

USPRAWNIENIE ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO PROCESU PRODUKCYJNEGO – STUDIUM PRZYPADKU

Marek WIRKUS, Karol BĄK

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono etapy projektowania nowego zagospodarowania przestrzennego procesu produkcyjnego fabryki mebli, z wykorzystaniem elementów elastycznej struktury produkcyjnej. W pierwszej kolejności omówiony został stan zastany (obecny), na bazie którego zostały przeprowadzone zmiany. Nowy układ przestrzenny maszyn znacząco udoskonalił procesy obróbki maszynowej części, czego efektem było skrócenie procesów transportowych oraz zmniejszenie zapotrzebowania na powierzchnię produkcyjną.

Słowa kluczowe: projektowanie zagospodarowania przestrzennego, layout, przepływ materiałów, elastyczne gniazda produkcyjne, lean manufacturing, szczupłe zarządzanie.

1. Wstęp

Przebieg procesu produkcyjnego w określonym przedsiębiorstwie ma istotny wpływ poziom obsługi klienta oraz na wyniki finansowe tego przedsiębiorstwa. Skupienie się na nowoczesnych rozwiązaniach tylko w obszarze nowych metod obróbki technologicznej czego wyrazem może być zastosowanie coraz to nowocześniejszych metod obróbczych nie zawsze przynosi pełni oczekiwanych efektów. Poza nowymi metodami technologicznymi istotne są rozwiązania organizacyjne spinające „technologie” w sprawnie funkcjonujący system produkcyjny, co pozwala na pełne wykorzystanie możliwości płynących z nowoczesnych rozwiązań technicznych dla zabezpieczenia potrzeb klienta. Rozwiązania organizacyjne mogą dotyczyć pracy człowieka, a także wykorzystywanych maszyn. Rozwiązania te powinny podlegać stałym usprawnieniom w miarę pojawiających się nowych rozwiązań technicznych i wyzwaniom z dynamicznie zmieniającego się otoczenia przedsiębiorstwa.

Przykładem działań usprawniających rozwiązania organizacyjne było przeprowadzenie restrukturyzacji przebiegu procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie produkującym meble drewniane. W latach 90. XX wieku przedsiębiorstwo zainwestowało znaczne kwoty w środki trwałe (hale i gruntu) oraz nowoczesne maszyny produkcyjne, co pozwoliło utrzymać jej utrzymać poziom konkurencyjności. Niestety pod koniec 2006 roku pojawiły się nowe problemy. Klient oczekiwał coraz większej różnorodności produkcyjnej, krótszego czasu realizacji oraz niższej ceny produktów. Jednym z głównych problemów okazało się zagospodarowanie przestrzenne parku maszynowego, które sprzyjało powstawaniu wysokich zapasów produkcji w toku, a w konsekwencji długich cykli produkcyjnych i wysokich kosztów produkcji.

2. Przyjęte założenia

Celem analiz i prac projektowych było wypracowanie usprawnienia przepływu materiałów w oparciu o nowo opracowane zagospodarowanie przestrzenne układu maszyn w analizowanym procesie produkcyjnym. Punktem wyjścia do prac usprawniających było wypra-

owanie nowej struktury produkcyjnej procesu produkcyjnego. Usprawnienie miało doprowadzić do skrócenia i ograniczenia procesów transportu wewnętrznego oraz zmniejszenia zapotrzebowania na powierzchnię produkcyjną, a w końcowym rachunku na obniżenie kosztów realizacji procesu produkcyjnego. Jako mierniki weryfikujące poziom osiągniętych usprawnień przyjęto:

- długość procesów transportowych [metr], – odległość jaką musi przebyć reprezentant rodziny produktów wzdłuż strumienia wartości na wydziałach maszynowych,
- powierzchnia produkcyjna [metr²]. – zapotrzebowanie na powierzchnię produkcyjną.

