

# ORGANIZACJA PROCESU PREFABRYKACJI DOMÓW W SYSTEMIE SZKIELETOWYM

Arkadiusz KOWALSKI, Piotr LIPIŃSKI

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono sposób udoskonalenia procesu prefabrykacji domów drewnianych w systemie szkieletowym. Analizując proces prefabrykacji, na podstawie danych z istniejącej linii produkcyjnej, starano się zidentyfikować operacje, dla których możliwe byłoby poprawienie wydajności prefabrykacji. Kolejnym krokiem było zaproponowanie udoskonaleń procesu, w celu zwiększenia wydajności wybranych operacji technologicznych. Osiągnięto efekt skrócenia czasu taktu. Usprawnienia uzyskano za pomocą propozycji zastosowania nowych maszyn oraz reorganizacji pracy pracowników. Zaprojektowano trzy różne warianty rozwiązań, które porównano pod kątem czasu taktu oraz kosztów związanych z zakupem nowych maszyn. Przeprowadzono analizę rentowności zaproponowanych wariantów oraz wybrano jeden, który w największym stopniu spełnia kryteria oceny: całkowity koszt modyfikacji, liczbę wyprodukowanych domów w ciągu roku oraz czas zwrotu z inwestycji.

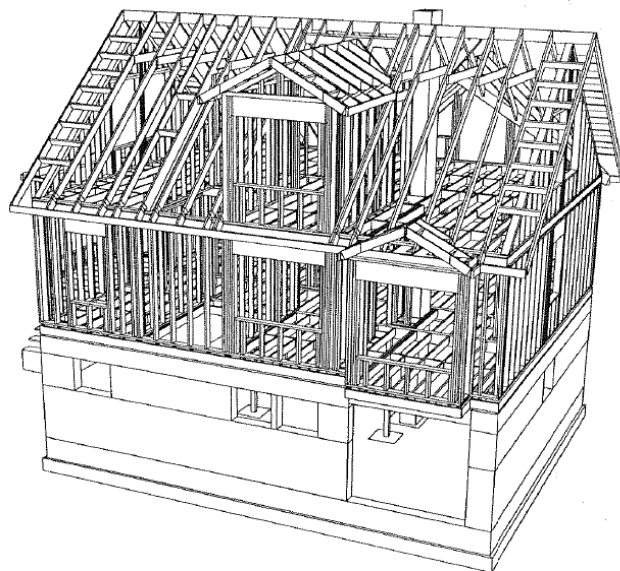
**Słowa kluczowe:** budownictwo szkieletowe, dom w konstrukcji szkieletowej, prefabrykacja, zwrot z inwestycji

## 1. Proces prefabrykacji domu szkieletowego

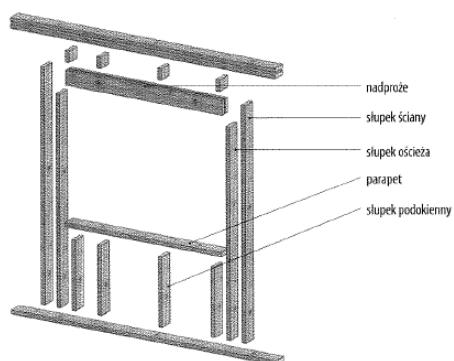
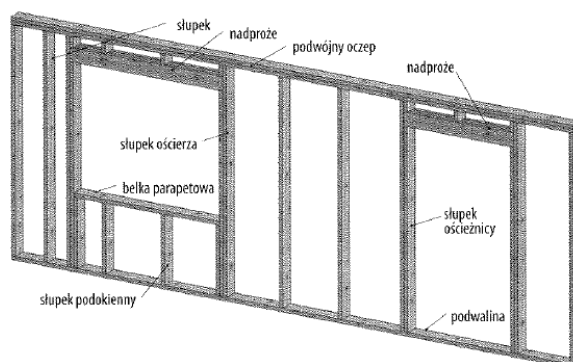
Proces prefabrykacji domu szkieletowego polega na postawieniu konstrukcji budynku z drewna iglastego lub też innych materiałów (np. belek dwuteowych). Następnie gotową konstrukcję (rys. 1) wypełnia się materiałem izolacyjnym i zabezpiecza poszyciem od wewnątrz oraz na zewnątrz. Podstawowym materiałem konstrukcyjnym do budowy szkieletu są deski o grubości 38 mm na ściany wewnętrzne i zewnętrzne. W siatce słupków wyodrębnia się otwory na drzwi i okna, a strefy podokienne dodatkowo wzmacnia się poprzez dołożenie dodatkowych belek. Typową konstrukcję ściany zewnętrznej oraz otworu okiennego przedstawiono na rysunku 2.

