

INSTYTUT BUDOWNICTWA
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Raport Serii PRE Nr /86

HARMONIZACJA PROCESU PRODUKCJI
TRANSPORTU I MONTAŻU ELEMENTÓW
PREFABRYKOWANYCH W BUDOWNICTWIE
MIESZKANIOWYM

Bożena Hoła

Praca doktorska

Promotor: Doc. dr hab. inż. Juliusz Mrozowicz

Słowa kluczowe: produkcja, transport, montaż elementów
prefabrykowanych, harmonizacja, symulacja.

WROCŁAW, 1986

Mgr inż. Bożena Hoła

Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

Zakład Metod Projektowania i Realizacji Budowli

ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, bud. C-7, pok. 816, tel. 20-37-96

50-370 Wrocław

Raport opracowano w ramach problemu badawczego: 02002

Cel pracy: Rozprawa doktorska

Raport wpłynął do Redakcji Wydawnictw Instytutu
Budownictwa Politechniki Wrocławskiej dnia

SPIS TREŚCI

	str.
TEZY PRACY	
Rozdział 1. WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ PRACY	6
1.1. Wstęp	6
1.2. Przedmiot i zakres pracy	8
1.3. Cel pracy	10
1.4. Problematyka pracy w świetle dostępnej literatury	11
Rozdział 2. SZCZEGÓŁOWA ANALIZA BADANYCH PROCESÓW	18
2.1. Opis badanego procesu kompleksowego	18
2.1.1. Proces produkcji elementów prefabrykowanych	19
2.1.2. Proces transportu elementów prefabrykowanych	24
2.1.3. Proces montażu elementów prefabrykowanych .	27
2.3. Założenia i ograniczenia dotyczące przedmiotu badań	29
2.4. Przyjęta struktura kompleksowego procesu	31
Rozdział 3. IDENTYFIKACJA PROCESU PRODUKCJI, TRANSPORTU I MONTAŻU ELEMENTÓW PREFABRYKOWANYCH JAKO SYSTEMU MASOWEJ OBSŁUGI	34
3.1. Charakterystyka systemu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych	34
3.1.1. Struktura systemu	34
3.1.2. Strumienie zgłoszeń	35
3.1.3. Proces obsługi	38
3.1.4. Regulamin kolejek	41
3.2. Uwzględnienie sposobu sterowania procesem produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych w modelu	42
3.3. Wyszczególnienie charakterystyk badanego systemu	43
3.4. Przyjęta metoda analizy badanego systemu masowej obsługi	45
Rozdział 4. MODEL SYMULACYJNY BADANEGO SYSTEMU	47
4.1. Informacje wstępne	47
4.2. Ustalenie zbioru cech elementów systemu	48
4.3. Wyszczególnienie zdarzeń wyróżnionych w modelowym systemie	49
4.4. Struktura funkcjonalna zbudowanego modelu ...	50
4.5. Założenia przyjęte przy budowie modelu	52

4.6. Struktura organizacyjna modelu	53
4.6.1. Procesor modelu	53
4.6.2. Moduły systemowe	54
4.6.3. Moduły pomocnicze	73
4.7. Struktura programu	78
4.8. Model matematyczny systemu	81
4.8.1. Zmienne decyzyjne	81
4.8.2. Zmienne egzogeniczne	83
4.8.3. Zmienne sytuacyjne	84
4.8.4. Wskaźniki sterujące przebiegiem procesu ...	85
4.8.5. Tożsamości	86
4.8.6. Zmienne endogeniczne	89
4.9. Ocena poprawności działania modelu oraz istot- ności uzyskanych wyników	92
Rozdział 5. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA MODELU	94
5.1. Krótka charakterystyka przedmiotu badań	94
5.2. Opis przeprowadzonych badań chronometrażowych	98
5.3. Wyniki badań chronometrażowych	99
5.4. Założenia przyjęte do badań symulacyjnych ...	101
5.5. Wyniki badań symulacyjnych i ich analiza	104
5.5.1. Jednoczesny montaż dwóch budynków	104
5.5.2. Jednoczesny montaż czterech budynków	110
5.5.3. Jednoczesny montaż sześciu budynków	117
5.5.4. Jednoczesny montaż ośmiu budynków	121
Rozdział 6. PODSUMOWANIE BADAŃ SYMULACYJNYCH	124
WNIOSKI KOŃCOWE	142
LITERATURA	145
ZAŁĄCZNIK	154

TEZY PRACY

Analiza organizacji złożonego procesu produkcyjnego, jakim jest produkcja, transport i montaż elementów prefabrykowanych dla budownictwa mieszkaniowego, możliwa jest do przeprowadzenia jedynie poprzez wykorzystanie metody symulacji komputerowej jako narzędzia badawczego oraz teorii masowej obsługi jako podstawy jego odwzorowania.

Badanie procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych pozwala na realną ocenę jego sprawności, jeżeli ma charakter kompleksowy, uwzględniający wszystkie zależności i sprzężenia występujące między poszczególnymi jego elementami.

Sterowanie zmianą charakterystyk procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, ukierunkowane wynikami uzyskanymi z badań symulacyjnych, może dać istotne efekty techniczno-ekonomiczne.

1. WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ PRACY

1.1. Wstęp

W latach 70-tych przyjęto program przyspieszonego rozwoju budownictwa mieszkaniowego. Realizację przyjętych zadań zapewnić miało wprowadzenie technologii wielkopłytywowej, jako podstawowej metody wznoszenia budynków mieszkalnych. Udział "wielkiej płyty" w ogólnej kubaturze nowych mieszkań wzrósł z 19,1% w 1970 roku do 78,3 % w 1980 roku [107] i jest on nadal wysoki ze względu na fakt, iż technologia ta jest w naszym kraju w dalszym ciągu technologią najbardziej rozpowszechnioną. Opinie na jej temat są kontrowersyjne. Pomimo słuszności krytyki wskazującej na istnienie wielu wad w tej technologii jest ona dominująca w budownictwie wielorodzinnym, gdyż istniejące wytwórnie prefabrykatów, a jest ich około 160 [90], przedstawiają bardzo poważny potencjał produkcyjny, którego nie można łatwo przestawić na zupełnie inne cele. Brak jest również dotychczas rozwiązań zastępczych, które na większą skalę mogłyby współzawodniczyć skutecznie z "wielką płytą". Podstawową możliwością jest więc wykorzystanie istniejącego i sprawnego jeszcze przemysłu prefabrykacji jako podstawy budownictwa mieszkaniowego.

Realizacja osiedla mieszkaniowego, stanowiąca zbiór wielu wzajemnie zintegrowanych ze sobą procesów, jest złożonym przedsięwzięciem, uzależnionym od wzajemnych powiązań technologiczno-organizacyjnych wszystkich jego elementów składowych. Ogólnie wiadomym jest, że montaż budynków z elementów prefabrykowanych narzuca pewne określone reżimy technologiczne, strukturę technologiczną występujących procesów, kolejność faz technologicznych oraz wzajemnych powiązań między nimi. Wymaga on koordynacji przestrzenno-czasowej wszystkich elementów biorących w nim udział.

Wzajemne uporządkowanie w sensie ilościowym, przestrzennym i czasowym wszystkich elementów biorących bezpośredni udział w produkcji, jak również skoordynowanie działań pomoc-

niczych jest warunkiem sprawnego przebiegu procesu oraz maksymalnego wykorzystania środków technicznych i siły roboczej. Dokładne przygotowanie organizacyjne procesu możliwe jest poprzez wnikliwą jego analizę, mającą na celu określenie istotnych trwałych cech tego procesu.

W rozprawie do analizy procesów produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych proponuje się zastosowanie specjalnego aparatu badawczego, określonego mianem "podejścia systemowego". Opiera się ono na potraktowaniu przedmiotu badań jako systemu stanowiącego skoordynowany wewnętrznie zbiór elementów, tworzących całość uwarunkowaną stałym i logicznym uporządkowaniem tych elementów oraz celami systemu [3,30].

Z punktu widzenia problematyki technologiczno-organizacyjnej istotna jest struktura systemu, tj. wzajemne ułożenie poszczególnych jego składników oraz powiązanie ich zachodzącymi między nimi procesami. Charakterystycznym sposobem badania systemów jest zamiana systemu rzeczywistego modelem oraz prowadzenie badań na modelu. Im większy będzie stopień dokładności w odwzwaniu rzeczywistości przez model, tym będzie on bardziej przydatny do podejmowania decyzji optymalnych w warunkach zwiększonej liczby możliwych rozwiązań.

Stworzenie naukowych podstaw procesów występujących w technologii i organizacji produkcji budowlanej, między innymi poprzez odpowiednie ich modelowanie z wykorzystaniem techniki komputerowej, postulowane było na III Kongresie Nauki Polskiej, jako jeden z kierunków rozwoju nauki w dziedzinie technologii i organizacji budownictwa [18].

Do rozwiązania badanego problemu wykorzystano w rozprawie narzędzia z grupy aparatu pojęciowego jak i fizycznego. Podstawę techniki naukowej zastosowanej w pracy stanowią narzędzia z grupy aparatu pojęciowego. Zaliczyć do nich należy: elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej, podstawy teorii systemów i teorii masowej obsługi, technikę symulacji komputerowej oraz programowanie w języku Fortran.

Podstawowym instrumentem badawczym był symulator cyfrowy, służący do badania i oceny efektywności działania procesu pro-

dukcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych. Dane liczbowe do weryfikacji zbudowanego modelu zebrano w warunkach naturalnych w wytwórni prefabrykatów produkującej elementy dla systemu W-70 oraz na budowie osiedla Kosmonautów we Wrocławiu.

Rozwiązanie problemu uzyskano w wyniku postępowania określonego przyjętą w rozprawie metodą diagnostyczną rozwiązywania zagadnień naukowo-technicznych.

Metoda ta obejmuje:

- szczegółową analizę badanego procesu oraz określenie jego struktury,
- identyfikację procesu jako systemu masowej obsługi,
- budowę modelu symulacyjnego systemu,
- przeprowadzenie eksperymentów obliczeniowych,
- analizę uzyskanych wyników badań.

1.2. Przedmiot i zakres pracy

Przedmiotem niniejszej rozprawy jest problematyka technologiczno-organizacyjna dotycząca kompleksowych procesów produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych dla potrzeb budownictwa mieszkaniowego. System wznoszenia budynków mieszkalnych podzielić można na podsystemy i elementy o mniejszym stopniu złożoności, a mianowicie: procesy produkcji prefabrykatów, materiałów i elementów wykończeniowych, procesy produkcji materiałów i elementów instalacyjnych, procesy transportu, procesy realizacji stanu zerowego, surowego oraz robót wykończeniowych.

W procesie produkcyjnym jako zbiorze wszelkich działań technicznych i organizacyjnych rolę podstawową odgrywa wiodący proces technologiczny, natomiast pozostałe działania są mu podporządkowane. Podstawowymi procesami występującymi w trakcie realizacji osiedli mieszkaniowych, metodą montażu, są: proces produkcji elementów prefabrykowanych oraz proces mon-

tażu. Elementem wiążącym te dwa podstawowe procesy jest transport.

Produkcja budowlana przebiega w warunkach losowych. Pominięcie tych zjawisk w projektowaniu jej organizacji prowadzić może do powstania zakłóceń i znacznych strat powstałych z tego tytułu. Czasy wykonywanych w procesach budowlanych czynności są zmiennymi losowymi, w których wyróżnić można część deterministyczną, probabilistyczną oraz część "ściśle losową"*. Zagadnienia probabilistyczne są rozwiązywalne jeśli znane są wyniki długotrwałych obserwacji, pozwalających na określenie charakterystyk badanych procesów.

Uznając pewne zakłócenia występujące w procesach budowlanych za obiektywne oraz uwzględniając wszystkie istotne czynniki technologiczno-organizacyjne występujące w produkcji, transporcie i montażu elementów prefabrykowanych, w pracy podjęto próbę opracowania metody analizy tego kompleksowego procesu. Na podstawie wstępnych obserwacji badanego procesu oraz przeglądu metod badań operacyjnych stwierdzono, że analiza różnych form organizacyjnych tego procesu przeprowadzona może być na drodze badań modelowych. Modelem takim, w maksymalnym stopniu uwzględniającym specyfikę analizowanego procesu, będzie symulacyjny model komputerowy zbudowany na bazie teorii masowej obsługi.

Rekapitułując, przedmiot badań ograniczono do procesów produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych z uwzględnieniem ich losowego charakteru, przyjmując jako narzędzie badawcze symulację komputerową oraz jako podstawę odwzorowania teorii masowej obsługi. W rozprawie podjęto próbę określenia warunków jakie powinny być zapewnione, aby proces produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych przebiegał bez zakłóceń. Ustalenie warunków i parametrów za-

*/ Jeśli chodzi o zjawiska losowe to nie można ich przewidzieć, natomiast można je ograniczyć poprzez odpowiednie działania, zmierzające do maksymalnego ich wyeliminowania. W procesach budowlanych do działań takich można zaliczyć między innymi: regularne kontrole stanu technicznego środków produkcji, prowadzenie systematycznej konserwacji środków technicznych, zabezpieczenie materiałowe procesu oraz wzmoczenie dyscypliny pracy.

pewniających harmonijny przebieg badanego procesu wymaga jednoczesnej analizy wszystkich elementów składowych tego procesu, uwzględniającej wzajemne powiązania występujące między nimi oraz uwarunkowania narzucone przebiegającym procesem technologicznym. Takie podejście do harmonizacji tego procesu może dać wymierne rezultaty w postaci bardziej efektywnego wykorzystania środków technicznych, skrócenia czasu realizacji montażu oraz zmniejszenia jego kosztów.

1.3. Cel rozprawy

Harmonijny przebieg kompleksowego procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych wymaga koordynacji ilościowej, przestrzennej i czasowej wszystkich elementów biorących w nim udział.

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że w trakcie realizacji obiektów budownictwa mieszkaniowego występowały często i występują nadal sytuacje niekorzystne, świadczące o niezharmonizowanym przebiegu procesu. Świadczą o tym takie zjawiska jak: niski stopień wykorzystania zdolności produkcyjnej wytwórni prefabrykatów, gromadzenie się nadmiernych ilości prefabrykatów na placu składowym w wytwórni, zła organizacja dostaw elementów prefabrykowanych na budowy, przestoje w montażu. Przyczyną takiego stanu jest między innymi brak właściwych metod oceny możliwości produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz montażowych, przedsiębiorstw budowlano-montażowych.

