zapasem towarowym w połączeniu z układem pozwalającym następnie na kompletację pojedynczych sztuk towaru potrzebnych w realizacji zamówienia. Rozważając to zagadnienie na zasadzie eksperymentu myślowego, gdzie jedynym ograniczeniem jest wielkość strumienia wychodzącego w dniu średniorocznym (budynki i CAPEX nie stanowią ograniczenia), można stworzyć następującą matrycę potencjalnych rozwiązań (tablica 1):

Układ paletowy	Układ składowania kartonów	Zalety	Wady
Regały paletowe zwykłe	Regały półkowe lub przepływowe	- Niski poziom CAPEX - Prostota rozwiązania - Duża skalowalność - Brak konieczności instalowania złożonych systemów IT do kontroli przepływu	- Konieczność zatrudnienia większej liczby pracowników - Ograniczona przepustowość po przekroczeniu maksymalnej ilości pracowników w strefie - Zwiększone zapotrzebowanie na powierzchnię
Regały paletowe przejezdne	Regały półkowe lub przepływowe	Mniejsze o 50% zapotrzebowanie na powierzchnię w strefie palet	- Zmniejszenie przepustowości w przypadku spiętrzeń - Większe zużycie energii
Układnice paletowe	System składowania typu MINI-LOAD	Ruch towarowy wewnątrz i pomiędzy systemami w pełni automatyczny	- Większe nakłady na CAPEX i OPEX - Konieczność rozbudowy komórki serwisowej - Zależność od relacji z dostawcą
System SHUTTLE dla palet	System shuttle dla kartonów	- Wysoka dynamika przemieszczeń wewnątrz i pomiędzy systemami - Duża skalowalność rozwiązania - Niższe zużycie energii w porównaniu z układnicą	- Konieczność budowy zaplecza serwisowego dla obu systemów - Zależność od dostawcy(-ów) - Ograniczenia w wysokości budowy systemu

Tab. 1. // Matryca potencjalnych rozwiązań w analizie spójności procesowej

³ Wykresy zaproponowane przez irlandzkiego inżyniera M.H. Sankeya dla analizy mocy maszyny parowej wskazujący na straty i zmiany energii procesu cieplnego – wykresy tego rodzaju stosowane w przemyśle chemicznym pokazują natężenia strumieni w kolejnych fazach procesu chemicznego – adaptowane do analiz przepływu towarowego w logistyce.

⁴ W tym wypadku dokonujemy analizy finansowej określającej przydatność takiego zakupu z punktu widzenia amortyzacji lub zaspokojenia niedoborów mocy w innych okresach działalności.

⁵ W odróżnieniu od zmienności sezonowej (długookresowej) pulsacja ma charakter incydentalny i występuje w okresie mierzonym w sekundach lub minutach – prowadzi wprost do zatorów w wyniku braku zapasu przepustowości mechanicznej.

To oczywiście jedynie kilka kombinacji systemów, jakie można stworzyć podczas kreowania rozwiązania dla przebiegu procesu składowania i kompletacji. Istnieje pewnie jeszcze kilka innych rozwiązań, które można rozważyć, niemniej już to zestawienie konfrontuje nas z postawionym uprzednio pytaniem: jak dobrać systemy, aby stworzyć spójny i dostosowany do potrzeb magazynu układ spełniający równocześnie wymagania ekonomiczne?

Daleko oczywiście jeszcze temu zestawieniu do wymogów określających, czy dana inwestycja ma sens, gdyż nie rozważono tutaj jeszcze zasadniczego zagadnienia, jakim jest spójność procesowa⁷.