W prowadzących pracach przyjęto następujące interpretacje podstawowych pojęć:

Proces produkcyjny – „Działalność produkcyjna prowadząca do wytworzenia określonych produktów polega na cyklicznym przeprowadzeniu całego szeregu czynności (...) wśród których są czynności obróbcze, transportowe, magazynowe i inne, mających na celu możliwie najszybsze przetworzenie surowców i materiałów wyjściowych w produkt finalny nazywamy procesem produkcyjnym.” [2, s. 74-75]

Struktura produkcyjna – jest to układ komórek produkcyjnych tj. pojedynczych maszyn lub stanowisk roboczych ujętych w formie grupy w celu utrzymania porządku oraz hierarchii. Ponadto „...strukturą produkcyjną nazywamy układ komórek produkcyjnych oraz zespół związków kooperacyjnych zachodzący między nimi. Właściwy dla danego systemu produkcyjnego jako całości. (...)” [1, s. 86] Wybór najlepszej struktury grupowania stanowisk związana jest bezpośrednio z indywidualnym procesem produkcji, gdzie wyróżniamy dwie główne tendencje:

- Technologiczna tendencja tworzenia struktury produkcyjnej opiera się na kryterium technologicznego podobieństwa stanowisk roboczych. Komórka taka może wykonywać zbiory wyrobów różnorodnych na zbiorze jednorodnych stanowisk roboczych.
- Przedmiotowa tendencja tworzenia struktury produkcyjnej opiera się na kryterium podobieństwa wyborów lub grupy wyrobów. Komórka taka może wykonywać wyrobów na różnorodnej grupie stanowisk roboczych, dobranych tylko i wyłącznie dla technologii wykonania danego wyrobu.(...)” [1, s.87]. Wymienione dwie tendencje tworzenia struktury produkcyjnej przedstawiają skrajne podejścia. W rzeczywistości w zakresie całego przedsiębiorstwa spotykamy się z wariantem mieszanym.

Elastyczne systemy produkcyjne – Aby sprostać dzisiejszym oczekiwaniom klienta, który oczekuje różnorodnej oferty oraz szybkich terminów realizacji „nieodzowne staje się zatem tworzenie systemów produkcyjnych, opartych na rozwiązaniach zapewniających wysoką efektywność funkcjonowania przedsiębiorstwa i spełniających jednocześnie wszystkie wymogi związane z oczekiwaniami rynku. Wdrażanie elastycznych systemów produkcyjnych, opartych na zastosowaniu nowoczesnych, sterowanych numerycznie urządzeń, komputerów, robotów, (...). Elastyczność kojarzy się z łatwością adaptacji procesów lub systemów gospodarczych do pożądaných warunków lub zmian, zachodzących w otoczeniu.” [1, s.185]. Elastyczny system produkcyjny jest hybrydową formą produkcyjną, która cechuje się wysoką wydajnością jak w przypadku produkcji rytmicznej oraz różnorodnością asortymentową jak w przypadku produkcji nie rytmicznej. „Ewolucja własności i nowych cech systemów produkcyjnych doprowadzała w kolejnych latach do ukształtowania się następujących form elastycznej organizacji produkcji: (...)

- Elastyczny moduł produkcyjny – Składa się z jednej obrabiarki ogólnego przeznaczenia sterowanej numerycznie przez komputer, bufora półfabrykatów i obrabia-