Wyeliminowanie tych zjawisk możliwe jest poprzez dokładne przygotowanie organizacyjne realizacji procesu. Uwzględniać ono powinno takie istotne elementy technologiczno-organizacyjne procesu jak: występowanie kilku typów elementów technologicznie podobnych, konieczność składowania wyprodukowanych elementów w magazynie wyrobów gotowych do momentu osiągnięcia przez nie wymaganej wytrzymałości transportowej, właściwą kolejność dostaw poszczególnych typów elementów odpowiadającą aktualnemu zapotrzebowaniu montażu.

Celem rozprawy jest:

- pogłębienie problematyki w zakresie modelowania procesów budowlanych,
- stworzenie komputerowego modelu symulacyjnego procesu produkcji transportu i montażu elementów prefabrykowanych dla potrzeb budownictwa mieszkaniowego, uwzględniającego wszystkie specyficzne cechy procesu rzeczywistego, pozwalającego na analizowanie różnych jego form organizacyjnych,
- przeprowadzenie badań w warunkach naturalnych, w aspekcie czasów trwania poszczególnych czynności występujących w analizowanych procesach, dla dowolnego systemu konstrukcyjno-technologicznego budownictwa mieszkaniowego, jako podstawy budowanego modelu kompleksowego procesu,
- określenie na podstawie uzyskanych obserwacji trwałych cech analizowanych procesów, w postaci rozkładów czasów trwania poszczególnych czynności,
- przeprowadzenie badań na zbudowanym modelu symulacyjnym, dla których podstawą będą uzyskane wyniki badań empirycznych, pozwalających na ocenę analizowanego procesu i określenie zakresu i rodzaju przedsięwzięć, jakie należy podjąć w celu jego usprawnienia.

1.4. Problematyka pracy w świetle dostępnej literatury

Procesy budowlane były i są przedmiotem zainteresowania wielu badaczy. Wnikliwa analiza warunków, w jakich one przebiegają oraz praw, którym podlegają, może być podstawą optymalnego ich kształtowania.

Analiza procesów budowlanych może być prowadzona na bazie modeli deterministycznych i probabilistycznych. Uwzględnienie zjawisk losowych, jako dokładniejszego sposobu analizy procesów budowlanych, znalazło odzwierciedlenie między innymi w pracach [7,20,65,71,102] dotyczących oceny wydajności procesów, [9,12,21,23,50] analizujących ich niezawodność, [62,64,67] zajmują-

cych się problemem harmonizacji procesów, a także w pracy [53] dotyczącej przygotowania produkcji budowlanej na zapleczu i placu budowy.

Zagadnienia występujące w przemysłowej produkcji prefabrykatów betonowych znalazły swoje odbicie w pracach [5,8,10,9,12,16,17,45,93,103,117]. Deterministyczne podejście do problemów wyznaczania zdolności produkcyjnej wytwórni prefabrykatów reprezentują prace [5,103]. Prace [16,17] stanowią przegląd stanu wiedzy, dotyczącej zagadnień ogólnych, występujących w procesach przemysłowej produkcji elementów prefabrykowanych oraz zagadnień ich projektowania. Probabilistyczne podejście do zagadnień przemysłowej produkcji elementów prefabrykowanych reprezentowane jest natomiast w pracach [8,9,10,12,45,93].

Zagadnienia zmienności czasu wykonania czynności występujących w procesach formowania elementów prefabrykowanych poruszone zostały między innymi w pracach [8,45]. Autorzy tych prac na podstawie przeprowadzonych badań określili rozkłady czasu pracy, występujące w procesach formowania elementów wielkopłytowych w formach bateryjnych oraz elementów przestrzennych wykonywanych metodą stendową. Wpływ dyspersji czasu wykonania poszczególnych czynności składowych na czas realizacji złożonego procesu produkcyjnego, jaki stanowi proces formowania elementów ściennych, jest przedmiotem pracy [93]. Zmienność czasu wykonania czynności ma decydujący wpływ na osiąganą w badanym procesie wydajność. W pracach [8,93] do oszacowania wydajności ciągów technologicznych produkcji elementów prefabrykowanych zaproponowano wykorzystanie metody Monte Carlo. Zakłócenia występujące w procesach produkcyjnych znajdują swoje odzwierciedlenie w poziomie ich niezawodności. Problem niezawodności systemów produkcji elementów prefabrykowanych znalazł swoje odbicie w pracach [9,12]. W pracy [9] przeprowadzono analizę rytmiczności produkcji agregatowo-równomiernej. Na podstawie przeprowadzonych badań zweryfikowano metodę planowania produkcji w zakresie ustalania długości rytmu produkcyjnego. Wykorzystując teorię niezawodności, określono najbardziej prawdopodobną wydajność procesu o szeregowej strukturze niezawodnościowej. Wykazano również możliwość podwyższenia stop-

nia niezawodności procesu poprzez wprowadzenie szeregu zabezpieczeń w postaci dodatkowych stanowisk produkcyjnych. Autor pracy [12] zaproponował do oceny niezawodności złożonego systemu produkcyjnego, jaki stanowi wytwórnia prefabrykatów, rozkład czasu jego poprawnej pracy. Do badania niezawodności systemu wykorzystał metodę symulacji komputerowej.

Istotną rolę w sprawnym przebiegu procesów budowlanych odgrywa transport. Ponieważ stanowi on element wiążący dla kolejnych faz procesu produkcyjnego, powinien odznaczać się terminowością i rytmicznością dostaw. Podejście deterministyczne do problemów transportu w produkcji budowlanej reprezentowane jest między innymi w pracach [36,79,80,99,106]. Optymalne kształtowanie przebiegów transportowych utrudnione jest z powodu zmienności czasu przejazdów oraz nierównomiernego popytu na transportowane materiały. Zjawiska losowe występujące w procesach transportu materiałów budowlanych uwzględnione zostały między innymi w pracach [35,105,108]. W pracy [35] poruszony został problem wpływu zjawisk losowych na wydajność transportu. Praca [105] dotyczy transportu kontenerowego elementów prefabrykowanych w budownictwie mieszkaniowym. Stosując metodę symulacji komputerowej autor przeanalizował wiele wariantów organizacyjnych tej formy transportu. Na podstawie uzyskanych wyników badań wykazał możliwość określenia takiego wariantu transportu, który, zapewniając ciągłość montażu w przyjętych granicach tolerancji, minimalizuje jego koszty. Problem optymalizacji dostaw elementów prefabrykowanych dla potrzeb montażu podjęty został również w pracy [108].

Zagadnienia występujące w procesie montażu budynków mieszkalnych pojawiły się między innymi w pracach [25,29,30,31,54,55,61,63,82,83,86,110].

Prace [54,55,63] dotyczą optymalizacji ciągów technologicznych, występujących w procesie montażu "z kół". Do modelowania sprzężonych procesów montażu i transportu, zastosowano teorię masowej obsługi. Do analizy przedmiotowych procesów wykorzystano modele systemów masowej obsługi typu M/M/1 i M/M/c z oczekiwaniem i ograniczonym strumieniem wejścia. Są to modele systemów zamkniętych, zwanych również cyklicznymi. Pro-



ces wejścia tworzony jest przez liczbę środków transportowych wyekspediowanych w badanym przedziale czasu, natomiast rozkład czasu obsługi tworzą czasy rozładunku środków transportowych. Optymalizację przeprowadzono określając: optymalną liczbę środków transportowych, wielkość składowiska przyobiektowego oraz wielkość składowiska w wytwórni prefabrykatów, zapewniającego ciągłość montażu "z kół", uwzględniającą nierównomierność zapotrzebowania elementów.

Problemy montażu w skali mikro dotyczą między innymi prace [25,26,82,83]. Przedmiotem zainteresowania autora były ilościowe i jakościowe cechy procesu, mające znaczenie dla sprawności technologicznej badanego systemu. Odzworowując proces montażu modelami masowej obsługi typu $M/G/1$, $M/E_k/1$, $M/M/1$ oraz modelem typu $M/M/c$, autor wyznaczył podstawowe wskaźniki określające efektywność badanego procesu. Zaproponował także miarę oceny sprawności procesu montażu w postaci ilorazu średniego czasu przebywania elementu w systemie do średniego cyklu montażu elementu. Na podstawie analizy uzyskanych wyników autor stwierdził, że sprawność procesu montażu rośnie wraz ze wzrostem liczby jednocześnie montowanych budynków. Powyższa problematyka znalazła również odbicie w pracach [29,30,31].

W pracy [110] przeprowadzono analizę różnych sposobów montażu elementów prefabrykowanych w budownictwie mieszkaniowym w aspekcie ekonomicznym. Przedmiotem badania były następujące sposoby montażu elementów prefabrykowanych: montaż ze składowiska przyobiektowego, montaż "z kół", montaż z kontenerów. Na podstawie uzyskanych wyników autor wykazał, że najbardziej ekonomiczną formą montażu jest montaż elementów z kontenerów.

Niezawodność procesu montażu budynków prefabrykowanych była przedmiotem pracy [61].

W świetle przytoczonych przykładów zauważyć można, że zagadnieniom występującym w przemysłowej produkcji budynków mieszkalnych poświęconych jest wiele prac. W przedstawionych pracach procesy produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych analizowane są jako odrębne, niezależne, nie-

związane ze sobą elementy. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że realizacja budynku mieszkalnego jest zintegrowanym zbiorem wielu procesów, nasuwa się wniosek, że aby określić warunki sprawnego przebiegu tego procesu, należy analizować wszystkie jego elementy jednocześnie, w sposób kompleksowy, uwzględniając wszystkie wzajemne powiązania występujące między nimi.

Ze względu na kompleksowy sposób podejścia do analizy złożonego procesu produkcyjnego oraz przedstawiony przykład liczbowy, najbardziej zbliżoną do niniejszej pracy jest praca [7]. Przedmiotem badań opisanych w tej pracy jest złożony szeregowy proces produkcyjny, nie posiadający w swej strukturze magazynów pośrednich. Autor określił w niej wpływ dyspersji wydajności składowych ogniw produkcyjnych na wydajność wynikową procesu złożonego oraz poruszył zagadnienie doboru charakterystyk ogniw tworzących proces zharmonizowany. W celu rozwiązania po-stawionych zadań autor stworzył własną teorię probabilistyczną, opartą na naukowych zasadach organizacji pracy oraz rachunku prawdopodobieństwa.

Przedstawioną teorię uściślił dla przypadku, gdy zmienna wydajność poszczególnych ogniw procesu ma rozkład logarytmnormalny i zastosował ją do oceny wydajności ciągu produkcyjnego: prefabrykacja, transport, montaż. Oceniając wydajność złożonego szeregowego procesu produkcyjnego, stwierdził, że dyspersja wydajności poszczególnych ogniw ma wpływ na wydajność wynikową procesu. Spadek potencjału wydajności zależy od liczby ogniw produkcyjnych. Im większa liczba ogniw, tym większe straty wydajności. Zależność ta ma charakter asymptotyczny i przy pewnej odpowiednio dużej liczbie ogniw ustala się na stałym poziomie.

Pominięcie występowania magazynów pośrednich w analizowanym procesie produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych nie pozwala realnie ocenić jego wydajności. Magazyny pośrednie kompensują bowiem wpływ chwilowych różnic wydajności sąsiednich ogniw na wydajność wynikową procesu, a stopień łagodzenia tego wpływu zależny jest od ich wielkości.

Między innymi propozycję wyznaczania wielkości pośrednich placów składowych, uwzględniającą losowy charakter procesu popytu i podaży, przedstawiono w pracach [34,48,49,51,56,57,109,115].

Magazyn wyrobów gotowych w wytwórni prefabrykatów oprócz łagodzenia chwilowych różnic wydajności w produkcji elementów i ich montażu, jest niezbędnym ogniwem w realizowanym procesie technologicznym. Przebiega w nim bowiem proces osiągania wytrzymałości transportowej wyprodukowanych elementów.

Kompleksowe podejście do analizy procesu produkcji transportu i montażu uwzględniać również powinno występowanie kilku typów elementów technologicznie podobnych, produkowanych na różnych liniach produkcyjnych oraz różne wielkości zapotrzebowania montażu na poszczególne typy elementów wynikające z ilości, wielkości i struktury montowanych budynków oraz terminów ich realizacji. Postawionym wymogom sprostą symulacyjny model analizowanego systemu, zbudowany na bazie teorii masowej obsługi.

Modele systemów masowej obsługi znalazły zastosowanie do analizy wielu procesów budowlanych. Rozwiązanie analityczne modeli systemów masowej obsługi wykorzystano do analizy procesów przedstawionych między innymi w pracach [24,26,27,28,29,34,47,54,58,59,62,70,76,82,83,84,104]. Analizę bardziej złożonych procesów przeprowadzono, wykorzystując metodę symulacji komputerowej.

W pracy [85] autor przedstawił symulacyjny model wielokanałowego systemu masowej obsługi, z cyklicznym obiegiem ograniczonej ilości zgłoszeń. Model zbudowano dla pięciu różnych rozkładów prawdopodobieństwa, w tym rozkładu empirycznego. Przedstawiony model zastosowano do optymalizacji układu: koparka - środki transportowe w masowych robotach ziemnych. W pracy [76] symulacja komputerowa znalazła zastosowanie do analizy wydajności środków mechanizacji w budownictwie. Wykorzystanie tej metody zaproponowano również w pracach [4,15,38,52,60,64,66,73,75,77,78,85,95,98,105].

Wykorzystanie teorii masowej obsługi oraz metody symulacji komputerowej do analizy procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych dla potrzeb budownictwa mieszkaniowego, zaproponowane zostało przez autora niniejszej rozprawy w następujących opracowaniach [42,43,44].

2. SZCZEGÓŁOWA ANALIZA BADANEGO PROCESU

Realizacja celu rozprawy wymaga technologiczno-organizacyjnej analizy badanego procesu. Dla sprawnego przebiegu procesu produkcyjnego zasadnicze znaczenie ma jego struktura organizacyjna, rozpatrywana w aspekcie czynnościowym. Wyraża ona sposób przebiegu działań związanych z przetwarzaniem przedmiotu produkcji.

2.1. Opis badanego procesu

Wprowadzenie w budownictwie mieszkaniowym przemysłowych metod produkcji wiązało się z olbrzymim zapotrzebowaniem społecznym na mieszkania. Wywołało to potrzebę opracowania zintegrowanych systemów realizacji budynków mieszkalnych, takich jak W-70, Wk-70, OWT, Szczecin, WWP, Winogrody itp.

Zastosowanie przemysłowych metod produkcji narzuciło wiele wymagań i ograniczeń w stosunku do przedmiotu produkcji. Wymagania te wynikały zarówno z przemysłowej formy produkcji elementów prefabrykowanych, jak również uprzemysłowionych metod transportu i realizacji obiektów na placu budowy, przede wszystkim w zakresie montażu.