Powstały szkielet ramy objęta jest płytami, które usztywniają konstrukcję budynku. Na poszycie zewnętrzne stosuje się aktualnie płyty OSB, do których montuje się mechanicznie system dociepleniowy z wełny mineralnej i tynku silikatowo-silikonowego. Od wewnątrz również można użyć płyt OSB oraz różnego rodzaju płyt gipsowo-kartonowych i gipsowo-włóknistych. Na oczepach stojących ścian układa się belki, które są żebrami stropu, a na nich montuje się poszycie z płyt OSB (rys. 3). Ściany wyższej kondygnacji konstruuje się, korzystając z podłogi jako platformy roboczej [3].

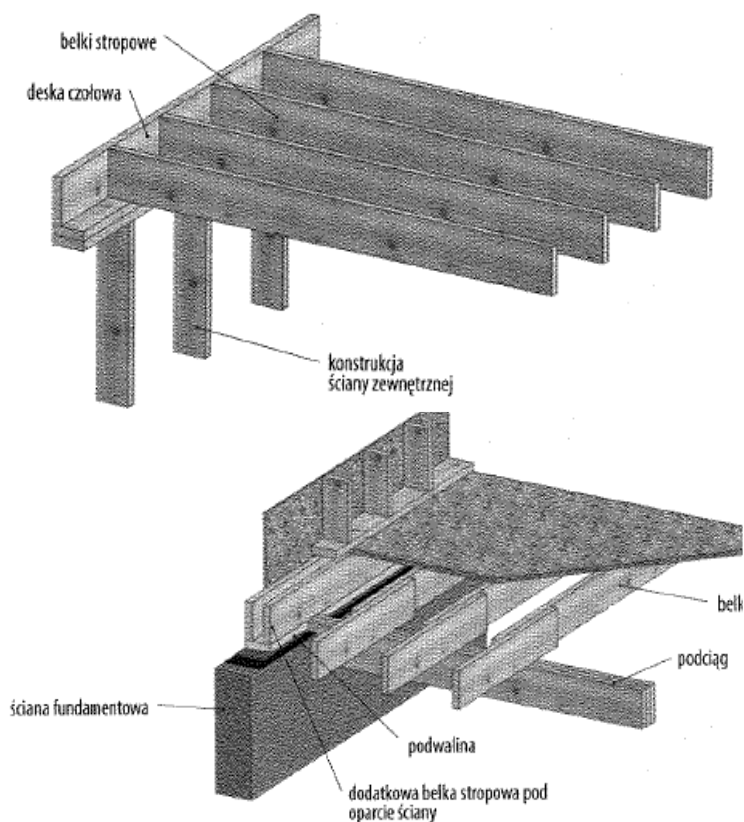
Przestrzenie między poszyciem wewnętrznym i zewnętrznym wypełnia się wełną mineralną lub materiałami sypkimi, takimi jak: celuloza czy wełna drzewna. Grubość izolacji i jej prawidłowe ułożenie ma podstawowy wpływ na izolacyjność cieplną przegród. W budynkach szkieletowych jest ona bardzo dobra i w większości przypadków możemy uzyskać wartość współczynnika  $U$  nawet do  $0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , co jest zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2013 r [16].



Rys. 1. Dom w konstrukcji szkieletowej  
Źródło: [8]



Rys. 2. Schemat konstrukcji ściany zewnętrznej oraz ściany z otworem okiennym  
Źródło: [8]



Rys. 3. Konstrukcja stropu międzykondygnacyjnego oraz stropu nad piwnicą  
Źródło: [8]

Izolacja termiczna musi być zabezpieczona przed zawilgoceniem i dlatego pod okładziną wewnętrzną układa się warstwę paroizolacyjną, a pod okładziną zewnętrzną tzw. wiatroizolację. Stropy oraz dach również wykonuje się jako konstrukcje drewniane. Więźba dachowa może być wykonana na placu budowy z oddzielnych elementów krokwi lub być zaprojektowana jako gotowy wiązar kratowy.

## 2. Opis problemu, przyjęte założenia

W analizowanym przypadku przedsiębiorstwo stanęło przed problemem rozbudowy własnej linii produkcyjnej, posiadana linia produkcyjna nie była w stanie zaspokoić rosnącego popytu. W pierwszym kroku należało określić docelową wydajność projektowanej linii produkcyjnej. Zdecydowano się na założenie, że przedsiębiorstwo opanuje określoną część segmentu rynku budynków z konstrukcji drewnianych w Polsce. Podjęto równoległe próby kształtowania tego segmentu rynku, przez różne zabiegi marketingowe, aby zbudować przewagę konkurencyjną [1, 7]. Jednocześnie to założenie będzie to determinowało zdolność produkcyjną projektowanej linii produkcyjnej [2, 6].