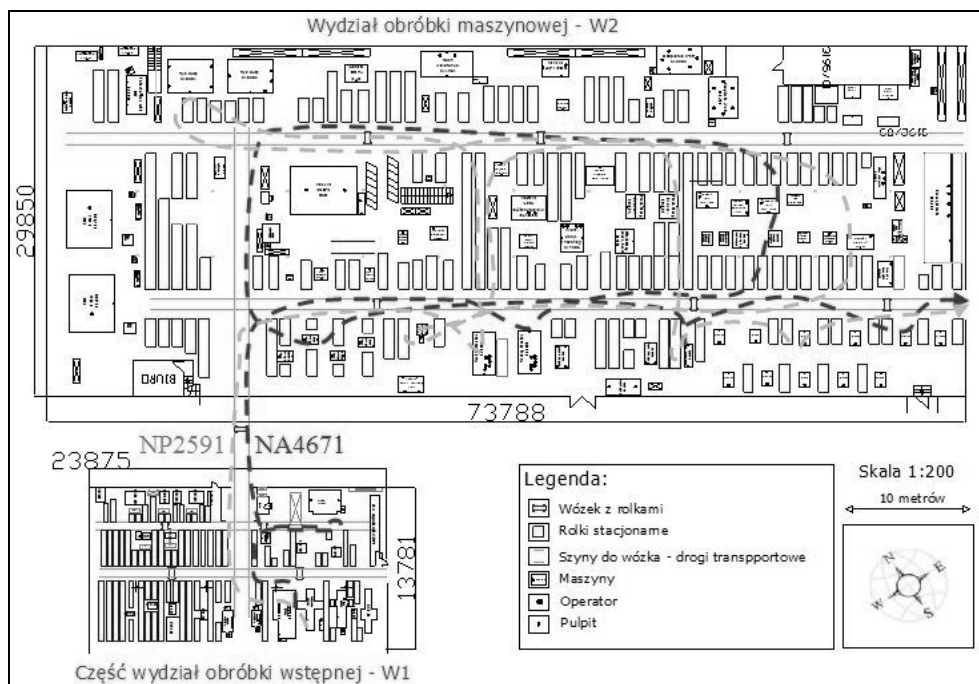
nych detali oraz zmieniacza narzędzi i palet. (...) Przystosowana jest ona do wbudowania w elastyczne systemy produkcyjne wyższych stopni.

- Elastyczne gniazdo produkcyjne – składa się z kilku modułów produkcyjnych związanych z pewnym typem wyrobu lub procesu technologicznego, zintegrowanych wzajemnie przez transport, magazynowanie i wspólne sterowanie komputerowe.
- Elastyczna linia produkcyjna – Zbiór specjalistycznych maszyn rozmieszczonych w ustalonym porządku (...).
- Elastyczna sieć produkcyjna - to najbardziej złożona forma elastycznego systemu produkcyjnego, najczęściej na poziomie wydziału produkcyjnego. Składa się z kilku wzajemnie powiązanych modułów, gniazd i linii, umożliwiającą najczęściej pełną realizację procesu produkcyjnego określonego asortymentu wyrobów.” [1, s.191].

3. Charakterystyka analizowanego procesu produkcji

3.1. Proces produkcyjny obróbki maszynowej

W ramach procesu obróbki maszynowej (rysunek 1), wytwarzane są drewniane półprodukty na magazyn zasilający procesy montażowe, na których montowane są komplety mebli. Różnorodność produkcji przekracza 2500 elementów. Proces produkcji zasilany jest z surowych, wyciętych na wymiar brutto półfabrykatów drewna (fryzów brutto). Park maszynowy składa się z 96 różnych obrabiarek do drewna.



Rys. 1. Zagospodarowanie przestrzenne w procesie obróbki maszynowej – stan zastany

Stan zastany układu maszyn na wydziale obróbki maszynowej to przede wszystkim gniazda technologiczne skupiające obok siebie grupy podobnych obrabiarek do drewna. Większe maszyny rozproszone są po całej hali produkcyjnej.

Materiały transportowane są za pomocą rolkowego systemu transportu, który zajmuje większość powierzchni hali. Ze względu na układ maszyn oraz rodzaj transportu cały proces odbywa się na dwóch halach produkcyjnych W1 oraz W2. Na rysunku 1, w odniesieniu do mierników referatu, zamieszczone zostały procesy transportowe dla dwóch elementów reprezentujących najliczniejsze rodziny produktowe. Jest to element NP2591 (zielony) oraz NA4671 (czerwony). Dystans jaki musi pokonać pierwszy element wzdłuż strumienia wartości to 154 metry, drugi zaś musi przebyć aż 345 metrów.

3.2. Ocena funkcjonowania usprawnianego procesu produkcyjnego

Stan zastany, przez wdrożeniem projektu usprawnienia procesów produkcji, zwracał uwagę na wysokie zapasy w toku na przenośnikach rolkowych (rysunek 2). Na drugim planie widoczne były maszyny/gniazda technologiczne. Na podstawie obserwacji skomplikowanych i zawiłych procesów transportowych można wnioskować, że poszczególne stanowiska robocze nie były wkomponowane w kierunek przepływu procesów technologicznych materiałów. Sprawiały wrażenie, że każde z nich pracowało oddzielnie. Po rozmowie z pracownikami firmy okazało się, że nowe maszyny, po zakupie instalowane były w pierwszym dowolnym miejscu, bez względu na przepływ materiałów.