Masowy charakter produkcji możliwy był do osiągnięcia dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu produkowanego asortymentu, charakteryzującego się między innymi [16]:

- małą liczbą typów elementów,
- małą liczbą odmian elementów w ramach określonego typu,
- technologicznością elementów.

2.1.1. Proces produkcji elementów prefabrykowanych

Produkcja elementów prefabrykowanych dla potrzeb budownictwa mieszkaniowego odbywa się w wytwórniach typu stałego lub poligonowego. Produkują one zazwyczaj pełny asortyment elementów niezbędnych do wznoszenia budynków. W nielicznych przypadkach wytwórnie te zostały tak zaprojektowane, że uzyskanie pełnego asortymentu wymaga kooperacji z innymi wytwórniami.

Dla realizacji podstawowego celu, jakim jest wytwarzanie określonego asortymentu elementów prefabrykowanych, uruchamiane są w nich procesy produkcyjne.

Realizowane w każdej wytwórni procesy podzielić można na trzy grupy, a mianowicie:

- proces produkcji głównej,
- proces produkcji ubocznej,
- proces produkcji usługowej.

Proces produkcji głównej obejmuje wytwarzanie elementów będących podstawowym asortymentem produkcyjnym, dla którego produkcji wytwórnia została zbudowana.

Proces produkcji ubocznej obejmuje produkcję elementów nietypowych, podjętą w celu lepszego wykorzystania nadwyżek zdolności produkcyjnej.

Proces produkcji usługowej obejmuje wytwarzanie wyrobów lub mediów technologicznych, niezbędnych do prowadzenia produkcji podstawowej i ubocznej /para wodna, sprężone powietrze itp./.

Bezpośredni udział w produkcji elementów prefabrykowanych bierze oddział produkcji podstawowej, z którym współdziałają między innymi: betonownia, zbrojarnia oraz magazyn wyrobów gotowych. Oddział produkcji podstawowej podzielony jest na linie produkcyjne, wytwarzające jednakowe lub technologicznie podobne elementy.

Do grupy elementów technologicznie podobnych należą wszystkie te elementy, dla których proces produkcyjny jest wspólny, a produkcja odbywa się przy niezmiennym wyposażeniu w środki techniczne oraz takich samych lub podobnych zabiegach technologicznych.

W zależności od systemu konstrukcyjno-technologicznego podział produkowanego asortymentu na grupy elementów technologicznie podobnych jest różny. Różna jest zatem ilość linii technologicznych, w oddziałach produkcji podstawowej. I tak w wytwórni produkującej elementy dla systemu W-70 we Wrocławiu istnieje osiem linii produkcyjnych, natomiast w wytwórni produkującej elementy dla systemu W_k -70 w Opolu istnieją tylko trzy linie produkcyjne. W obydwu wytwórniach produkowany jest pełny asortyment elementów dla danego systemu. Należy nadmienić, że w wytwórniach produkujących elementy dla tego samego systemu mogą wystąpić pewne różnice w ilości linii technologicznych, uwarunkowane potrzebami regionu. I tak, np. wytwórnia elementów dla systemu W-70 we Wrocławiu posiada w porównaniu z innymi wytwórniami dla tego systemu dodatkową linię produkcji stropów.

W zależności od przyjętej zasady dynamicznego uporządkowania w przestrzeni elementów materialnych procesu, w produkcji prefabrykatów występują linie stacjonarne i potokowe, realizujące proces produkcyjny według metody przedmiotowo-stacjonarnej lub przedmiotowo-potokowej [16].

Metoda przedmiotowo-stacjonarna charakteryzuje się tym, że jednakowe lub technologicznie podobne przedmioty produkcji, pozostające na nieruchomych stanowiskach pracy, przetwarzane są w kolejności technologicznej przez ruchome, jednoczynnościowe środki techniczne.

Metoda przedmiotowo-potokowa charakteryzuje się tym, że jednakowe lub technologicznie podobne przedmioty produkcji przemieszczane są w kolejności technologicznej przez różne, jednoczynnościowe, stacjonarne środki techniczne.

Linie produkcyjne stacjonarne składają się z zespołu stałych stanowisk produkcyjnych, będących wyposażeniem ogólnym linii oraz ruchomych komórek produkcyjnych wyposażonych w ruchome środki techniczne.

Linie potokowe składają się ze stacjonarnych komórek produkcyjnych oraz ruchomych środków technicznych, przesuwających się wraz z przedmiotem produkcji, będących wyposażeniem ogólnym linii. W zależności od charakteru przemieszczania przedmiotu produkcji mogą być stosowane dwa warianty linii potokowych, a mianowicie:

- linie potokowe o skokowym charakterze przemieszczania przedmiotu produkcji,
- linie potokowe o ciągłym charakterze przemieszczania przedmiotu produkcji.

Ilość elementów zaformowana na danej linii w czasie jednej zmiany roboczej jest różna. Wynika ona z aktualnego zapotrzebowania na elementy. Uwarunkowana jest ona także sytuacją materiałową /cement, kruszywo, stal, materiały izolacyjne/, absencją pracowników, sprawnością środków technicznych itp. Wyprodukowane elementy wywożone są transportem międzyoddziałowym /najczęściej wózkami szynowymi/ do magazynu wyrobów gotowych. Wywóz odbywa się cyklicznie, każdorazowo po załadowaniu odpowiedniej ilości elementów. W wytwórniach typu poligonowego wywóz elementów może odbywać się, np. przy użyciu suwnic zainstalowanych w oddziałach produkcyjnych, obsługujących zarówno oddziały produkcyjne, jak i magazyn wyrobów gotowych.

Na podstawie obserwacji poczynionych w wytwórniach wrocławskich stwierdzono, że duże znaczenie dla sprawności zewnętrznego i wewnętrznego transportu elementów ma usytuowanie magazynu wyrobów gotowych w stosunku do oddziału produkcji podstawowej. I tak, np. w wytwórniach dla systemu W-70, układ naw w magazynie wyrobów gotowych jest prostopadły do układu naw oddziału produkcji podstawowej. Zaprojektowany w tych wytwórniach sposób wywozu elementów prefabrykowanych, z oddziału produkcji podstawowej do magazynu wyrobów gotowych, nie zdał w praktyce egzaminu ze względu na zawodność wózków typu ZTA. Stąd z konieczności, np. we wrocławskiej wytwórni, używa się obecnie do tego celu ładowarek typu Fadrom.

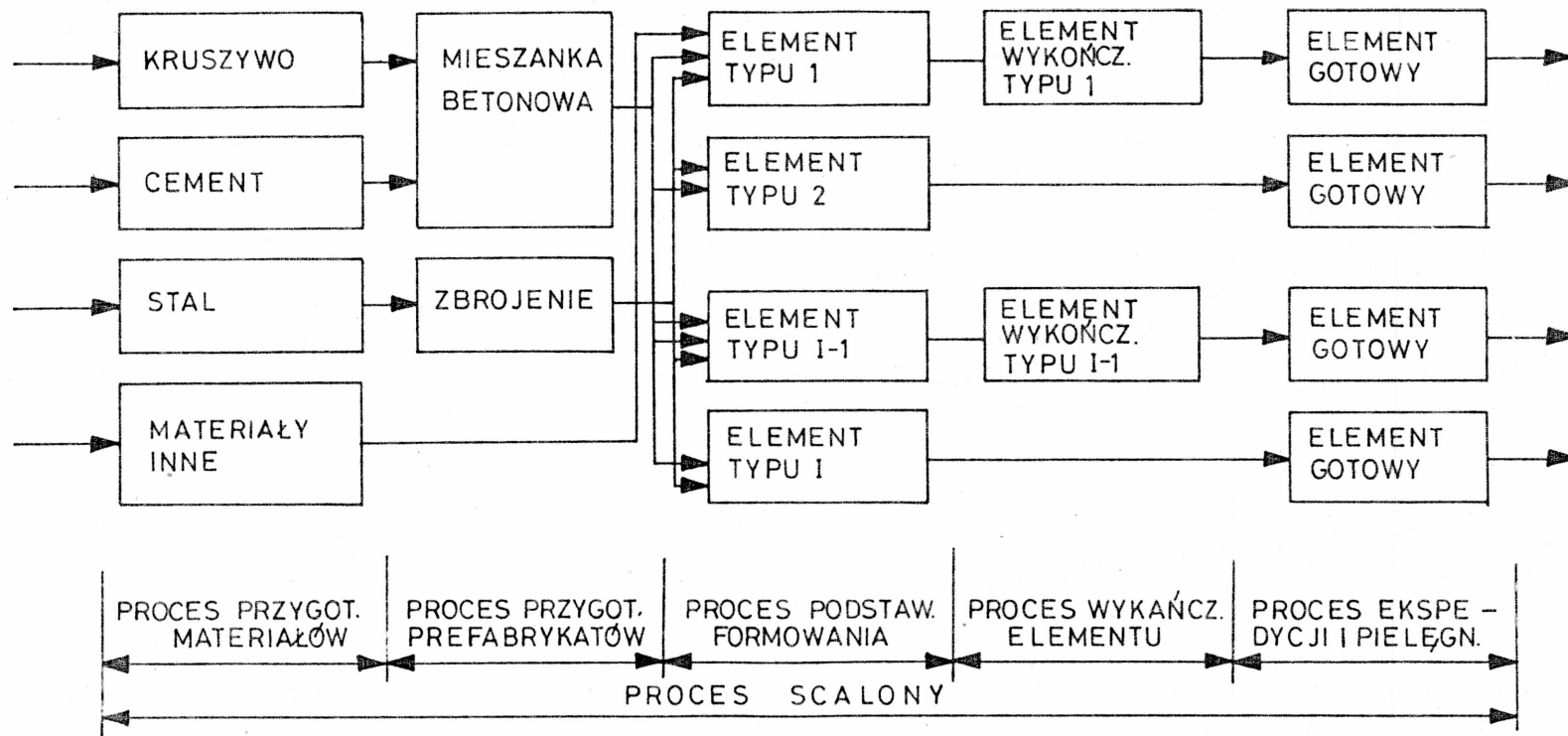
Korzystniejszy jest natomiast układ, w którym magazyn wyrobów gotowych usytuowany jest na przedłużeniu hali produkcyjnej, a te same suwnice obsługują zarówno oddział produkcji podstawowej, jak i magazyn wyrobów gotowych.

Elementy prefabrykowane po rozformowaniu powinny być przechowywane w magazynie wyrobów gotowych do chwili osiągnięcia przez nie wytrzymałości umożliwiającej ich transport i natychmiastowy montaż. Według [68] wytrzymałość ta powinna wynosić minimum 0,7 R. Czas, w jakim wyprodukowany element prefabrykowany osiągnie tę wytrzymałość, zależy od szeregu czynników [68,94,112,113] i wymaga indywidualnych ustaleń*. Na podstawie rozeznania przeprowadzonego w wytwórniach wrocławskich stwierdzono, że okres ten wynosi średnio siedem dni. Zdarzają się jednak przypadki, że element bezpośrednio po rozformowaniu transportowany jest na budowę, mimo że nie posiada jeszcze wymaganej wytrzymałości transportowej.

Analizując proces produkcji elementów prefabrykowanych pod względem jego struktury, wyróżniono w nim pięć procesów częściowych, obejmujących pewien skończony zakres procesu przetwarzania przedmiotu produkcji [17]. Do procesów tych zaliczono proces przygotowania materiałów, proces produkcji półfabrykatów, proces formowania elementów, proces wykańczania elementów, proces pielęgnacji i ekspedycji. Każdy z wymienionych procesów częściowych podzielić można z kolei na elementy o mniejszym stopniu złożoności.

Strukturę procesu produkcji elementów prefabrykowanych, rozpatrywaną na poziomie procesów częściowych, przedstawiono na rysunku 2.1. Z rysunku tego wynika, że elementy wyjściowe uzyskane w danym procesie przetwarzania są elementami wejściowymi do następnego procesu. Efektem procesu scalonego jest całkowicie wykończony i przygotowany do montażu element prefabrykowany.

*/ Według [17] minimalny okres składowania elementów w magazynie wyrobów gotowych nie powinien być krótszy niż czternaście dni kalendarzowych. Według [49] wyprodukowany element osiąga wytrzymałość transportową po dziesięciu dniach od chwili jego wyprodukowania.



Rys. 2.1. Struktura procesu produkcji elementów prefabrykowanych

2.1.2. Proces transportu elementów prefabrykowanych

Wywóz elementów prefabrykowanych z magazynu wyrobów gotowych może odbywać się drogą kołową, kolejną lub w układzie mieszanym. Najczęściej stosowany jest transport kołowy. Według [2,17] wywóz elementów prefabrykowanych transportem kołowym może być realizowany trzema metodami, a mianowicie:

- transport prefabrykatów na skład przyobiektowy i montaż ze składowiska,
- transport prefabrykatów naczepami i montaż z naczep,
- transport prefabrykatów w kontenerach i montaż z kontenerów.

Transport na skład przyobiektowy i montaż ze składu odbywa się w ten sposób, że elementy prefabrykowane ładowane są w wytwórniach wprost na środki transportowe za pomocą suwnic lub żurawi wieżowych. Załadowane i odpowiednio zabezpieczone elementy przewożone są na plac budowy, gdzie z kolei następuje ich rozładunek. Rozładunek odbywa się najczęściej za pomocą żurawi wieżowych, wykorzystywanych na budowie do montażu budynków. Elementy składowane są na przyobiektowych placach składowych. Taka forma transportu wymaga utworzenia dużego składowiska w zasięgu pracy żurawia montażowego.

Transport naczepami i montaż z naczep odbywa się w ten sposób, że prefabrykaty są przewożone z magazynu wyrobów gotowych na budowę pojazdami składającymi się z ciągnika siodłowego i naczepy. Transport ten może być realizowany według dwóch wariantów organizacyjnych, a mianowicie:

- ciągnik i naczepa stanowią nierozłączny zestaw zarówno w czasie załadunku, transportu jak i rozładunku,
- ciągnik i naczepa stanowią zestaw rozłączny.