Według Głównego Urzędu Statystycznego, w 2013 roku oddano do użytku 340 szt. budynków zbudowanych z konstrukcji drewnianych, w 2014 roku było to 405 szt.

budynków, w 2015 roku 338 szt. budynków [14]. Na przestrzeni 3 ostatnich lat średnio oddawano około 370 szt. budynków z szkieletu drewnianego oraz litych bali.

Przyjęto więc, że linia do prefabrykacji będzie posiadać zdolność produkcyjną od 36 do 50 szt. domów rocznie, do dalszych analiz skierowano różne warianty rozwiązań, poszukując wariantu o najlepszej efektywności finansowej.

W naukach o zarządzaniu zgodnie z teorią organizacji wyróżnia się trzy podejścia do efektywności [5, 9, 13]:

- podejście celowościowe, w którym ocena efektywności dotyczy przede wszystkim stopnia realizacji założonego celu, a dopiero w następnej kolejności poziomu wykorzystania dostępnych zasobów,
- podejście systemowe, według którego efektywność to umiejętność pokonywania przez organizację braku pewności płynącej z otoczenia oraz kształtowania przez nią otoczenia w kierunku dogodnym dla niej samej,
- podejście wielokryterialne, w którym idea efektywności opiera się o osiągnięcie przez organizację wyznaczonych celów, spełnianie określonych warunków i utrzymywanie nałożonych na nią standardów.

Właściciele przedsiębiorstwa zdecydowali się na podejście wielokryterialne, ze szczególnym uwzględnieniem ograniczeń kosztowych, obawiając się zachwiania płynności finansowej. Dodatkowym ryzykiem inwestycji rzeczowej, polegającej na zakupie unikalnych maszyn, urządzeń oraz technologii, jest fakt, iż zainwestowane w powyższe aktywa środki finansowe, mogą nie być w pełni do odzyskania przy wycofaniu się przedsiębiorstwa z realizowanej inwestycji.

Kryterium wydajności w dalszych analizach zastąpiono kryterium czasu taktu. Co do kosztów związanych z zakupem maszyn, zaplanowano przeprowadzić dodatkowo analizę rentowności wariantów [10, 11]. Decyzję o wyborze najlepszego dla przedsiębiorstwa wariantu rozwiązania, w określonych warunkach narzuconych przez otoczenie rynkowe, oparto o wielokryterialną analizę efektywności. Dopasowano ją do specyficznych wymagań właścicieli firmy, tutaj dodatkowym wymaganiem była konieczność realizacji inwestycji ze środków własnych, bez zaciągania dodatkowych kredytów. W ten sposób zlagodzone obawy o zachwianie płynności finansowej.

### **3. Opis uwarunkowań technologicznych linii do prefabrykacji domów szkieletowych**

Profesjonalne linie do prefabrykacji domów w systemie szkieletowym są projektowane oraz wykonywane przez przedsiębiorstwa z wieloletnim doświadczeniem. Firmy te mają w swojej ofercie zarówno maszyny, które nawet przy zakładanej niewielkiej rocznej produkcji, potrafią ułatwić wykonywanie niektórych operacji poprzez wykorzystanie półautomatycznych maszyn np. do wbijania gwoździ, lub też za pomocą specjalnie zaprojektowanych stanowisk pracy, takich jak stoły ciesielskie. Oprócz narzędzi dla małych przedsiębiorstw dostępne są również maszyny sterowane numerycznie o wysokiej wydajności. Jednak tego typu rozwiązania kierowane są już do dużych przedsiębiorstw, które mają w planach prefabrykowanie domów w produkcji wieloseryjnej. Dla przedsiębiorstw, które mają w planach właśnie produkcję wieloseryjną dostępne są gotowe rozwiązania w postaci częściowo zautomatyzowanych linii. Przedsiębiorstwo, które planuje otwarcie prefabrykacji w celu wybudowania setek domów rocznie, może liczyć na to, że uzyska spersonalizowany projekt linii prefabrykacji dostosowany do swoich wymagań. Maszyny, stosowane przy takich dużych przedsięwzięciach, to multifunkcyjne sterowane

numerycznie pomosty czy też układy stołów montażowych, które umożliwiają wykonywanie dwóch różnych operacji jednocześnie.