Rys. 2. Bufory produkcyjne stanu zastanego na rolkowym układzie transportowym

Układ ten a w szczególności duże odległości pomiędzy maszynami wymuszały produkcję w partiach oraz przekładanie materiału z palety na paletę po każdej następnej operacji. Materiał zanim przeszedł przez wszystkie procesy technologiczne, był transportowany wielokrotnie pomiędzy kolejnymi maszynami, często cofając się w górę strumienia wartości. Odległości transportowe pomiędzy maszynami wymuszały budowę dużych zapasów buforowych zapewniających ciągłość pracy maszyn, co w konsekwencji znacznie wydłużało cykle produkcyjne.

4. Projekt usprawnienia

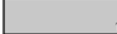


4.1. Wyznaczenie elastycznych modułów produkcyjnych (EMP)

Pierwszym krokiem projektowym jest wyznaczenie kluczowych maszyn obróbczych, ze względu na które projektowany będzie przepływ. Wszystkie występujące na wydziale maszynowym maszyny, można podzielić pod względem wielu kryteriów, jak wymagana powierzchnia, rodzaj procesu produkcyjnego, ilość operatorów, koszt utrzymania, koszt zakupu nowej maszyny itp. Należy wydzielić maszyny, charakterystyczne dla elastycznych modułów produkcyjnych (zgodnie z definicją z punktu 2.2). Kryteria jakimi się posłużono to elastyczność możliwości wykonywanych procesów, cena zakupu nowej maszyny, koszty utrzymania oraz różnorodność asortymentowa jaka obecnie jest na niej produkowana. Z spośród wszystkich maszyn wytypowanych zostało 7, które spełniły kryteria elastycznych modułów produkcyjnych. Są to wąskie gardła procesu, które w dalszej części nazywane będą skrótowo EMP. Można je traktować jako komórki produkcyjne pierwszego stopnia. Pozostałe maszyny nazywać będziemy maszynami prostymi (MP), gdyż są one tanie w zakupie oraz dotyczą przede wszystkim nieskomplikowanych procesów technologicznych (szlifierki, frezarki czy wiertarki).

4.2. Badanie współzależności procesowej pomiędzy EMP

Jednym z najlepszych rozwiązań byłoby rozdzielenie EMP na niezależne strumienie produkcyjne, każda dla określonej grupy asortymentowej. Niestety ponad 59% produkowanych na wydziałach maszynowych elementów ma swoje procesy technologiczne na minimum dwóch wytypowanych EMP, co powoduje przepływ sieciowy pomiędzy nimi. Elementy przechodzące przez trzy EMP ze względu na minimalne ilości nie będą brane pod uwagę w dalszej części projektu. Silna współzależność sieciowa wymagała przeprowadzenia symulacji komputerowej, gdzie wykonano analizę macierzową współzależności EMP, której wyniki przedstawiono na rysunku 3.

Lp.	Maszyny – elastyczne moduły produkcyjne	Suma indeksów na maszynie		Liczba współzależności z EMP		Procent indeksów pojedynczych		Procent indeksów podwójnych		Procentowy poziom współzależności								
		szt	szt	%	%	7	6	5	4	3	2	1						
						CZOPIARKA OBW 1-STRONNA	CZOPIARKA OBW 2-STRONNA	FREZARKA -CNC- 3-OSIE	FREZARKA -CNC- 5-OSI VISON	FREZARKA KARUZELOWA	MASZYNA WIELOFUNKCJIOWA KOCH-SBD	SKRACARKO WIERTARKA DABLO						
1	SKRACARKO WIERT. DABLO	133	17	87%	13%	0%	0%	0%	0%	100%	0%							
2	MASZYNA WIELOFUNKCJIOWA KOCH-SBD	211	116	45%	55%	0%	0%	1%	14%	85%								
3	FREZARKA KARUZELOWA	818	362	56%	44%	7%	58%	1%	2%		27%	5%						
4	FREZARKA -CNC- 5-OSI VISON	216	49	77%	23%	4%	51%	0%		12%	33%	0%						
5	FREZARKA -CNC- 3-OSIE	88	20	77%	23%	0%	85%		0%	10%	5%	0%						
6	CZOPIARKA OBW 2-STRONNA	723	284	61%	39%	11%		6%	9%	74%	0%	0%						
7	CZOPIARKA OBW 1-STRONNA	88	60	32%	68%		52%	0%	3%	45%	0%	0%						