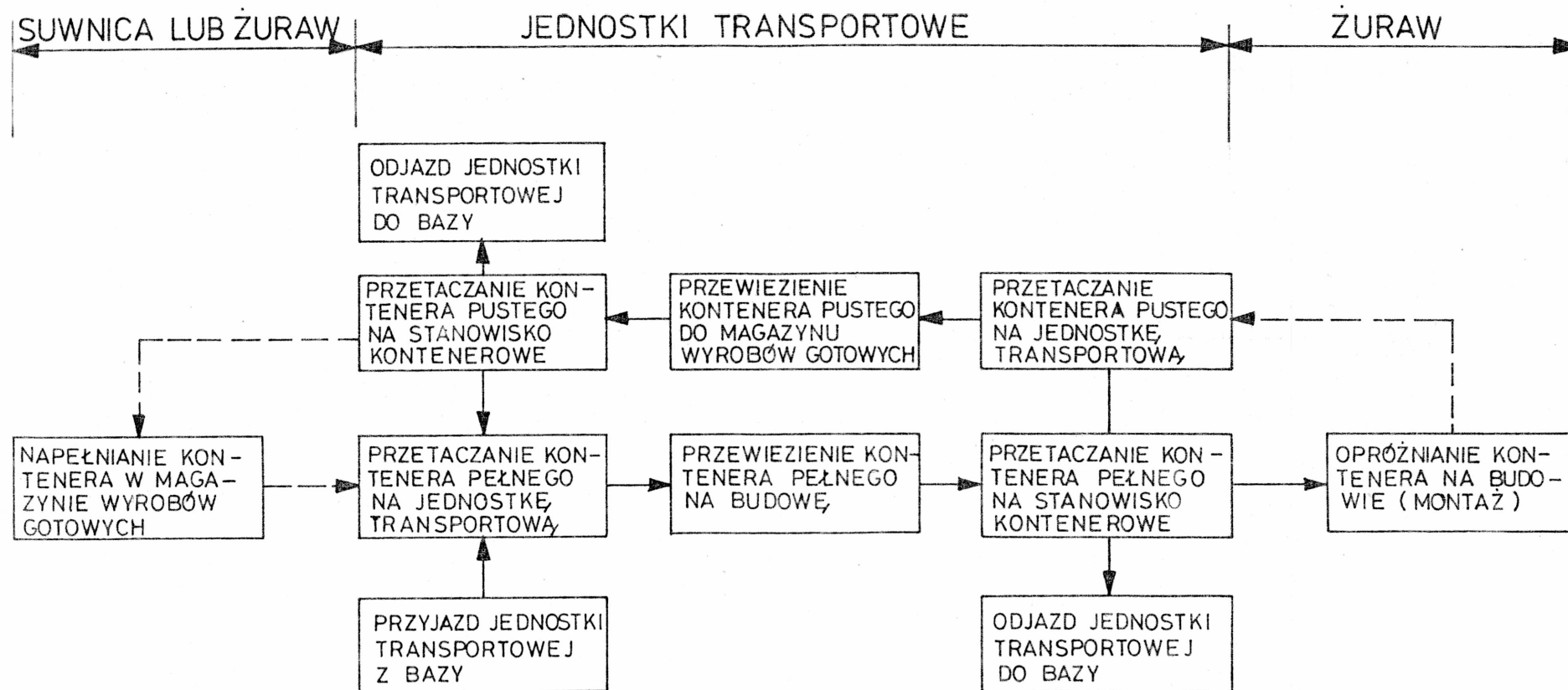
W przypadku wariantu drugiego, po przywiezieniu naczepy z ładunkiem na budowę, pozostawia się ją na placu dostawczym w zasięgu żurawia montażowego, natomiast ciągnik wraca do wytwórni z rozładowaną naczepą, dostarczoną na budowę wcześniej.

W wytwórni jest ona pozostawiona do ponownego załadunku, a ciągnik zabiera kolejną naczepę z prefabrykatami, rozpoczynając następny cykl transportowy. W metodzie tej obowiązuje wymóg, że dostawa elementów odbywa się w kolejności ich montażu.

Transport prefabrykatów w kontenerach odbywa się w ten sposób, że elementy prefabrykowane ładowane są w wytwórniach do specjalnych kontenerów. Załadowane kontenery przewożone są następnie na budowy zestawami składającymi się z ciągników balastowych i przyczep niskopodłogowych. Przywiezione kontenery ustawiane są na stanowisku kontenerowym usytuowanym obok toru żurawia montującego budynek, natomiast ciągnik wraca do wytwórni, zabierając ze sobą pusty kontener z innego stanowiska. W metodzie tej montaż elementów odbywa się wprost z kontenerów. Elementy załadowywane są do kontenerów w odpowiedniej kolejności, wynikającej z technologii montażu. Również dostawa pełnych kontenerów musi odbywać się w określonym porządku.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji stwierdzono, że w praktyce stosowana jest najczęściej kombinacja wymienionych metod transportu. I tak elementy ściennie transportowane są najczęściej w kontenerach przy użyciu ciągników balastowych TATRA 141 oraz przyczep niskopodłogowych P402 lub P251, natomiast elementy stropowe, dachowe i klatek schodowych transportowane są w pozycji poziomej przy użyciu ciągników siodłowych JELCZ C-640 i naczep N-250, przy czym ciągniki i naczepa stanowią nierozłączny zestaw. Po przyjeździe na budowę naczepy są rozładowywane i montaż elementów odbywa się ze składowiska przyobiektowego. Elementy uzupełniające, w zależności od zaistniałej sytuacji, transportowane są bądź w kontenerach /elementy lekkie/ bądź na platformie przyczepy /elementy ciężkie/.

Proces transportu stanowi odpowiednio dobrany i uszeregowany zespół czynności, mający na celu zmianę położenia w przestrzeni przedmiotów produkcji. Przebieg czynności w procesie transportu elementów prefabrykowanych ma charakter cykliczny. Poszczególne czynności są ze sobą ściśle powiązane, powtarzają się w określonej kolejności i odstępach czasu. Na rysunku 2.2 przedstawiono strukturę procesu transportu, odpowiadającą



Rys. 2.2. Struktura procesu transportu kontenerowego

metodzie montażu z kontenerów. Aby uwypuklić cechy charakterystyczne dla tej metody, na przedstawionym rysunku zaznaczono także zaangażowanie środków technicznych w wyszczególnionych czynnościach realizowanego procesu.

2.1.3. Proces montażu elementów prefabrykowanych

Podstawowym procesem na budowie jest montaż elementów prefabrykowanych. Decyduje on o organizacji całości procesu, ustala tempo robót towarzyszących oraz procesów, które wykonuje się w kolejności technologicznej przed procesem podstawowym i po nim. Montaż budynków odbywa się najczęściej przy użyciu żurawii wieżowych. Montowane budynki dzieli się na działki montażowe, w obrębie których prowadzi się prace w następującej kolejności:

- montaż elementów stropowych i klatek schodowych,
- wykonanie połączeń poziomych,
- montaż elementów ścian osłonowych,
- montaż elementów ścian wewnętrznych,
- montaż elementów przestrzennych,
- montaż ścianek działowych
- wykonanie połączeń pionowych.

Cykl montażu elementu prefabrykowanego obejmuje takie czynności robocze jak: zawieszanie, przemieszczanie i ustawianie elementu oraz czynności jałowe żurawia.

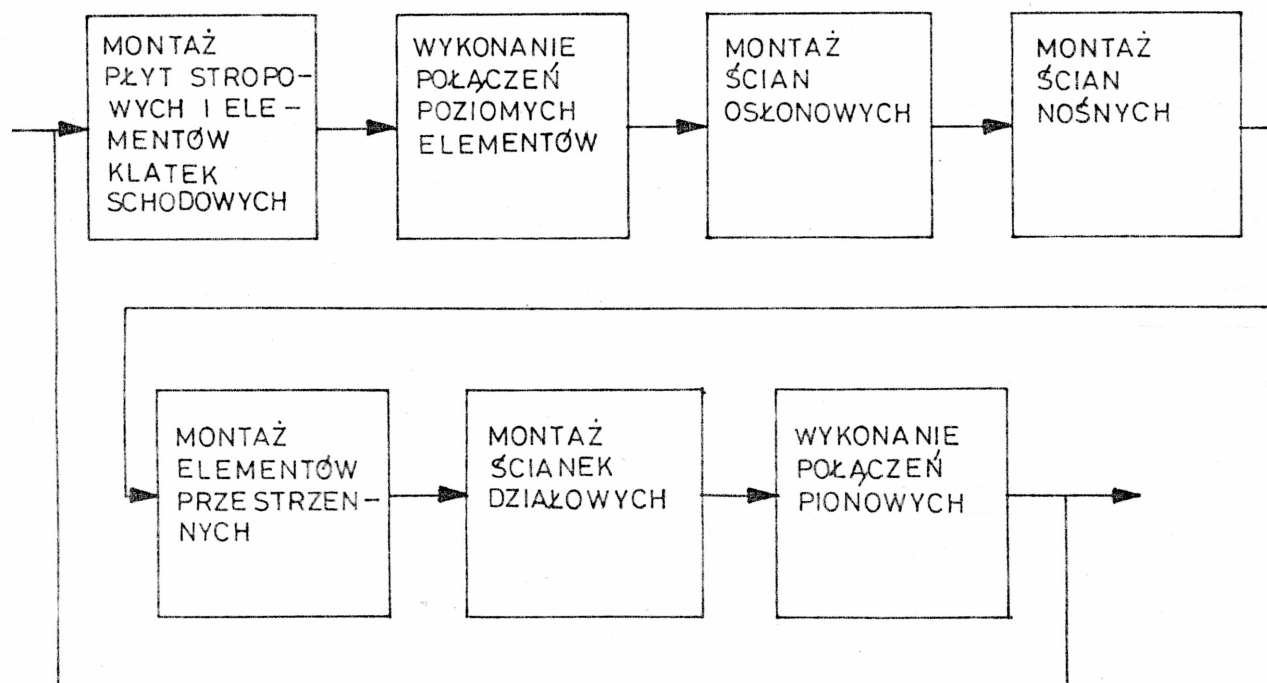
Czynności zawieszania elementu obejmują: przyłączenie zawiesia do elementu, sprawdzenie prawidłowości zawieszenia oraz próbne jego podniesienie na nieznaczną wysokość. Przemieszczanie elementu obejmuje: podniesienie elementu na wysokość montowanej kondygnacji oraz naprowadzanie na miejsce jego zamontowania. Ustawianie elementu obejmuje: osadzenie elementu w miejscu zamontowania, usztywnienie montażowe oraz odłączenie zawiesia.

Czas czynności jałowych zawarty jest między momentem odczepienia zawiesia od zamontowanego elementu, a rozpoczęciem zawieszania następnego montowanego elementu.

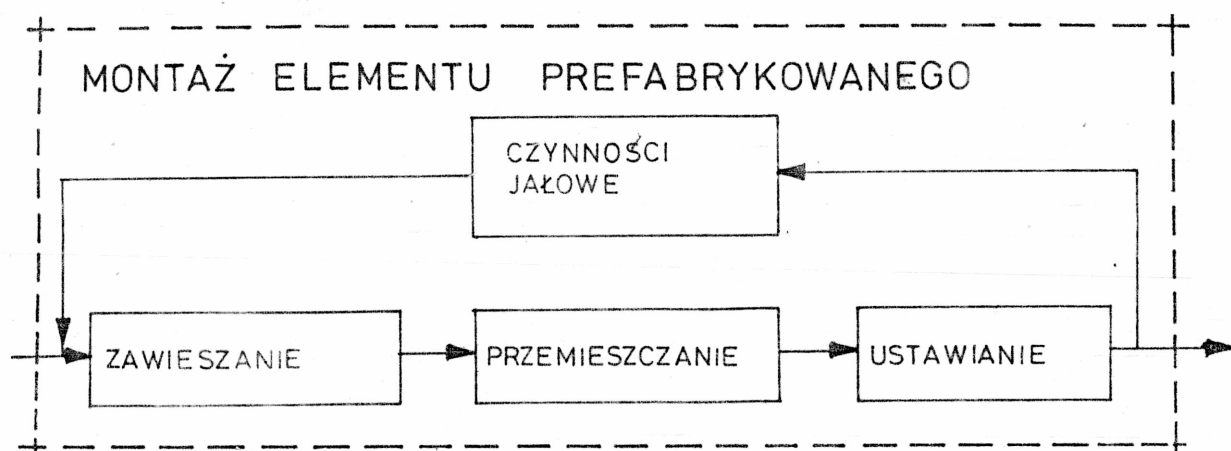
Realizacja połączeń wymaga zazbrojenia połączenia oraz wypełnienia go mieszanką betonową. Pionowe i poziome złącza elementów zewnętrznych wymagają dodatkowo wykonania izolacji termicznej. W złączach pionowych izolację tę zakłada się przed montażem ścian wewnętrznych.

Montaż budynków o prostym rzucie odbywa się najczęściej jednostronnie, przy użyciu jednego żurawia, natomiast budynki o rozbudowanym rzucie montowane są dwustronnie, przy użyciu dwóch żurawi. Każdy żuraw obsługuje określoną ilość działek roboczych, z tym, że oprócz prac związanych bezpośrednio z montażem elementów, wykonuje on również inne czynności uzupełniające montaż. Do czynności tych należy między innymi transport mieszanki betonowej i innych materiałów niezbędnych do wykonania połączeń między montowanymi elementami oraz rozładunek elementów, które nie są transportowane w kontenerach.

Strukturę procesu montażu przedstawiono na rysunku 2.3 i 2.4. Rysunek 2.3 przedstawia kolejność faz montażu, natomiast rysunek 2.4 przedstawia strukturę czynności wykonywanych w ramach cyklu montażu pojedynczego elementu.



Rys. 2.3. Struktura procesu montażu /kolejność faz/



Rys. 2.4. Struktura czynności w cyklu montażu elementu

2.3. Założenia i ograniczenia dotyczące przedmiotu badań

Proces produkcji elementów prefabrykowanych

Podstawowe znaczenie dla sprawnego przebiegu procesu transportu i montażu ma ilość elementów prefabrykowanych, wyprodukowanych w ciągu zmiany roboczej. Jest ona wynikiem praktycznej wydajności zmianowej poszczególnych linii. Wydajność ta, według [16,46], zależy między innymi od wydajności podstawowych i pomocniczych urządzeń zainstalowanych na linii produkcyjnej, rzeczywistego czasu pracy tych urządzeń w trakcie zmiany roboczej oraz ich niezawodności, stanu zatrudnienia i absencji pracowników, zakłóceń w zaopatrzeniu materiałowym, programu produkcji, jakości przedmiotu produkcji, a także aktualnego zapotrzebowania na produkowane elementy. Analizowanie zdolności produkcyjnej zakładów prefabrykacji było i jest przedmiotem zainteresowania wielu autorów [5,10,103]. Zagadnienie to stanowi jednak odrębny problem badawczy i w niniejszej pracy, ze względu na zakres poruszanego problemu, nie było analizowane.