Standardowo oferta producentów urządzeń opiera się na czterech typach maszyn:

- centra do przetwarzania belek,
- multi-funkcyjne mostki CNC, do w pełni zautomatyzowanego przetwarzania paneli ukształtowanych materiałów na konstrukcji szkieletu drewnianego lub powiązanych konstrukcjach drewnianych. Gdy element (ściany, podłogi, dach) zostanie włożony i wyrównany, a osłona została umieszczona, mostek wielofunkcyjny przesuwa się nad elementem i przetwarza poszycie za pomocą narzędzi umieszczonych w magazynku,
- stoły ciesielskie, do ręcznego składania szkieletów do produkcji zgodnych z wymiarami ścian wewnętrznych i zewnętrznych, jak i elementów dachów i stropów. Dzięki zastosowaniu dwóch osobnych stref mocowania możliwa jest jednoczesna produkcja dwóch elementów na jednym stole,
- stoły montażowe, każde z tych urządzeń służy do wykonywania innych operacji i zadań. Niektóre z nich pozwalają na zwiększenie efektywności produkcji tylko wtedy, gdy są użyte razem z innymi maszynami, jako przykład można podać mostek wielofunkcyjny, najczęściej bez stołu montażowego nie można wykorzystać całego potencjału takiego mostka.

Wyżej wymienione maszyny usprawniają najbardziej czasochłonne operacje, przez co ich użycie powoduje wzrost efektywności. Suwnica pomostowa pozwoli na szybsze transportowanie materiałów, gotowych wyrobów lub też na wykonanie operacji obrócenia elementu. Jej największą zaletą jest fakt, iż może poruszać się po całej powierzchni hali. Centrum tnące jest zautomatyzowaną maszyną CNC, która po wczytaniu odpowiedniego programu będzie mogła dociąć potrzebne w danym dniu roboczym elementy, w krótszym czasie niż aktualnie używana piła poprzeczna. Kolejną zaletą to obsługa centrum tnącego przez jedną osobę. Na stole ciesielskim będzie odbywać się operacja składania szkieletu ściany, razem z mostkiem wielofunkcyjnym oraz stołem stolarskim, co daje możliwość automatycznego obrotu ściany o 180° bez użycia dźwigu lub suwnicy, co za tym idzie liczba osób (które muszą być obecne przy montażu elementów) zmniejsza się. Mostek wielofunkcyjny używany jest do przeprowadzania wielu różnych operacji przy jednym ustawieniu ściany na stole. Mostek może wykonywać czynności takie jak: docinanie płyt, wbijanie gwoździ czy wbijanie sztyftów.

#### **4. Analiza wariantowa rozbudowy parku maszynowego**

Elementami, które są montowane na opisywanej linii produkcyjnej do prefabrykacji domów szkieletowych, są:

- ściana zewnętrzna,
- ściana wewnętrzna,
- ściana szczytowa,
- stropy poziome „0” oraz „1”.

##### **4.1. Wariant 1 rozbudowy parku maszynowego**

Modernizacja linii w tym wariantie przewiduje następujące uzupełnienie posiadanego parku maszynowego o centrum tnące WBS 120 przedsiębiorstwa Weinmann, należącego do koncernu HOMAG Group, zaprezentowano na rysunku 4.

Centrum tnące jest idealne do cięcia belek i szybkiego przycinania płyt łączonych gwoździami, belek stropowych, płatwi, słupków, górnych i dolnych belek poziomych, kończy wszystkie procesy szybko i precyzyjnie. Jest to znacznie więcej niż prosta piła do cięcia, może wykonywać również wycięcia, czopy lub połączenia typu jaskółczy ogon, w zautomatyzowany sposób. W zależności od wyposażenia elementy mogą być opisywane, etykietowane lub znakowane z trzech stron za pomocą markera. Dane z programu CAD dotyczące geometrii i obróbki są przesyłane do maszyny. Jednocześnie odbywa się automatyczna optymalizacja elementów, wybór odpowiednich narzędzi oraz korekta położenia belek. Oczywiście wszystkie dane dotyczące obróbki belek mogą być również wpisywane bezpośrednio w maszynie.



Rys. 4. Centrum tnące WBS 120  
Źródło: [4]

Belki są podawane ręcznie w pozycji leżącej na ustawiony przy wejściu do maszyny tor rolkowy, po którym są pchane do zderzaka, a stamtąd zabierane za pomocą chwytaka i wprowadzane do maszyny. Podczas obróbki wszystkie belki są zamocowane, prowadzone i automatycznie pozycjonowane. Po obróbce wychodzące z maszyny belki są spychane w poprzek na stół do układania elementów. Gotowe krótkie elementy, które nie mogą być poprowadzone w stronę wyjścia z maszyny, spadają w dół, gdzie są oddzielane od odpadów. Centrum obróbcze WBS 120 może być obsługiwane przez jednego pracownika.

Według przeprowadzonych obliczeń z harmonogramu Gantta czas taktu na prefabrykację jednego domu wynosi ok. 7 dni roboczych (53 godziny i 30 minut), w ciągu całego roku ten linia produkcyjna w tym wariantcie jest w stanie sprefabrykować 36 szt. domów. Największą zmianą, jaką można zauważyć jest skrócenia czasu trwania docinania elementów z drewna litego. Niestety wariant ten nie gwarantuje odpowiedniego zwiększenia możliwości prefabrykacji, jeśli chodzi o zaspokojenie założonego popytu.