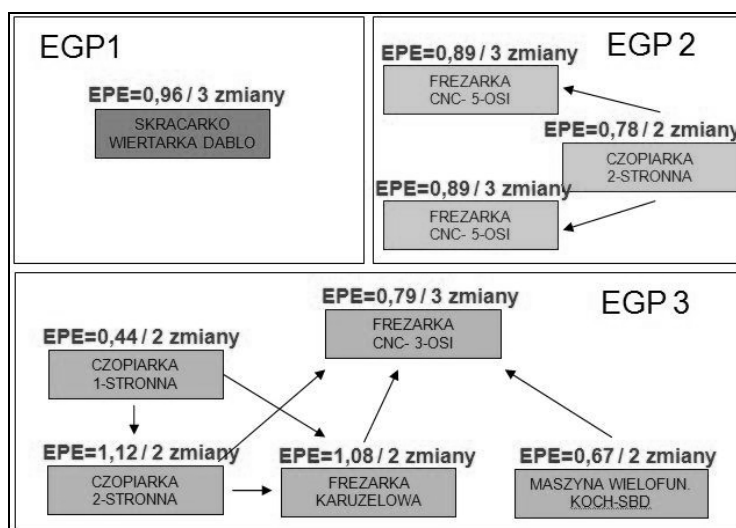
Legenda	
	Silna współzależność
	Miła współzależność
	Brak współzależności

Rys. 3. Macierz zależności EMP wydziałów maszynowych

Na podstawie danych z rysunku 3 można wnioskować przykładowo, że 100% elementów produkowanych na frezarce karuzelowej przechodzi również przez skracarko wiertarkę Dabło, natomiast żaden element produkowany na czopiarence 2`stronnej nie łączy się z pracą na maszynie wielofunkcyjnej Koch SBD.

4.3. Wyznaczenie elastycznych gniazd produkcyjnych (EGP).

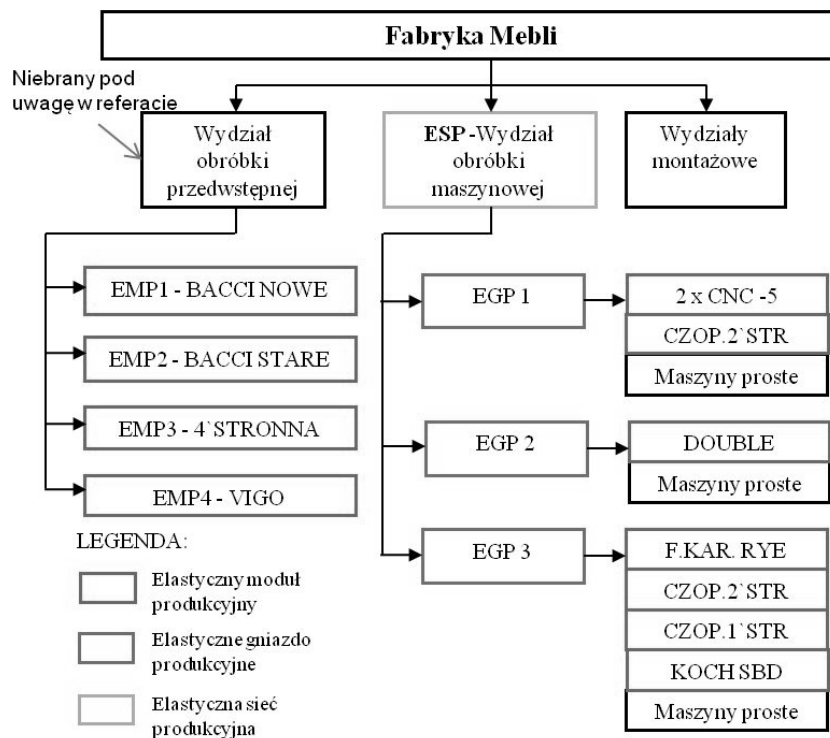
Na podstawie macierzy współzależności z rysunku 3 wydzielone zostały trzy grupy maszyn EMP (rysunek 4), w ramach których można było wyodrębnić niezależne strumienie wartości. Kolejnym krokiem było rozbudowanie grup o proste obrabiarki, tak aby materiał mógł być kompleksowo wykonany w ramach każdego z nich. Do tej pory maszyny proste stanowiły skupiska technologicznych gniazd. Rozbudowane grupy maszyn stworzyły