W pracy ograniczono się do badania końcowego efektu procesu produkcji wytwórni prefabrykatów, jakim jest ilość wyprodukowanych elementów prefabrykowanych.

Proces transportu

Terminowość i rytmiczność dostaw elementów prefabrykowanych na budowę jest warunkiem sprawnego funkcjonowania procesu montażu. Nierytmiczność dostaw powoduje przestoje w montażu, z powodu braku elementów, lub tworzenie się kolejek jednostek transportowych, oczekujących na załadunek lub rozładunek. Przestoje jednostek transportowych, wywołane pracami załadowniczymi i wyładowniczymi, wydłużają i podrażają cykl transportowy*. Wielu autorów jest zgodnych co do tego, że najbardziej racjonalną formą transportu elementów przeznaczonych dla budownictwa mieszkaniowego jest transport kontenerowy [79,106,110]. Do najważniejszych zalet tej formy transportu zalicza się:

- eliminowanie długich przestojów środków transportowych podczas załadunku i rozładunku,
- eliminowanie na budowie pracy żurawia przy rozładunku elementów,
- zmniejszenie powierzchni przy obiektowych placów składowych
- ograniczenie możliwości uszkodzenia elementów wskutek wielokrotnego ich przestawiania,
- zmniejszenie kosztów transportu,
- stworzenie właściwych warunków do szybkiego montażu budynków.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia, badania dotyczące procesu transportu elementów prefabrykowanych ograniczono w pracy do transportu kontenerowego.

*/ Według [79], 40 % ogólnego czasu pracy jednostek transportowych zajmują czynności związane z ich załadunkiem i rozładunkiem.

Kompletacja elementów

Kompletacja elementów w magazynie wyrobów gotowych powinna odbywać się z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym, eliminującym oczekiwanie jednostek transportowych na załadunek kontenerów. W związku z tym w badanym procesie nie analizowano procesu załadunku kontenerów.

W pracy przyjęto założenie, że w momencie przyjazdu jednostki transportowej potrzebne elementy są w kontenerze skompletowane.

Montaż budynków

W zależności od wielkości i kształtu rzutu poziomego budynku jego montaż może odbywać się przy użyciu jednego lub dwóch żurawi. Każdy żuraw obsługuje określoną ilość działek montażowych, dla których zorganizowane są odrębne stanowiska kontenerowe.

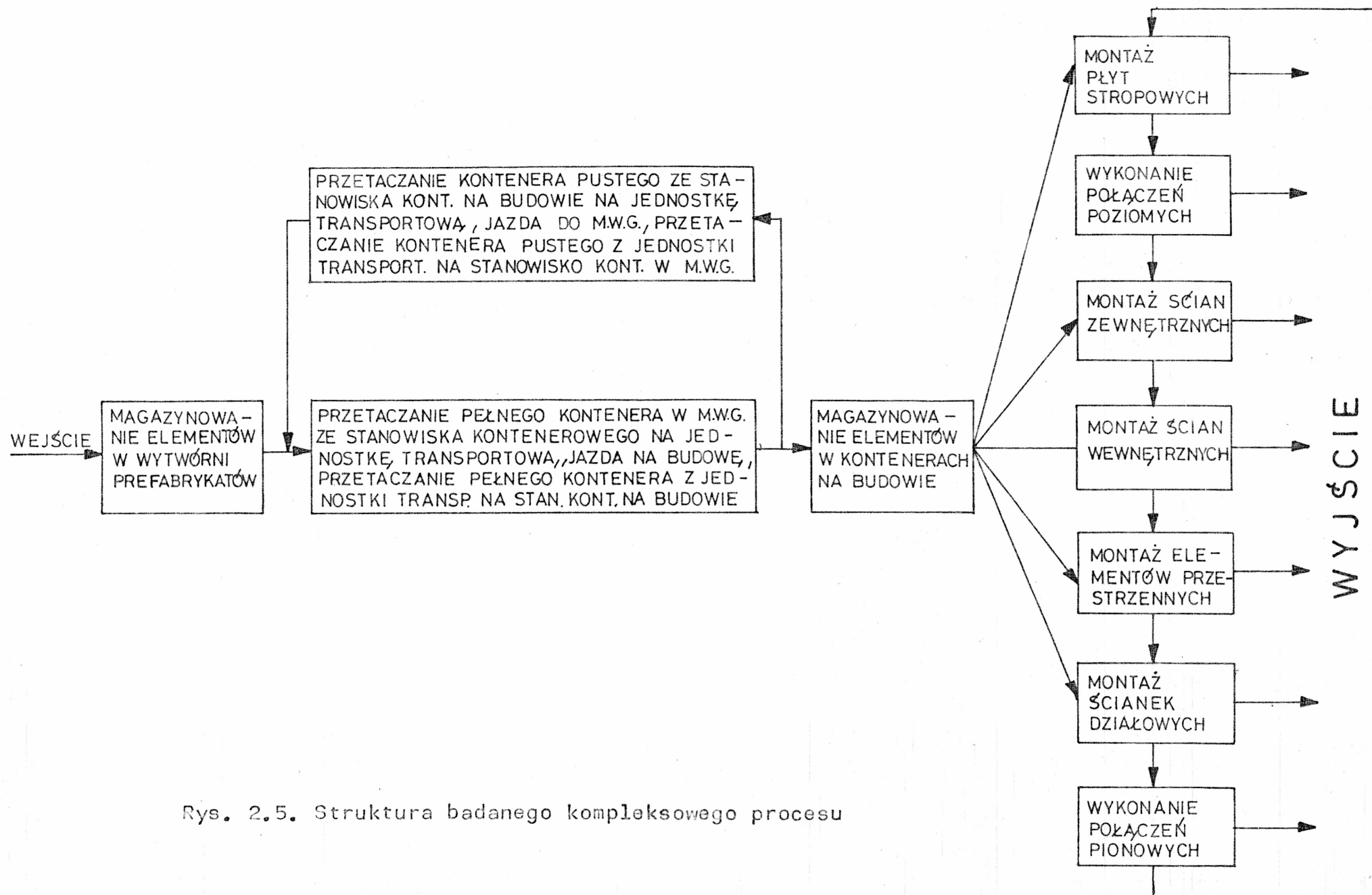
W dalszych rozważaniach przyjęto, że jeden montowany budynek odpowiada ilości działek montażowych, obsługiwanych przez jeden żuraw.

2.4. Przyjęta struktura kompleksowego procesu

Strukturę badanego kompleksowego procesu, uwzględniającą założenia i ograniczenie przyjęte w punkcie 2.3 niniejszej pracy, przedstawiono na rysunku 2.5.

Określenie, przy przyjętych założeniach i ograniczeniach, warunków harmonijnego przebiegu badanego procesu sprowadza się do rozwiązania następującego zadania.

Istnieje wytwórnia prefabrykatów produkująca „N” różnych typów elementów technologicznie podobnych. Należy zrealizować zbiór „B” budynków mieszkalnych, który to zbiór można przedstawić w następującej formie:



Rys. 2.5. Struktura badanego kompleksowego procesu

$$B = \{ B_j : j = 1, \dots, M \}$$

Każdy budynek B_j charakteryzują następujące elementy:

- W_j - wielkość określona ilością segmentów i kondygnacji,
- S_j - struktura określona udziałem elementów poszczególnych typów i ich wzajemną konfiguracją,
- L_j - lokalizacja względem wytwórni prefabrykatów,
- T_j - termin rozpoczęcia montażu.

Uwzględniając wielkość i strukturę realizowanego budynku, należy stwierdzić, że budynek B_j jest zbiorem E_{ij} elementów różnych typów

$$B_j = \{ E_{ij} : i = 1, \dots, N \}, j = 1, \dots, M.$$

gdzie E_{ij} oznacza zbiór elementów typu "i" w budynku B_j .
Zbiory elementów "i" w różnych budynkach "j" mogą być różne, czyli

$$E_{ij} \neq E_{ij'}, \text{ dla } j \neq j'$$

Uwzględniając stochastyczny charakter procesów występujących w trakcie realizacji zbioru B budynków, należy określić następujące zmienne:

- IT - ilość jednostek transportowych obsługujących montowane budynki,
- $SK_j, j=1, \dots, M$ - ilość stanowisk kontenerowych obok każdego montowanego budynku B_j ,
- warunki pracy wytwórni prefabrykatów, aby realizowany proces przebiegał bez zakłóceń, przy maksymalnym wykorzystaniu środków technicznych.

3. IDENTYFIKACJA PROCESU PRODUKCJI TRANSPORTU I MONTAŻU ELEMENTÓW PREFABRYKOWANYCH JAKO SYSTEMU MASOWEJ OBSŁUGI

Proces produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych odwzorować można systemem masowej obsługi*.

System masowej obsługi charakteryzują następujące elementy:

- struktura systemu,
- strumienie zgłoszeń, będące statystycznym opisem procesu przebywania zgłoszeń,
- procesy obsługi, będące statystycznym opisem procesu obsługi,
- regulamin kolejek.

3.1. Charakterystyka systemu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych

3.1.1. Struktura systemu

W świetle teorii masowej obsługi analizowany system jest systemem dwufazowym, wielokanałowym. Fazę pierwszą stanowi proces transportu, natomiast fazę drugą stanowi proces montażu. Aparatami obsługi w fazie pierwszej są jednostki transportowe, natomiast w fazie drugiej żurawie wraz z brygadami montażowymi. Ilość aparatów obsługi w fazie pierwszej zależy od ilości zatrudnionych jednostek transportowych, natomiast w fazie drugiej od ilości montowanych budynków. W każdej fazie mogą tworzyć się kolejki zgłoszeń oczekujących na obsługę. W fazie pierwszej występuje kilka równoległych kolejek zgłoszeń i każda z nich jest wspólna dla wszystkich aparatów obsługi, natomiast w fazie drugiej, przed każdym aparatem obsługi

*/ Pojęcia i definicje występujące w teorii masowej obsługi znaleźć można między innymi w pracach [6,13,14,19,33,74,111,114].

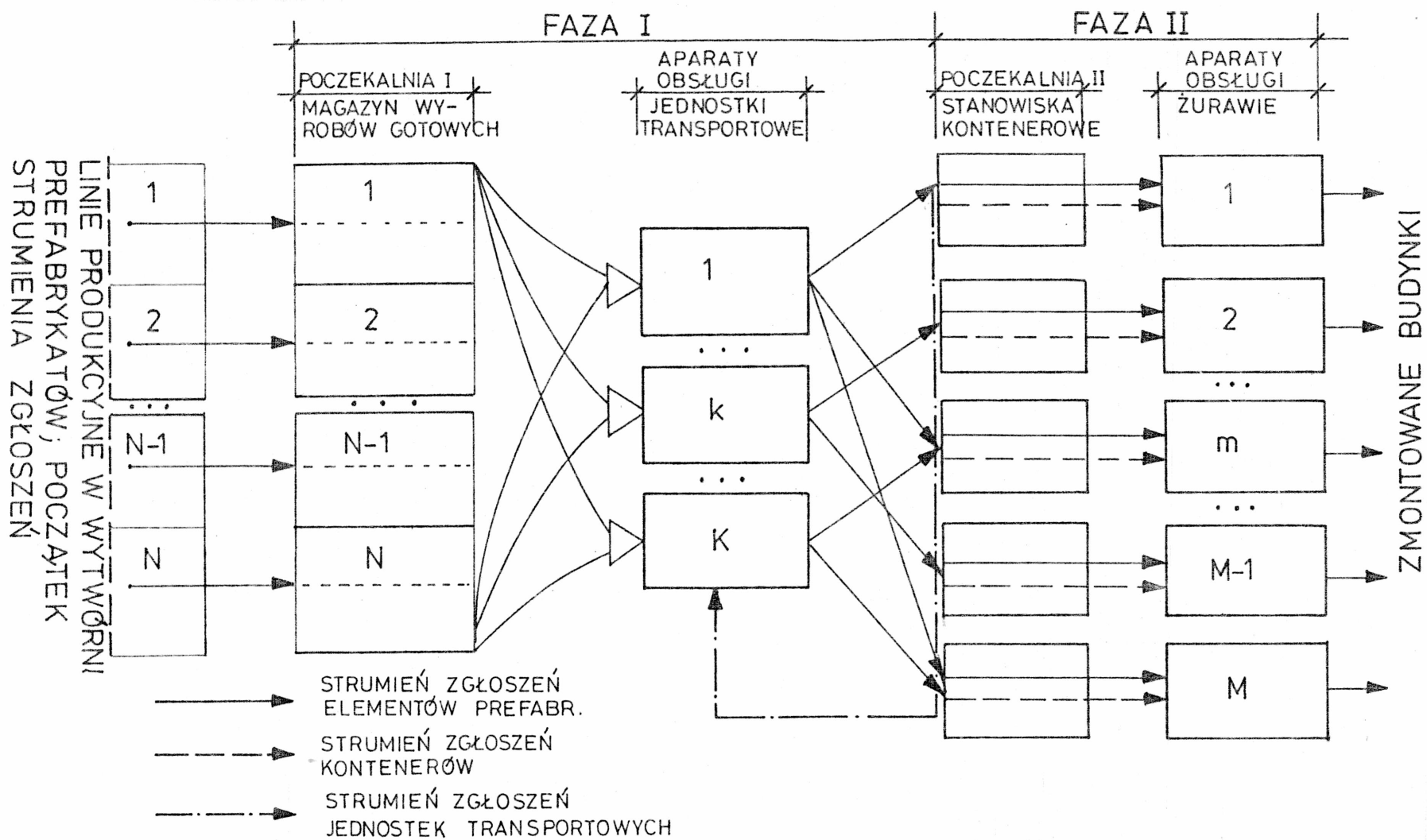
tworzą się oddzielne kolejki zgłoszeń. Długość kolejek zarówno w fazie pierwszej, jak i drugiej ograniczona jest pojemnością poczekalni, tzn. pojemnością magazynu wyrobów gotowych w wytwórni-prefabrykatów oraz ilością stanowisk kontenerowych przy montowanych budynkach. Schemat przyjętego modelu systemu masowej obsługi przedstawiono na rys. 3.1.

3.1.2. Strumienie zgłoszeń

W analizowanym systemie wyróżnić można kilka strumieni zgłoszeń. Obok podstawowych strumieni zgłoszeń tworzonych przez poszczególne typy elementów prefabrykowanych występują strumienie zgłoszeń tworzone przez kontenery. W trakcie prowadzenia badań w wytwórni prefabrykatów stwierdzono stałą obecność kontenerów w magazynie wyrobów gotowych i nie zauważono ich wpływu na sprawność przebiegu analizowanego procesu. Dlatego też w pierwszej fazie procesu, tzn. fazie transportu nie uwzględniono obecności zgłoszeń w postaci kontenerów. Zgłoszenia te uwzględniono natomiast w drugiej fazie procesu, tzn. fazie montażu, w której obecność elementów prefabrykowanych jest ściśle związana z obecnością kontenerów.