Bazując ponownie na przytoczonej macierzy poszczególnych zestawień technologicznych, można ją rozwinąć o pojęcia spójnych procesów. Przykłady takich procesów to:

- Jak wprowadzić paletę towarową do magazynu składowania palet, która odbiega od przyjętych standardów wagowych lub wymiarowych? (procesy pomocnicze – jakie?)
- Jak dokonać przemieszczenia palet np., w wyniku zakończenia sezonu lub w celu przygotowania się do spiętrzenia sezonowego? (procesy operacyjne wspomagające – np. analizy ABC)?
- Jak wycofać palety przeznaczone do zwrotu? (procesy operacyjne wspomagające – jaki mają priorytet? Czy wymagają utylizacji na miejscu?)
- Kiedy i jak oznakować kartony na palecie przed przełożeniem do strefy kompletacji? (procesy operacyjne i technologiczne – naklejanie automatyczne czy ręczne? Jakie informacje zawrzeć w kodach?)
- Czy prowadzić kompletację jednocześnie z kontrolą skanując lokalizację, karton i jednostkę towarową? (procesy operacyjne i technologiczne – jak odzwierciedlić proces w oprogramowaniu WMS i na terminalu pracownika?)

Już zaledwie tych kilka wymienionych zagadnień opisujących procesy towarzyszące może uzmysłowić, że droga do sprawności magazynu automatycznego nie wiedzie tylko poprzez zastosowanie jednostkowych rozwiązań technologicznych. Tak samo ważne są wszystkie procesy towarzyszące, bez których traci się efektywność inwestycji⁸.

W tym miejscu należy jeszcze raz powrócić do zagadnienia przepustowości logistycznej. W wielu opracowanych przeze mnie artykułach zwracałem uwagę na różnice

między pojęciami przepustowości mechanicznej i logistycznej (procesowej). To właśnie sprawność spójnych procesów, ich działania bez zbędnych opóźnień lub zakłóceń prowadzi do zbliżenia wartości nominalnych sprawności systemu i procesu. Co prawda one nigdy nie będą równe w swojej wartości, ale poziom różnic tych wartości mówi wiele o efektywności zaplanowanego systemu.

JAK WYGLĄDA KONIEC PROCESU PLANOWANIA I PROWADZI SIĘ TESTY SPRAWNOŚCI SYSTEMU?

Teoria: tworząc dokumentację techniczną systemu będącą podstawą do przetargów dla potencjalnych dostawców, określamy w niej m.in. parametry, którymi będziemy oceniali sprawność i dostępność systemu automatyzacji magazynowej.

Praktyka: proces planowania zasadniczo kończy się dopiero po zatwierdzeniu instalacji do odbioru i uwzględnia wszystkie części dokumentacji zarówno biura planującego system, jak i dostawcy oraz wykonanych w nich zmian.

W praktyce procesy, przepływy i poszczególne maszyny mogą zmienić swoje położenie i sposób realizacji procesu do pierwszych prób rozruchowych. Jako inżynier zasadniczo jestem zwolennikiem „zamrożenia” procesu planowania w momencie uzyskania zgody klienta na przystąpienie do realizacji. Praktyka wskazuje jednak na pozytywne efekty ciągłego poszukiwania udoskonalenia procesu. Warunkiem koniecznym do tego są jednak:

- wysoki poziom profesjonalny zespołu inżynierów po stronie dostawcy,
- przekonanie o wspólnym dążeniu do sukcesu w projekcie poparte zaufaniem do wszystkich uczestników,
- chęć doskonalenia procesów,
- szybka reakcja na sytuacje wymagające ingerencji technicznej w toczący się proces montażu i uruchomienia.

Choć może się wydawać, że te punkty brzmią bardzo ogólnikowo, to w praktyce dokładnie te argumenty przeważają w ocenie sukcesu lub porażki w projekcie.

Aby nie być gołosłownym, chciałbym przytoczyć kilka przykładów takiego działania pomiędzy uczestnikami projektów realizowanych w ostatnich latach.

⁷ Spójność tutaj w znaczeniu standaryzacji procesów opartych na procesie mapowania i przygotowania kart procesowych służących zachowaniu jakości i powtarzalności.

⁸ Kilka takich procesów przytaczam, opisując przypadki z praktyki projektowania magazynów w różnych branżach.

Projekt 1. (branża e-commerce)

W projekcie tym klient podjął decyzję o rozbiciu zakresu zakupów na kilku dostawców, szukając w ten sposób z jednej strony najlepszych rozwiązań w danym segmencie, a z drugiej strony licząc na niższe nakłady inwestycyjne.