W związku z tym, iż nowe elementy zasugerowane wyżej będą potrzebować odpowiedniej przestrzeni oraz przyłączy, konieczna będzie rozbudowa hali w celu optymalnego rozmieszczenia nowych stanowisk. Rozbudowa jest możliwa ze względu na fakt, że dodatkowa powierzchnia pod halą produkcyjną zostanie wydzielona kosztem

powierzchni magazynu. Takie rozwiązanie wymaga jedynie symbolicznych kosztów. Wszystkie poniższe rozważane warianty potrzebują również porównywalnej (dodatkowej) powierzchni.

#### 4.2. Wariant 2 rozbudowy parku maszynowego

Wariant 2 modernizacji linii przewiduje uzupełnienie poprzedniego wariantu o suwnicę pomostową podwieszaną i stół ciesielski WTZ 120.

Suwnice podwieszane – podobnie jak natorowe – przeznaczone są do mechanizacji prac transportowych w warunkach średniej intensywności pracy, odpowiadającej grupie natężenia pracy A5 (GNP) wg PN i przepisów FEM lub wyższej (na indywidualne zamówienie) [15]. Suwnice podwieszane poruszają się po torach jezdnych podwieszonych do istniejącej konstrukcji dachowej hali. Tego typu suwnice mają zastosowanie wszędzie tam, gdzie chcemy maksymalnie wykorzystać przestrzeń hali pod suwnicą do celów produkcyjno-transportowych.

Stół ciesielski WTZ 120 jest przeznaczony do ręcznego składania szkieletów do produkcji zgodnych z wymiarami ścian wewnętrznych i zewnętrznych, jak i elementów dachów i stropów. Dzięki zastosowaniu dwóch osobnych stref mocowania możliwa jest jednoczesna produkcja dwóch elementów na jednym stole.

Opis usprawnionego procesu produkcji elementów ścian: szkielet mocowany jest ręcznie na stole ciesielskim, przy czym górna i dolna belka pozioma dociskane są do słupków. Ustawienie ograniczników X i Y pod kątem 90° względem siebie gwarantuje uzyskanie kąta prostego pomiędzy belkami. Następnie montowane jest pokrycie i zakładana izolacja. W celu odwrócenia elementu obrabianego stół można hydraulicznie podnieść. Element jest wtedy unoszony za pomocą dźwigu, odwracany, a następnie ponownie układany na stole. Na koniec stół jest opuszczany z powrotem, po czym jest obrabiana druga strona elementu.

Wyposażenie stołu ciesielskiego WTZ 120:

- stalowa konstrukcja z wychylną górną ramą,
- hydrauliczne urządzenie wychylne,
- stół może być wychylany wzdłuż dłuższego boku za pomocą wbudowanego agregatu hydraulicznego,
- cała powierzchnia stołu pokryta płytami OSB,
- system mocowania Power TEC z ogranicznikiem Y,
- pneumatyczny system mocowania z otworami do zamocowania ograniczników oraz dodatkowych cylindrów mocujących,
- mocowanie dolnej belki poziomej do słupków oraz do górnej belki poziomej,
- zwiększony zakres mocowania do 3 800 mm,
- uchwyt ogranicznika z otworami rastrowymi, ustawiony dokładnie pod kątem 90°,
- trzy wkładane bolce stalowe.

W celu ustalenia, jakie korzyści mogą przynieść zmiany zaproponowane w wariantcie 2, zostały ponownie przeprowadzone obliczenia dotyczące czasu potrzebnego do prefabrykacji poszczególnych elementów składowych.

Na podstawie obliczeń z harmonogramu Gantta czas wykonania jednego domu zmalał o 14 godzin i 55 minut, w porównaniu z aktualną linią produkcyjną. Według obliczeń czas taktu na prefabrykację jednego domu wynosi ok 6 dni roboczych (48 godzin i 30 minut), w ciągu całego roku linia produkcyjna w wariantcie 2 jest w stanie sprefabrykować 42 szt.

domów. Dużą rolę w skróceniu czasu taktu na pewno odgrywa tutaj stół montażowy, na którym można składać dwa elementy jednocześnie, a suwnica ułatwia zarówno obracanie elementów jak i transport gotowych części oraz materiałów. Niektóre operacje jak docinanie belek jednolitych czy desek czołowych w momencie zwiększenia wydajności skracają czas taktu w znaczny sposób. Znaczący wzrost wydajności (o 10 szt. domów w skali roku) w perspektywie kilku następnych lat pozwoli na zwrócenie się kosztów inwestycji w park maszynowy i pozwoli na szybsze generowanie większego zysku dla przedsiębiorstwa. Wariant 2 pozwala na lepsze wykorzystanie możliwości produkcyjnych prefabrykacji bez zwiększenia zatrudnienia. Maszyny i urządzenia, które zostały wybrane w wariantcie 2, są świetną podstawą do dalszej rozbudowy linii, przy zakupie następnych maszyn można by zwiększyć stopień automatyzacji procesu i uzyskać dalsze skrócenie czasu taktu.