W pierwszej fazie procesu występują strumienie zgłoszeń, tworzone przez napływające do magazynu wyrobów gotowych wyprodukowane elementy prefabrykowane.

Ilość tych strumieni uzależniona jest od liczby typów elementów technologicznie podobnych, występujących w analizowanym systemie konstrukcyjno-montażowym. Na podstawie badań pilotażowych przyjęto, że momentem pojawienia się zgłoszenia w systemie jest moment rozformowania elementu prefabrykowanego. Kolejne rozformowania występują w dyskretnych momentach czasowych. Czas, jaki upływa między tymi rozformowaniami, zależy od wielu czynników losowych i dlatego opisać go można zmienną losową.



Rys. 3.1. Schemat przyjętego modelu systemu masowej obsługi

Na podstawie obserwacji kolejnych zmian roboczych na różnych liniach produkcyjnych stwierdzono, że zmienna intensywność rozformowań elementów, w czasie trwania zmiany roboczej, jest wynikiem przyjętej metody ich produkcji. I tak, na przykład dla elementów produkowanych metodą przedmiotowo-potokową, z obróbką termiczną w tunelu naporzalniczym* lub produkowanych w formie bateryjnej o ruchu ciągłym** można przyjąć, że intensywność rozformowań elementów jest stała w czasie trwania zmiany roboczej.

Natomiast intensywność rozformowań elementów produkowanych metodą przedmiotowo-stacjonarną lub przedmiotowo-potokową, z naporzaniem w komorach lub stosach naporzalniczych*** jest zmienna w czasie trwania zmiany roboczej, tzn. duża po rozpoczęciu zmiany, natomiast mała po przerwie śniadaniowej.

W zależności od przyjętej metody produkcji elementów prefabrykowanych ciąg zmiennych losowych, określonych jako czas upływający między rozformowaniami kolejnych elementów, może tworzyć proces stacjonarny lub niestacjonarny. Konieczność dłuższego składowania elementów prefabrykowanych w magazynie wyrobów gotowych**** pozwala na przyjęcie uproszczenia dotyczącego stopnia odwzorowania charakteru napływania zgłoszeń do badanego systemu. Uproszczenie to polega na odwzorowaniu procesów niestacjonarnych procesami stacjonarnymi, zachowującymi końcowe efekty zaobserwowanych procesów rzeczywistych.

Jeżeli w analizowanym systemie konstrukcyjno-montażowym występuje N typów elementów technologicznie podobnych, to w badanym systemie masowej obsługi wystąpi N strumieni zgłoszeń. Jeżeli oznaczmy:

*/ np. linie potokowe w wytwórni prefabrykatów produkującej elementy dla systemu W_k-70 ,

**/ np. produkcja ścian wewnętrznych nośnych lub płyt stropowych, w wytwórni prefabrykatów produkującej elementy dla systemu WWP we Wrocławiu przy ul. Białowieskiej.

***/ np. linie produkcyjne w wytwórni prefabrykatów produkującej elementy dla systemu W-70 we Wrocławiu,

****/ wyprodukowany element prefabrykowany powinien być składowany w magazynie wyrobów gotowych do czasu osiągnięcia wytrzymałości transportowej.

$I = \{I_i : i = 1, \dots, N\}$ zbiór typów elementów technologicznie podobnych,

$P = \{p_i : i = 1, \dots, N\}$ zbiór funkcji gęstości rozkładów odstępów czasu między kolejnymi rozformowaniami elementów danego typu,

to strumieniowi zgłoszeń tworzonemu przez elementy typu I_i odpowiada rozkład zmiennej losowej opisanej funkcją gęstości p_i ,

$$I_i \longrightarrow p_i$$

Dwoisty charakter posiadają występujące w systemie jednostki transportowe. Z jednej strony stanowią one aparaty obsługi fazy pierwszej, tzn. fazy transportu, z drugiej strony zachowują się jak zgłoszenia wymagające obsługi i charakteryzujące się cyklicznym obiegiem. Po przybyciu do magazynu wyrobów gotowych tworzą kolejkę, oczekując na załadunek i transport.

W fazie drugiej, tzn. fazie montażu przed każdym aparatem obsługi powstają dwa strumienie zgłoszeń. Pierwszy strumień zgłoszeń tworzą przywiezione na plac budowy elementy prefabrykowane, drugi strumień zgłoszeń tworzą przywiezione kontenery. Zgłoszenia w postaci elementów prefabrykowanych napływają do obsługi grupowo, a proces ten sterowany jest postępem robót montażowych. Zgłoszenia w postaci kontenerów napływają do obsługi pojedynczo, a charakter tego procesu jest identyczny z charakterem przybywania elementów prefabrykowanych, a więc jest również sterowany postępem robót montażowych.

3.1.3. Proces obsługi

Na podstawie [82,105] oraz badań własnych stwierdzono, że czasy obsługi w fazie transportu jak i montażu można opisać zmiennymi losowymi tworzącymi proces stacjonarny. Zgodnie z

założeniami zawartymi w punkcie 2.4 niniejszej pracy montowane budynki mogą być różnie zlokalizowane względem wytwórni prefabrykatów. W związku z tym czasy jazdy jednostek transportowych z magazynu wyrobów gotowych na poszczególne realizowane budowy będą opisane różnymi rozkładami statystycznymi. Określone rozkłady czasu obsługi przypisywane są poszczególnym aparatom obsługi /jednostkom transportowym/ w zależności od numeru budowy, dla której zamówienie jest realizowane.

Jeżeli przez $A = \{a_k : k = 1, \dots, K\}$ oznaczmy zbiór jednostek transportowych obsługujących zbiór $B = \{B_j : j=1, \dots, M\}$ realizowanych budynków, to każdej jednostce transportowej a_k należącej do zbioru A możemy przyporządkować pewien podzbiór B_L budynków zbioru B , z których zamówienie ta jednostka realizuje

$$a_k \longrightarrow B_L \subset B$$

$$B_L = \{B_j \in B; j \in L \subset \{1, \dots, M\}\}$$

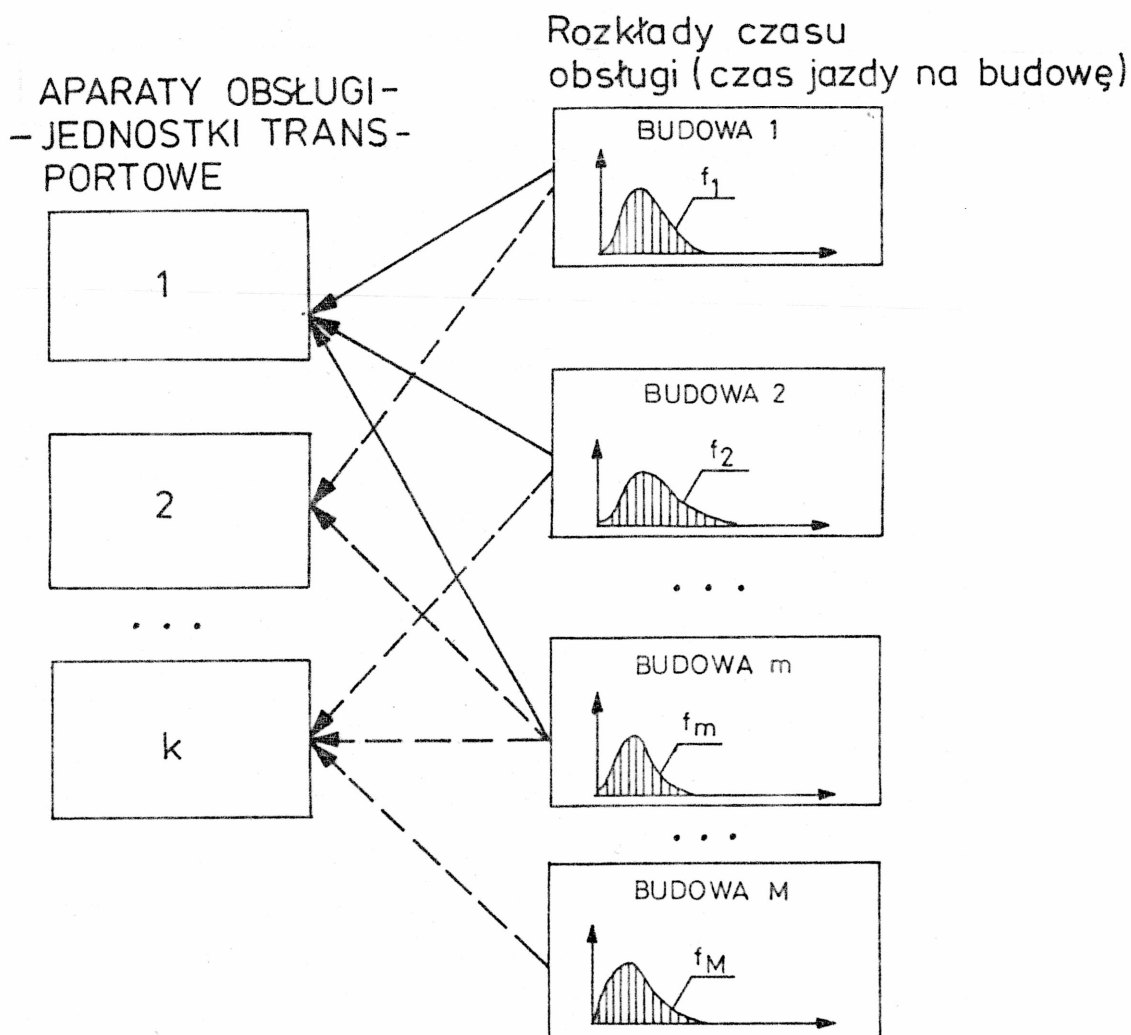
Analogicznie, oznaczając przez $F = \{f_j : j = 1, \dots, M\}$ zbiór wszystkich funkcji gęstości f_j rozkładów czasu jazdy jednostek transportowych na budowy B_j , to każdej jednostce transportowej a_k możemy przyporządkować pewien podzbiór F_L zbioru F

$$a_k \longrightarrow F_L \subset F$$

$$F_L = \{f_j \in F; j \in L \subset \{1, \dots, M\}\}$$

Na rysunku 3.2 przedstawiono schematycznie sposób przyporządkowania aparatom obsługi w fazie transportu określonych rozkładów czasu obsługi.

Obsługa zgłoszeń w fazie transportu odbywa się grupowo, co oznacza, że ilość jednocześnie obsługiwanych zgłoszeń równa jest liczbie jednocześnie transportowanych elementów. Ponieważ jednostki transportowe pracują w obiegu zamkniętym, rozpocze-



Rys. 3.2. Przyporządkowanie aparatom obsługi w fazie transportu określonego rozkładu czasu obsługi

cie ponownego procesu obsługi przez daną jednostkę może nastąpić w momencie jej powrotu do magazynu wyrobów gotowych.

W drugiej fazie procesu, tzn. fazie montażu, występuje kilka typów rozkładów czasów obsługi zgłoszeń /elementów prefabrykowanych/. Ilość ich zależy od liczby typów elementów technologicznie podobnych występujących w danym systemie konstrukcyjno-montażowym. Innym rozkładem opisany będzie czas montażu płyt stropowych, a innym czas montażu elementów ścian zewnętrznych. Jednemu aparatowi obsługi przypisane są wszystkie rozkłady czasów obsługi występujące w tej fazie. Zmiana roz-

kładu czasu obsługi następuje w momencie zmiany typu montowanego elementu.

Jeżeli przez $Z = \{Z_j : j = 1, \dots, M\}$ oznaczmy zbiór żurawi /aparatów obsługi w fazie montażu/ obsługujących zbiór B budynków, natomiast przez $G = \{g_i : i = 1, \dots, N\}$ zbiór funkcji gęstości g_i rozkładów czasów trwania cykli montażu poszczególnych typów elementów oraz rozkładu czasu wykonania połączeń między elementami, to każdemu żurawowi Z_j należącemu do zbioru Z należy przyporządkować ciąg rozkładów czasów trwania poszczególnych czynności.

$$Z_j \rightarrow (g_i : i = 1, \dots, N)$$

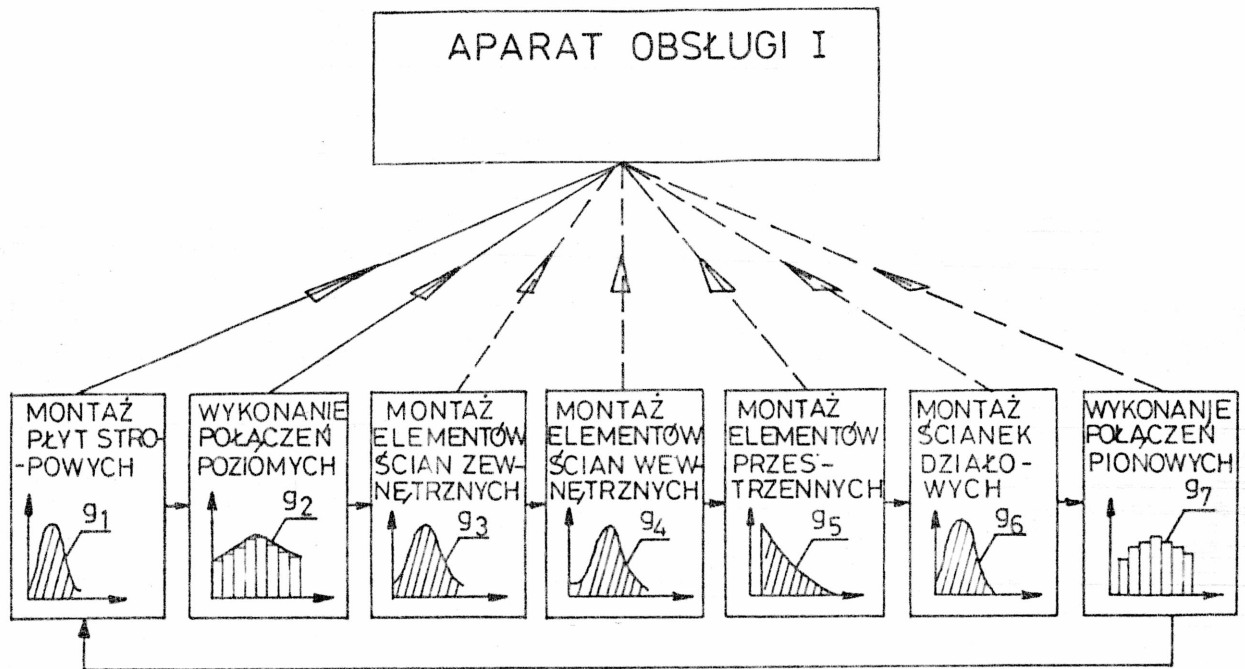
co oznacza, że po czynności opisanej rozkładem g_i , następuje czynność opisana rozkładem g_{i+1} . Na rysunku 3.3 przedstawiono w postaci schematu sposób przyporządkowania aparatom obsługi w fazie montażu, rozkładów czasów obsługi.