Rys. 4. Układ EMP w nowych EGP

gniazda przedmiotowe nazywane dalej elastycznymi gniazdami wytwórczymi EGP (zgodnie z przyjętą definicją z punktu 2.2).

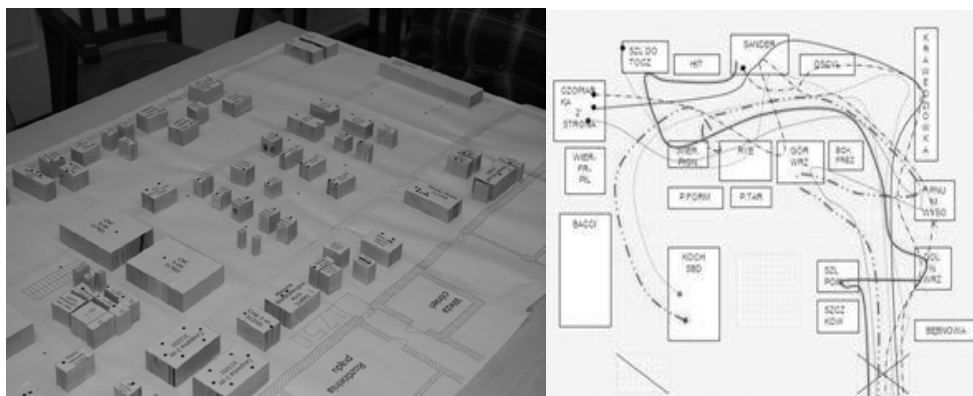
W ramach całego wydziału maszynowego trzy nowo powstałe EGP stworzyły Elastyczną Sieć Produkcyjną (ESP). Finalna nowa struktura produkcyjna przedstawiona została na rysunku 5.



Rys. 5. Nowa elastyczna struktura produkcyjna

4.4. Projektowanie zagospodarowania przestrzennego

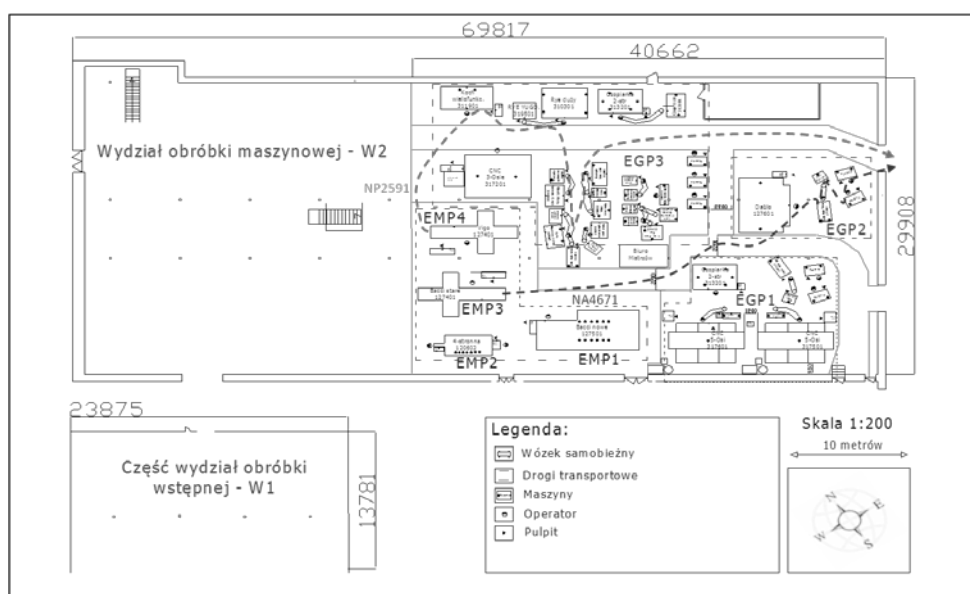
Na podstawie struktury produkcyjnej można było rozpocząć projektowanie zagospodarowania przestrzennego układu maszyn. Ze względu na specyfikę produkcji oraz dużą różnorodność, przy projektowaniu wykorzystano model poglądowo-przestrzenny w postaci makiety w skali 1:50. Uwzględniono na niej takie dane jak dokładne wymiary hali, drzwi,