#### 4.3. Wariant 3 rozbudowy parku maszynowego

Wariant 3 modernizacji linii przewiduje zakupienie z zastosowanie następujących maszyn i urządzeń:

- suwnice pomostowe podwieszane,
- Weinmann centrum tnące WBS 120,
- stół ciesielski WTZ 120,
- stół stolarski WTZ,
- mostek wielofunkcyjny WMS 120.

Stół stolarski WTZ służy do układania elementów ścian, po ich odwróceniu (rys. 5). Na stole tym mogą być wykonywane również dalsze prace wykończeniowe, jak np. nakładanie warstwy pokrywającej, izolacji, instalacji, itp.



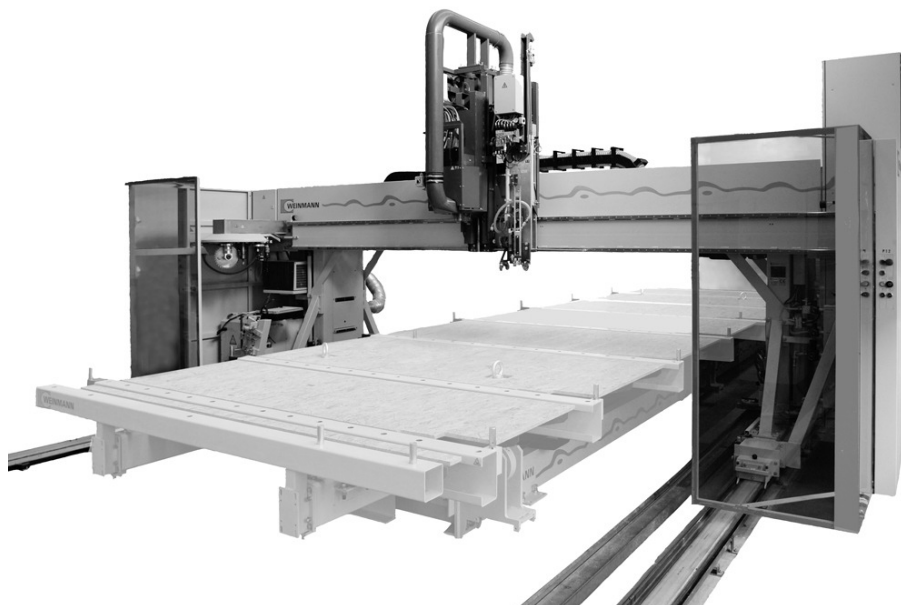
Rys. 5. Stół stolarski WTZ  
Źródło: [4]

Konstrukcja stołu do układania elementów (rys. 4) charakteryzuje się następującą funkcjonalnością:



- przygotowanie do późniejszego zamontowania 2 elementów do mocowania ścian,
- cała powierzchnia stołu pokryta wodoodporną sklejką brzoową z powłoką odporną na ślizganie,
- stalowa konstrukcja profilowa przygotowana dla wysokich obciążeń,
- jednostka odwracania: hydrauliczne urządzenie wychylne 7,5 kW, zabezpieczenie przed spadkiem ciśnienia,
- mechanizm do przesuwania stołu: mechanizm z silnikiem elektrycznym do przesuwania stołu w poprzek, droga przejazdu ok. 5 000 mm, przewody doprowadzające energię umieszczone są w zamkniętej prowadnicy na podłożu.

Mostek wielofunkcyjny WMS 120 jest to sterowana numerycznie maszyna do automatycznej obróbki płyt w drewnianych konstrukcjach ramowych lub podobnych (rys. 6). Dane z programu CAD dotyczące geometrii i obróbki są przesyłane do maszyny. Po wyrównaniu elementu mostek wielofunkcyjny przejeżdża nad elementem i wykonuje obróbkę za pomocą znajdujących się na nim agregatów.