Czas obsługi zgłoszeń, którymi są kontenery, zależy od ilości i typu znajdujących się w nich elementów prefabrykowanych.

W fazie drugiej poszczególne aparaty obsługi mogą być włączane do obsługi w różnych momentach czasowych, uwzględniających różne terminy rozpoczęcia montażu na poszczególnych budowach.

3.1.4. Regulamin kolejek

Kolejki zgłoszeń oczekujących na obsługę w poszczególnych fazach są ograniczone pojemnością poczekalni. Zgłoszenia w fazie transportu jak i montażu przydzielane są do obsługi według priorytetu. W fazie transportu priorytet określony jest kolejnością napływania zamówień z poszczególnych budowli uwzględniających typ potrzebnych elementów. W fazie montażu priorytet określa harmonogram montażu, uwzględniający podział obiektu na działki montażowe oraz kolejność montażu poszcze-



Rys. 3.3. Przyporządkowanie aparatom obsługi w fazie montażu rozkładów czasów obsługi

gólnych typów elementów w obrębie działki. Przestrzeganie reżimów technologicznych narzuca zgłoszeniom przebywającym w poczekalni pierwszej okres karencji, w czasie którego nie podlegają one obsłudze.

Jednostki transportowe włączane są do obsługi według kolejności ich przybywania do magazynu wyrobów gotowych.

3.2. Uwzględnienie sposobu sterowania procesem transportu i montażu elementów prefabrykowanych w modelu

W analizowanym systemie zachodzą procesy sterowania*. Montaż budynków odbywa się według harmonogramów uwzględniają-

*/ W procesach produkcyjnych celem sterowania jest przydział operacji do stanowisk roboczych. Przydział ten odbywa się według ustalonych reguł priorytetowych [88]. Najczęściej są to tzw. reguły priorytetowe proste, bazujące na informacjach dotyczących czasu wykonania zadania, terminu zakończenia zadania, liczby operacji do wykonania.

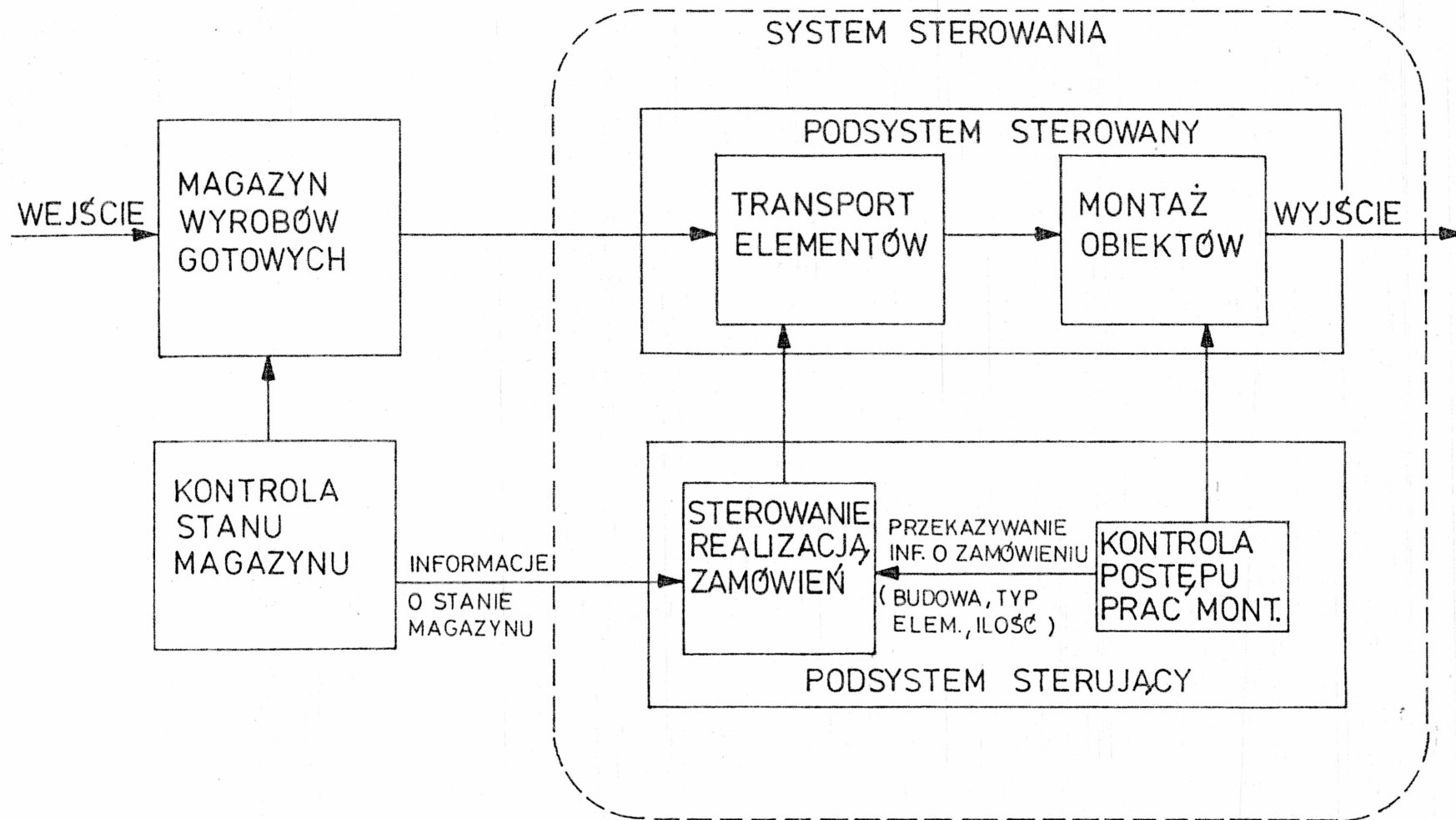
cych podział montowanego obiektu na działki montażowe oraz kolejność montażu poszczególnych typów elementów w obrębie jednej działki. Sprawna realizacja wszystkich jednocześnie montowanych budynków wymaga przestrzegania kolejności i terminów dostaw elementów prefabrykowanych. W badanym systemie sterowania podlega proces transportu i montażu elementów prefabrykowanych. Tak więc elementami podsystemu sterowanego są jednostki transportowe oraz żurawie wraz z brygadami montażowymi. Celem sterowania jest zapewnienie ciągłego frontu robót dla poszczególnych brygad montażowych poprzez realizację dostaw elementów prefabrykowanych zgodnie z kolejnością ich zamawiania. Proces sterowania polega natomiast na kontroli postępu prac montażowych, ilości wolnych stanowisk kontenerowych oraz realizacji zamówień. Dla realizacji zamówień niezbędna jest również informacja o stanie magazynu wyrobów gotowych. Schemat sposobu sterowania procesem transportu i montażu elementów prefabrykowanych w modelu przedstawiono na rysunku 3.4.

3.3. Wyszczególnienie charakterystyk badanego systemu

Przyjęto, że badany system będzie scharakteryzowany pod względem efektywności przebiegających w nim procesów, jeżeli określone zostaną dla niego wartości następujących wskaźników:

- średnie ilości elementów poszczególnych typów przebywających w magazynie wyrobów gotowych,
- maksymalne ilości elementów poszczególnych typów przebywających w magazynie wyrobów gotowych,
- średnie czasy przebywania elementów poszczególnych typów w magazynie wyrobów gotowych,
- maksymalne czasy przebywania elementów poszczególnych typów w magazynie wyrobów gotowych,
- średnia ilość jednostek transportowych, oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych,

OTOCZENIE



Rys. 3.4. Schemat sposobu sterowania procesem transportu i montażu elementów prefabrykowanych w modelu.

- maksymalna ilość jednostek transportowych oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych,
- średni czas oczekiwania jednostek transportowych w kolejce w magazynie wyrobów gotowych,
- maksymalny czas oczekiwania jednostek transportowych w kolejce w magazynie wyrobów gotowych,
- średnie ilości kontenerów oczekujących na rozładunek na poszczególnych budowach,
- maksymalne ilości kontenerów oczekujących na rozładunek na poszczególnych budowach,
- średnie czasy oczekiwania kontenerów na rozładunek na poszczególnych budowach,
- maksymalne czasy oczekiwania kontenerów na rozładunek na poszczególnych budowach,
- średnie ilości elementów poszczególnych typów przebywających w kolejkach na poszczególnych budowach,
- maksymalne ilości elementów poszczególnych typów przebywających w kolejkach na poszczególnych budowach,
- średnie czasy przebywania elementów poszczególnych typów w kolejkach na poszczególnych budowach,
- maksymalne czasy przebywania elementów poszczególnych typów na poszczególnych budowach,
- współczynniki wykorzystania żurawi,
- współczynnik wykorzystania jednostek transportowych,
- czas montażu budynku.

3.4. Przyjęta metoda analizy badanego systemu masowej obsługi

Badany system, ze względu na strukturę i charakter przebiegających w nim procesów, jest systemem skomplikowanym. Świadczą o tym następujące uwarunkowania:

- dwufazowa wielokanałowa struktura,
- występowanie kilku strumieni zgłoszeń,
- występowanie w każdej fazie obsługi kilku różnych rozkładów czasów obsługi,

- grupowa obsługa zgłoszeń w fazie transportu,
- konieczność uwzględnienia elementu sterowania procesem transportu i montażu.

Biorąc pod uwagę specyfikę badanego systemu oraz uwarunkowania narzucone przebiegającym w nim procesem technologicznym stwierdzono, że jedyną możliwą metodą jego analizy jest symulacja komputerowa. Zastosowanie tej metody pozwala na rozwiązanie skomplikowanego modelu bez konieczności wprowadzania znacznych uproszczeń dotyczących jego struktury oraz zachodzących w nim procesów. Można zatem przeprowadzić teoretyczny proces produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych uwzględniając: stochastyczny charakter procesów wejścia i obsługi w poszczególnych fazach, warunki sterowania procesem, magazynowanie elementów i wykonywanie prac towarzyszących. Prowadzona w trakcie symulacji analiza postępu robót, występujących kolejek i oczekiwań oraz wykorzystania środków technicznych pozwoli na wykrycie zakłóceń i nieprawidłowości występujących w przebiegu badanego procesu.

4. MODEL SYMULACYJNY BADANEGO SYSTEMU

4.1. Informacje wstępne

Każdy element systemu rzeczywistego scharakteryzowany jest przez określony zestaw cech, które to cechy są właściwościami stałymi lub zmiennymi. Zestaw cech wszystkich elementów systemu w danej chwili "t" opisuje wyróżniony stan systemu. Zmianę jednej lub więcej cech systemu nazywamy zdarzeniem. Ciąg zdarzeń, które mogą wystąpić w systemie, określa zachowanie się tego systemu.

Symulację systemów definiujemy jako technikę rozwiązywania problemów, polegającą na śledzeniu w czasie, zmian zachodzących w dynamicznym modelu systemu [1,14,15,72]. Proces budowy modelu symulacyjnego polega na tworzeniu nowego systemu służącego do wytwarzania zjawisk podobnych do zachodzących w systemie rzeczywistym. Elementy materii systemu, za pośrednictwem wyróżnionych cech, reprezentowane są w modelu przez elementy struktury danych, natomiast związki występujące między zmianami cech materii systemu reprezentuje struktura funkcjonalna modelu. Model symulacyjny stanowi więc opis cech odwzorowywanego systemu oraz algorytmów ich zmienności w czasie.

Poddany badaniom system produkcyjny należy do systemów dyskretnych, tzn. zmiana stanu systemu zachodzi w dyskretnych momentach czasowych. Proces symulacji dyskretniej można organizować dwiema metodami, a mianowicie: metodą stałego kroku oraz metodą kolejnych zdarzeń [37,81].

W metodzie stałego kroku czas symulacyjny powiększany jest o stały przyrost. W każdym kroku sprawdza się, czy występują zdarzenia do wykonania. Częściej stosowana jest metoda kolejnych zdarzeń. W metodzie tej kolejność zdarzeń określana jest w procesie symulacji, a czas symulacyjny ustawia się na chwilę wystąpienia najbliższego zdarzenia.

4.2. Ustalenie zbioru cech elementów systemu

Model jest subiektywną interpretacją rzeczywistości. Przenosimy do niego tylko te cechy systemu rzeczywistego, które mają istotne znaczenie dla celu, w jakim go budujemy. Uwzględniając założenia zawarte w punkcie 2.3 niniejszej pracy, wyróżniono istotne dla przebiegu modelowego procesu cechy elementów badanego systemu. Cechy te zestawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1.

Zestawienie wyróżnionych cech elementów badanego systemu

Lp.	Wyróżniony element systemu	Cechy wyróżnionego elementu
1	2	3
1	Linie produkcyjne w oddziale produkcji podstawowej	- linia produkcyjna aktywna /trwa zmiana robocza/, - linia produkcyjna nieaktywna /zmiana robocza zakończona/,
2	Magazyn wyrobów gotowych	- magazyn aktywny /trwa zmiana robocza/, - magazyn nieaktywny /zmiana robocza zakończona/, - stan zapasu elementów typu E_1, - " " " " E_2, - " " " " E_N,
3	Jednostki transportowe	- jednostka transportowa w drodze na budowę, - jednostka transportowa w drodze do magazynu, - jednostka transportowa w magazynie, - typ przewożonych elementów, - ilość przewożonych elementów,

c.d. tabeli 4.1.