Rys.6. Makieta oraz wykres sznurkowy – warsztaty projektowe

schody, słupy. Dodatkowo powstały w tej samej skali makiety wszystkich maszyn na podstawie, których stworzono strukturę produkcyjną.

W ramach prac projektowych układy maszyn na makiecie przenoszony był na wykres sznurkowy [3] w celu badania przepływu procesów transportowych elementów-reprezentantów. W efekcie powstało nowe zagospodarowanie przestrzenne wydziałów maszynowych zgodnie z rysunkiem 7.



Rys. 7. Nowe zagospodarowanie przestrzenne układu maszyn na wydziale obróbki maszynowej - stan projektowy

Zagospodarowanie przestrzenne z rysunku 7, uwzględnia nowy system transportu, gdzie sztywny układ rolek zastąpiony został transportem wózkowym. Rozwiązanie takie, zapewnia większą elastyczność przemieszczania towarów oraz możliwości zmiany kolejki wytwarzanych elementów.

4.5. Badanie efektów proponowanych zmian

4.5.1. Procesy transportowe

Mając do dyspozycji gotowy projekt nowego zagospodarowania przestrzennego wydziału obróbki maszynowej można obliczyć nowe długości procesów transportowych dla wybranych elementy – reprezentanci z rozdziału 3.1. Nowy dystans jaki musi pokonać element NP2591 to 81 metrów zamiast wcześniejszych 154 metrów, natomiast dla elementu NA4671 procesy transportowe skracają się z 345 do 92 metrów. W celu uśrednienia wyników podobna analiza została przeprowadzana również i dla innych elementów reprezentujących rodziny produktowe, a wyniki przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Procentowa redukcja dróg transportowych w części projektowej

Reprezentanci		Dystans [metrów]		
Nazwa	Numer elementu	Stan zastany	Stan projektowy	Procentowa redukcja stanu obecnego
NP	2591	154,5	81	47,57%
NA	4671	345	92	73,33%
NP	1401	150,5	112	25,58%
NT	7401	442,5	81	81,69%
NG	2831	367,5	92	74,97%
			Średnia:	60%

4.5.2. Powierzchnia produkcyjna

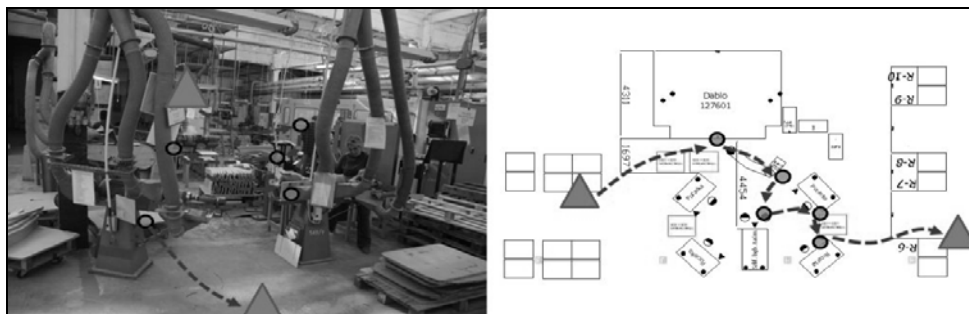
Nowy układ maszyn (rysunek 7) wydziału obróbki zmniejszył zapotrzebowanie na powierzchnię produkcyjną. Największa redukcja powierzchni nastąpiła w wyniku rozproszenia technologicznych gniazd produkcyjnych oraz zmiany systemu transportu towarów. Wyniki zmian przedstawia tabela 2.