Kluczowym elementem projektu był system przechowywania i wydawania pojemników typu shuttle. Analiza przepływów wskazywała na duże obciążenia chwilowe w strefie wysyłki i na stanowiskach do kompletacji. Pomimo zaplanowanych zgodnie ze sztuką elementów aktywnych⁹ na przenośnikach odpowiedzialnych za wprowadzenie pojemnika do magazynu, dostawca zasugerował zmianę prowadzenia pojemników pomiędzy stacjami do kompletacji i typ zwrotnic. W związku z tymi zmianami udało zwiększyć się mechaniczną przepustowość strefy przenośników przed systemem shuttle i dodatkowo optymalizując ustawienia elementów sterowania w windach shuttle zwiększyć ich przepustowość mechaniczną o 20% w stosunku do planowanej.

Spójność procesowa zawierała się w zamianie sposobu podawania pojemników źródłowych do stacji kompletacji. Zamiast zastosowania algorytmu wyszukującego zleceń z największą liczbą powtarzających się indeksów postawiono na układ szybkich przenośników pozwalających na przekierowanie pojemnika źródłowego do kolejnej stacji, w której był on potrzebny.



Fot. 1. // Strefa przenośników przed systemem SHUTTLE (mat. własny LLS)

Projekt 2. (branża dystrybucji leków)

Projekt obfitował w wyzwania związane z brakiem miejsca w magazynie. Decyzja o zainstalowaniu dodatkowej linii do kompletacji ręcznej wokół automatu kompletującego typu A-FRAME niosła za sobą potrzebę instalacji nowych regałów przepływowych i zapewnienie im wystarczająco dużego zapasu towaru z rezerw umieszczonych na paletach.

⁹ Popularnie zwanych także zwrotnicami (typ pasowy lub rolkowy).

Dzięki sprawności i pomysłowości inżynierów obu zespołów zastosowano konstrukcję dynamicznego bufora palet, dla którego bazą były nowe regały przepływowe, co znacząco zmniejszyło zapotrzebowanie na przestrzeń do składowania i czas dostępu. Jednocześnie cały proces przebudowy odbywał się podczas działalności operacyjnej magazynu bez konieczności jego zatrzymania.

Spójność procesowa w tym projekcie zawierała się w wyborze regałów przepływowych od dużej głębokości, aby zwiększyć w nich długość zapasu i ograniczyć w ten sposób liczbę podań palet z zapasem za pomocą urządzenia typu „satellite” przemieszczającego się nad regałami i strefą automatów.



Fot. 2. // Dynamiczny bufor zapasu towarowego nad strefą automatów (mat. własny LLS)

Osobnym zagadnieniem omawianym przeze mnie w wielu opracowaniach jest wybór i organizacja procedur odbiorowych. To właśnie brak praktycznej wiedzy o tych procesach jest źródłem wielu nieporozumień podczas końcowej fazy wdrożenia każdego projektu automatyzacji magazynowej. Pomijając aspekty zapisów prawnych (często nieprawidłowych) i braku szczegółowych opisów procedur odbiorowych, klienci konfrontowani są z ogólnym opisem dostawcy w ofercie lub lapidarnym zapisem w umowie. Perspektywa klienta różni się zasadniczo od perspektywy dostawcy w punkcie sprawności systemu. Jaka ona jest i jak ją sprawdzić?

W naszej praktyce, bazując na wieloletnim doświadczeniu, opracowaliśmy wielostopniową procedurę odbioru, która w swoich założeniach:

- Rozgranicza wpływy operacyjne na sprawność mechaniczną.
- Oddziela sprawność algorytmów IT od pozostałych elementów dostaw w zakresie mechaniki.
- Zapewnia transparentność i klarowność oceny poszczególnych parametrów odbiorowych.
- Stawia zarówno klienta, jak i dostawcę na równych pozycjach i przekierowuje także odpowiedzialność na obie strony w zakresie, który leży całkowicie w ich kręgu kompetencji, zapewniając właściwy stosunek partnerów w projekcie. //