Rys. 6. Mostek wielofunkcyjny WMS 120

Źródło: [4]

Na podstawie obliczeń z harmonogramu Gantta czas sprefabrykowania jednego domu zmalał o 35 godzin, w porównaniu z aktualną linią. Według obliczeń czas taktu na prefabrykację jednego domu wynosi ok. 5 dni roboczych (39 godzin i 8 minut), w ciągu całego roku linia prefabrykacji w wariantcie 3 jest w stanie wykonać 50 szt. domów. Uzyskanie takiego czasu taktu było możliwe dzięki zautomatyzowaniu trzech procesów: przybijania gwoździ oraz zszywek, docinania płyt oraz obrotu elementu o 180°. Automatyzacja procesu niesie ze sobą zwiększenie wydajności, a co za tym idzie zmniejszenie czasu potrzebnego na sprefabrykowanie elementu. Najbardziej wydajnym urządzeniem w tym wariantcie jest mostek wielofunkcyjny, który najbardziej usprawnił

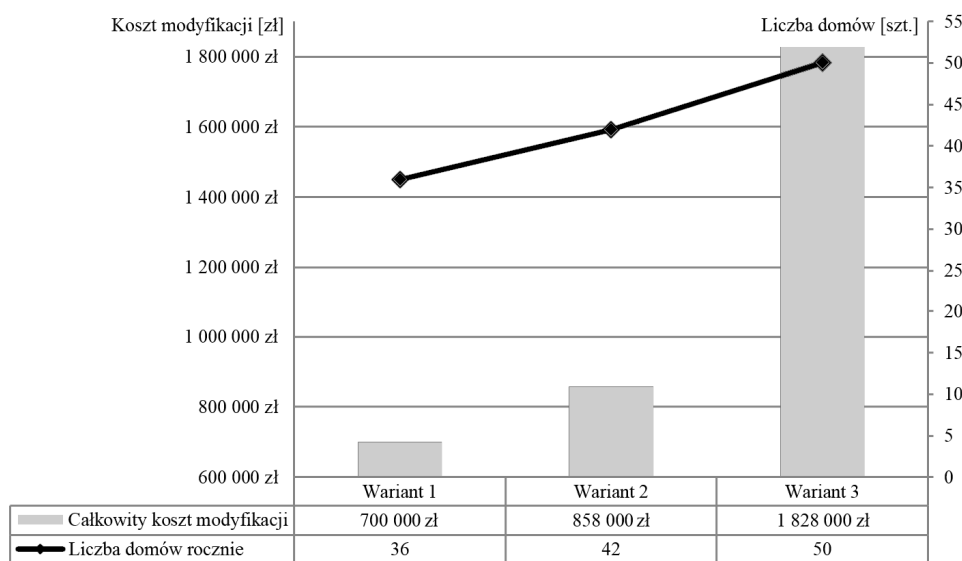
proces w porównaniu do innych wariantów. Stół stolarski wyeliminował konieczność korzystania z suwnicy przy operacji obracania elementu, tą operację teraz może wykonać jeden pracownik, a nie dwóch jak było wcześniej.

Wariant 3 oferuje największą wydajność prefabrykacji ze wszystkich wariantów wcześniej zaprezentowanych przy niezmiennym zatrudnieniu na linii. Liczba domów sprefabrykowanych w skali roku pozwoli na najszybszy zwrot inwestycji. Maszyny zastosowanej w tej wersji linii prefabrykacji wykorzystywane są przy profesjonalnych liniach do prefabrykacji domów. Wariant 3 jest w największym stopniu zautomatyzowany, w efekcie jego wydajność jest największa.

## 5. Analiza rentowności

Oprócz kryteriów czasu taktu oraz kosztów związanych z zakupem maszyn, należy przeprowadzić dodatkowo analizę rentowności wariantów. Analiza rentowności daje możliwość sprawdzenia, kiedy inwestycja w wybrany przez nas wariant udoskonalenia procesu prefabrykacji domów w systemie szkieletowym, zwróci się [12]. Na potrzeby analizy rentowności, założono marżę przedsiębiorstwa w koszcie produkcji domu, na poziomie 30%.

Kryteria oceniania wariantów udoskonalenia procesu prefabrykacji domów w systemie szkieletowym były następujące: czas taktu, koszt zakupu maszyn oraz zaspokojenie zakładanego popytu na domy. Najbardziej optymalny wariant biorąc pod uwagę czas taktu, koszty związane z zakupem maszyn oraz zaspokojenie zakładanego popytu na najbliższe lata to wariant 2 (rys. 7).



Rys. 7. Zestawienie rocznej produkcji z kosztami modyfikacji

Wybrany wariant oprócz zaspokojenia popytu poprzez odpowiedni czas taktu dla procesu prefabrykacji elementów domów w systemie szkieletowym, nie wymaga dużych nakładów finansowych na zakup maszyn w porównaniu z wariantem 3, który cechuje się krótszym czasem taktu, ale niestety koszty zakupu maszyn są o wiele większe. Na podstawie

wyników analizy rentowności również wariant 2 wypada najkorzystniej porównując go do dwóch innych. Koszty wariantu drugiego zwrócą się po 7 latach i 4 miesiącach, wariant 3 będzie potrzebował prawie dwa razy więcej czasu (13 lat i 5 miesięcy), przy założeniu, że 15% zysku jest przekazywane na spłatę inwestycji.