Tab. 2. Zapotrzebowanie na powierzchnię produkcyjną

Nazwa	Powierzchnia [m2]	
	Stan obecny	Stan Projektowy
Wydziały maszynowe	2710	1248
Procentowa redukcja używanej obecnie powierzchni produkcyjnej	54 %	

4.5.3. Przykład nowego zagospodarowania przestrzennego dla EGP1

Projekt nowego zagospodarowania przestrzennego układu maszyn został pozytywnie rozpatrzony przez zarząd firmy oraz wdrożony. Na rysunku 8 można zobaczyć nowy układ EMP 1 (odnoście struktury produkcji, rysunek 5). Prawa strona rysunku przedstawia schemat rozmieszczenia elastycznego modułu produkcyjnego, który rozbudowany



Rys. 8. Nowy układ maszyn w elastycznym gnieździe produkcyjnym 1

o komplet prostych obrabiarek do drewna (szlifierki, frezarki) tworzy elastyczne gniazdo produkcyjne. Układ taki pozwala na produkcję elementów w przepływie jednej sztuki, co sprzyja obniżeniu zapasom w toku a w konsekwencji skróceniu ulega cykl produkcyjny.

5. Podsumowanie

Cel prac restrukturyzacyjnych przebiegu procesu produkcyjnego został osiągnięty ponieważ:

- procesy transportowe zostały skrócone o ok. 60%. W każdym elastycznym gnieździe produkcyjnych maszyny zostały ustawione w taki sposób, że obrabiany element nie cofał się podczas kolejnych operacji na maszynach. Dodatkowo układ maszyn pozwala na zastosowanie operacji transportowych krótkich, bez angażowania osób odpowiedzialnych za transport materiałów,
- zapotrzebowanie na powierzchnie produkcyjną zmniejszyło się o ok. 54%. Zmniejszenie zapotrzebowania produkcyjnego wynika z rozproszenia technologicznych gniazd produkcyjnych oraz zmiany systemu transportu. Dodatkowo podczas projektu usuniętych zostało wiele prostych przestarzałych technologicznie maszyn oraz urządzeń.

Osiągnięte wyniki wpłynęły pozytywnie również na inne aspekty realizacji procesów obróbki maszynowej. Przykładowo nastąpiło obniżenie zapasów w toku co skróciło czas cyklu produkcyjnego, natomiast mniejsza powierzchnia produkcyjna ułatwiła zarządzanie procesem sterowania produkcji.

Analizowane studium przypadku dotyczyło określonego przedsiębiorstwa z branży meblarskiej pokazuje, jednakże można przypuszczać że podobny model projektowania zmian organizacyjnych, może również przynieść sukces w innych przedsiębiorstwach produkcyjnych, które posiadając nowoczesny park maszynowy zmagają się z podobnymi problemami.

Literatura

1. Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją. Placet, Warszawa, 2002.
2. Dolny S., Strumiński J.: Technologiczne projektowanie zakładów mechanicznej obróbki drewna. Akademia Rolnicza, Poznań, 1993.
3. Lis S., Santarek K.: Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych. PWN, Warszawa, 1980.

Dr hab. inż. Marek WIRKUS, prof. PG
Katedra Inżynierii Systemów Produkcji
Wydział Zarządzania i Ekonomii
Politechnika Gdańska
80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12
tel.: 58 347 15 24,
e-mail: mwir@zie.pg.gda.pl

Mgr inż. Karol BĄK
Wydział Zarządzania i Ekonomii
Politechnika Gdańska.
tel.: 511 506 633
e-mail: bakkarol@wp.pl