Warto również zauważyć, że wariant 2 od 3 odróżnia w rocznej produkcji tylko 8 szt. domów, taka ich liczba nie jest w stanie zwiększyć na tyle przychodu, aby uznać wariant 3 za najlepsze rozwiązanie.

## 6. Wnioski

Przeprowadzone analizy, porównania oraz analiza rentowności przedsięwzięcia prowadzą do następujących wniosków:

- proces prefabrykacji domów drewnianych w systemie szkieletowym może zostać zautomatyzowany tylko do pewnego stopnia, całkowita automatyzacja nie jest celowa, ponieważ niektóre operacje nie są wykonane szybciej przez maszynę oraz z powodu częstej niedoskonałości materiałów składowych elementów domów szkieletowych,
- w zależności od stopnia wykończenia elementów domów szkieletowych proces może być bardziej długotrwały, co za tym idzie koszt produkcji takiego domu również wzrośnie,
- wydajność procesu można zwiększyć poprzez zwiększenie zatrudnienia, jednakże znacząco może to zwiększyć koszt prefabrykacji każdego domu,
- prostota operacji technologicznych ułatwia udoskonalenie procesu, a także umożliwia wybór różnych sposobów rozwoju takiej linii produkcyjnej.

Za pomocą analizy rentowności można stwierdzić, czy wybrany przez nas wariant rozwoju jest najkorzystniejszy pod kątem finansowym. Narzędzie to pomogło ocenić, czy decyzja przez nas podjęta jest wyważona nie tylko pod kątem wydajności produkcji, ale też w perspektywie czasu zwrotu z inwestycji.

Wielokryterialną analizę efektywności dopasowano do specyficznych wymagań stawianych przez właścicieli przedsiębiorstwa. Dodatkowym kryterium oceny wariantów rozwiązań był wymóg realizacji inwestycji z ograniczeniem ryzyka zachwiania płynnością finansową przedsiębiorstwa.

## Literatura

1. Beverland M., Ewing M., Jekanyika Matanda M.: Driving-market or market-driven? A case study analysis of the new product development practices of Chinese business-to-business firms. *Industrial Marketing Management*, 35, 3, 383–393, 2006
2. Chien C., Dou R., Fu W.: Strategic capacity planning for smart production: Decision modeling under demand uncertainty. *Applied Soft Computing*, 2017
3. Gawroński, S.: *Drewniany dom szkieletowy bez błędów*. Murator, Warszawa 1996
4. HOMAG: Product detail, <https://www.homag.com/pl/>
5. Jedynak, P.: *Ocena znormalizowanych systemów zarządzania jakością: instrumenty i uwarunkowania wartości*. Wydawnictwo UJ, Kraków 2007
6. Kim, T., Glock, C.H.: Production planning for a two-stage production system with multiple parallel machines and variable production rates. *International Journal of Production Economics*. 196, 284–292, 2018
7. Kindström D., Ottosson M., Carlborget P.: Unraveling firm-level activities for shaping

- markets. *Industrial Marketing Management*, 68, 36–45, 2018
8. Nitka, W.: Wymagania techniczno-montażowe dla drewnianego budownictwa szkieletowego. Centrum Budownictwa Drewnianego, Gdańsk 2010
  9. Pawłowski, J.: Metodyka oceny efektywności finansowej przedsięwzięć gospodarczych. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2004
  10. Sam Park, K., Cho, J.-W.: Pro-efficiency: Data speak more than technical efficiency. *European Journal of Operational Research*, 215, 1, 301–308, 2011
  11. Shim G., Lee S., Kim Y.: How investor behavioral factors influence investment satisfaction, trust in investment company, and reinvestment intention. *Journal of Business Research*, 61, 1, 47–55, 2008
  12. Walczak, M. ed: Analiza finansowa w zarządzaniu współczesnym przedsiębiorstwem. Difin, Warszawa 2007
  13. Zbierowski, P.: Orientacja pozytywna organizacji wysokiej efektywności. Wolters Kluwer, Warszawa 2012
  14. Budownictwo mieszkaniowe. Główny Urząd Statystyczny, 2016
  15. PN-ISO 4301-1:1998 - wersja polska. Dźwignice - Klasyfikacja - Postanowienia ogólne.
  16. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. z 2013 r. poz. 926

Dr inż. Arkadiusz KOWALSKI

Mgr inż. Piotr LIPIŃSKI

Katedra Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji Produkcji

Politechnika Wrocławska

50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27

tel.: (0-48) 71 320 30 54

e-mail: arkadiusz.kowalski@pwr.edu.pl