1	2	3
4	Budowy	- budowa aktywna /trwa zmiana robocza/ - budowa nieaktywna /zmiana robocza zakończona,
5	Składowiska przy- obiektove	- ilość kontenerów, - typy elementów w kontenerach, - ilość elementów w kontenerach,
6	Żurawie	- żuraw aktywny - montaż elementu, transport materiałów innych, - żuraw nieaktywny - brak montażu w czasie trwania zmiany roboczej, lub zmiana robocza zakończona,

4.3. Wyszczególnienie zdarzeń wyróżnionych w modelowym systemie

Uwzględniając założenia przyjęte w punkcie 2.3 niniejszej pracy, w modelowanym systemie wyróżniono następujące zdarzenia:

- 1 - rozformowanie elementu na linii nr p,
- 2 - przyjazd jednostki transportowej do magazynu wyrobów gotowych lub wystąpienie zamówienia na elementy,
- 3 - osiągnięcie przez element prefabrykowany wytrzymałości transportowej,
- 4 - pobranie elementu przez żuraw lub rozpoczęcie wykonywania połączeń między elementami,
- 5 - przyjazd jednostki transportowej do montowanego obiektu,
- 6 - rozpoczęcie zmiany,
- 7 - zakończenie zmiany.

4.4. Struktura funkcjonalna zbudowanego modelu

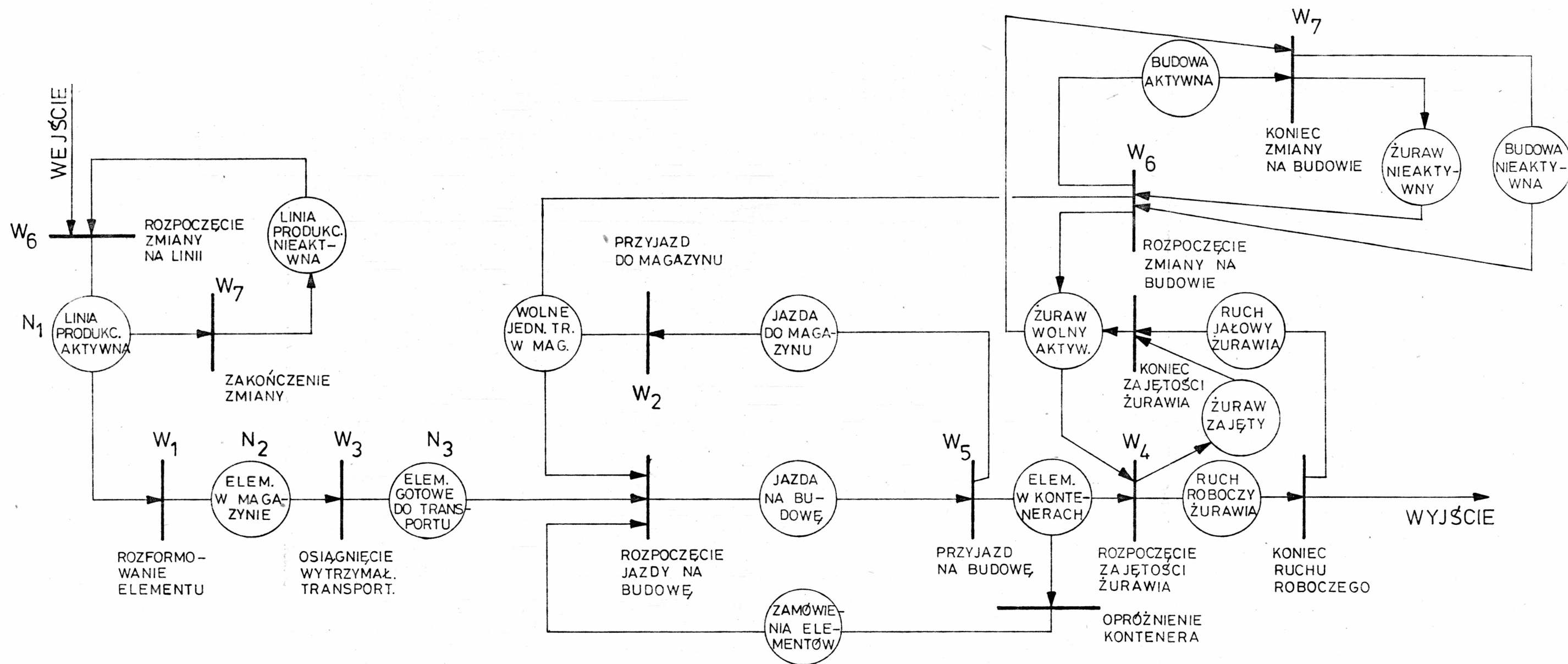
Strukturę funkcjonalną zbudowanego modelu przedstawić można w postaci sieci Petriego [91,92], którą stanowi graf skierowany. Każda z gałęzi grafu łączy węzły dwóch typów. Węzły typu "n" /oznaczone kółkiem / określają stan danego elementu systemu, natomiast węzły typu "w" /oznaczone kreską/ reprezentują warunki niezbędne do zaistnienia zdarzenia. Dynamiczne działanie systemu zilustrować można, przemieszczając z węzłów "n" poprzez węzły "w" do kolejnych węzłów "n" znaczniki w postaci kropek. Aby przejście takie było możliwe, węzeł typu "w" musi być w stanie pobudzenia. Oznacza to, że wszystkie związane z nim węzły wejściowe typu "n" zawierają znaczniki, natomiast węzły wyjściowe typu "n" ich nie zawierają. W momencie przejścia, czyli zaistnienia zdarzenia, znaczniki przemieszczane są z wszystkich węzłów wejściowych typu "n" poprzez węzeł typu "w" do wszystkich węzłów wyjściowych typu "n". Na rysunku 4.1 przedstawiono w postaci sieci Petriego ideowy schemat działania zbudowanego modelu.

I tak, analizując przedstawioną na rysunku 4.1 sieć, zauważyć można między innymi, że warunkiem zaistnienia zdarzenia "1", czyli rozformowanie elementu prefabrykowanego i jego przejście do stanu "element w magazynie", jest wystąpienie stanu "linia produkcyjna produkująca dany element jest aktywna".

Warunkiem przejścia elementu systemu o nazwie "jednostka transportowa" do stanu "jednostka transportowa w drodze na budowę" jest wystąpienie następujących stanów:

- magazyn zawiera elementy, które osiągnęły wytrzymałość transportową,
- w magazynie wyrobów gotowych znajdują się wolne jednostki transportowe,
- są zamówienia z budów na elementy.

Z kolei warunkiem przejścia elementu systemu o nazwie "żuraw" do stanu "żuraw zajęty" jest wystąpienie stanów:



Rys. 4.1. Schemat działania zbudowanego modelu systemu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych

- żuraw wolny,
- w kontenerze są elementy.

Przedstawiona sieć odwzorowuje strukturę logiczną i związki przyczynowo-skutkowe modelowego procesu. Rzeczywisty przebieg procesu związany jest z upływem czasu i naśladować go może symulator cyfrowy.

4.5. Założenia przyjęte przy budowie modelu

Przy budowie modelu symulacyjnego przyjęto następujące założenia:

- symulacja przeprowadzana będzie metodą kolejnych zdarzeń,
- zmiana stanu systemu związana jest z zaistnieniem jednego ze zdarzeń wyszczególnionych w punkcie 4.3 niniejszej pracy,
- wytwórnia prefabrykatów produkuje wszystkie elementy niezbędne do wzniesienia obiektu,
- moment rozformowania prefabrykatu traktowany jest jako moment jego wejścia do magazynu wyrobów gotowych,
- minimalny czas przebywania elementu w magazynie wyrobów gotowych zdeterminowany jest czasem osiągnięcia wytrzymałości transportowej,
- transport wszystkich elementów odbywa się w kontenerach,
- kontenery przetaczane są przy pomocy urządzeń wyposażenia środków transportowych,
- występuje zgodność struktury dostaw z kolejnością montażu,
- nie uwzględniono konieczności transportu materiałów niezbędnych do wykonania prac towarzyszących,
- istnieje rezerwowe stanowisko kontenerowe na budowie,
- transport prefabrykatów na budowę sterowany jest postępowaniem prac montażowych i towarzyszących,
- montaż elementów oraz prace towarzyszące odbywają się w kolejności zgodnej z harmonogramem danej budowy,

- jednocześnie może odbywać się montaż kilku budynków,
- wszystkie zatrudnione jednostki transportowe obsługują wszystkie budowy,
- ilości zmian pracy i czas ich trwania w wytwórni prefabrykatów i na montażu mogą być różne,
- czas pracy magazynu wyrobów gotowych równy jest czasowi pracy na montażu,
- terminy rozpoczęcia montażu poszczególnych obiektów mogą być różne.

4.6. Struktura modelu

Struktura modelu zrealizowana została w sposób modularny [72,75]. Funkcje modelu podzielone zostały na logiczne podfunkcje związane z wyróżnionymi zdarzeniami. W modelu występuje dziewięć modułów systemowych, modelujących określone funkcje systemu oraz cztery moduły pomocnicze. Szczegółowego omówienia modułów systemowych dokonano w punkcie 4.6.2, natomiast pomocniczych w punkcie 4.6.3 niniejszej pracy. Całością przebiegu symulowanego procesu steruje procesor modelu.

4.6.1. Procesor modelu

Sterowanie procesem symulacyjnym polega na cyklicznym uruchamianiu odpowiednich bloków funkcjonalnych modelu oraz algorytmu symulującego upływ czasu. Funkcje te spełnia procesor modelu.

Przeprowadza on model przez kolejne procesy, będące następstwem zaistniałych zdarzeń. Wszystkie wyróżnione w analizowanym procesie zdarzenia zapamiętywane są w "kalendarzu zdarzeń", zawierającym następujące informacje:

- przewidywany czas wystąpienia zdarzenia,
- identyfikator zdarzenia,
- identyfikator obiektu związanego z wystąpieniem zdarzenia.

Przewidywany czas wystąpienia zdarzenia wskazuje, kiedy dane zdarzenie stanie się przedmiotem przetwarzania. Każde zdarzenie inicjuje wykonanie określonych czynności z nim związanych oraz generuje nowe zdarzenia, które wpisywane są do "kalendarza zdarzeń". Po zakończeniu przetwarzania zaistniałego zdarzenia sterowanie modelu powraca do procesora. Z kalendarza zdarzeń wybierane jest kolejne zdarzenie do przetworzenia. Proces ten trwa aż do chwili zakończenia montażu na wszystkich budowach lub upłynięcia zadanego czasu symulacji. Schemat blokowy procesora modelu przedstawiono na rysunku 4.2.

4.6.2. Moduły systemowe

Moduł ZD1

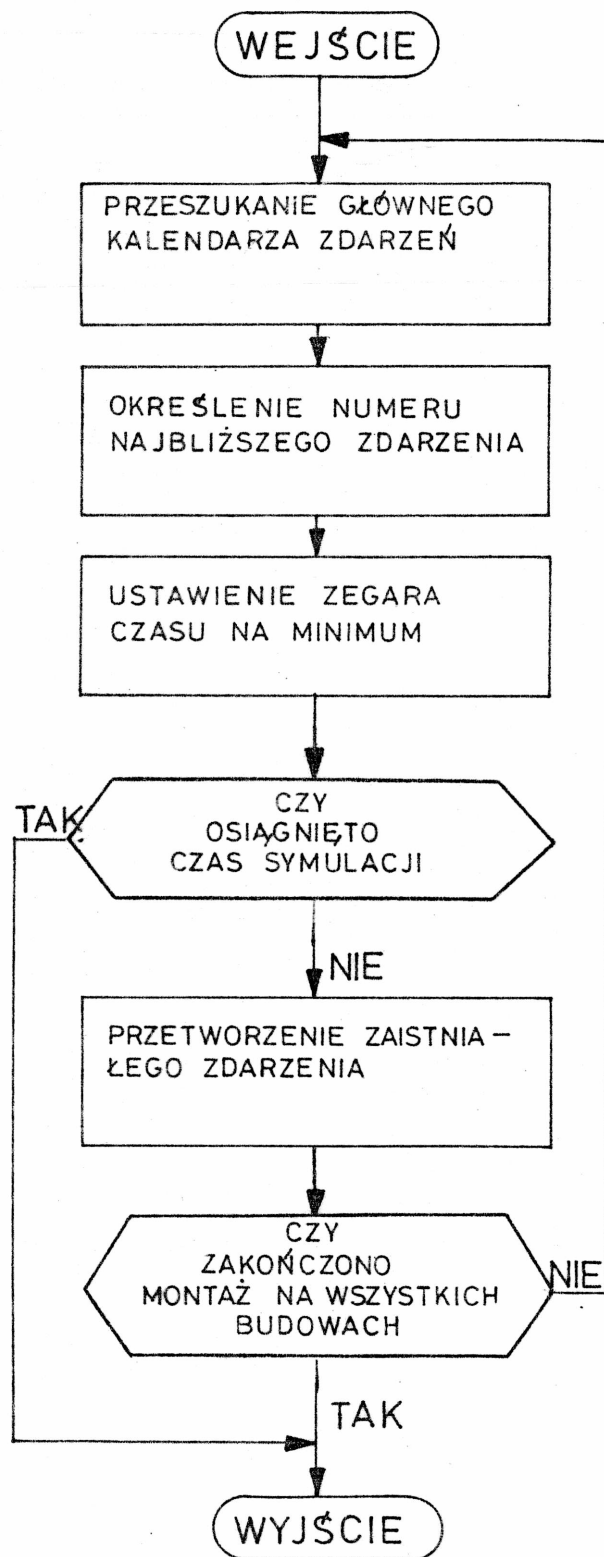
Moduł ZD1 modeluje funkcje systemu, związane z zaistnieniem zdarzenia "1"-rozformowanie elementu prefabrykowanego na linii produkcyjnej nr P. Wystąpienie tego zdarzenia inicjuje wykonanie przez moduł następujących czynności:

- określenie typu wyprodukowanego elementu,
- określenie ilości elementów danego typu, znajdujących się w magazynie wyrobów gotowych.

W przypadku przepełnienia magazynu wyrobów gotowych następuje zamknięcie linii produkcyjnej, natomiast w przypadku gdy magazyn nie jest przepełniony, wyprodukowany element wchodzi do magazynu.

Następnie określony zostaje:

- moment osiągnięcia przez wyprodukowany element wytrzymałości transportowej,



Rys. 4.2. Schemat blokowy procesora modelu

- moment wyprodukowania kolejnego elementu na danej linii produkcyjnej.

W dalszej kolejności funkcje modelu przeniesione zostają do modułu BST1, opisanego w punkcie 4.6.3 niniejszej pracy. Po zakończonej procedurze wyszukiwania najbliższego zdarzenia typu ZD1 i uaktualnieniu głównego kalendarza zdarzeń następuje aktualizacja parametrów dotyczących kolejki prefabrykatów w magazynie wyrobów gotowych. Schemat blokowy modułu ZD1 przedstawiono na rysunku 4.3.

Moduł ZD2

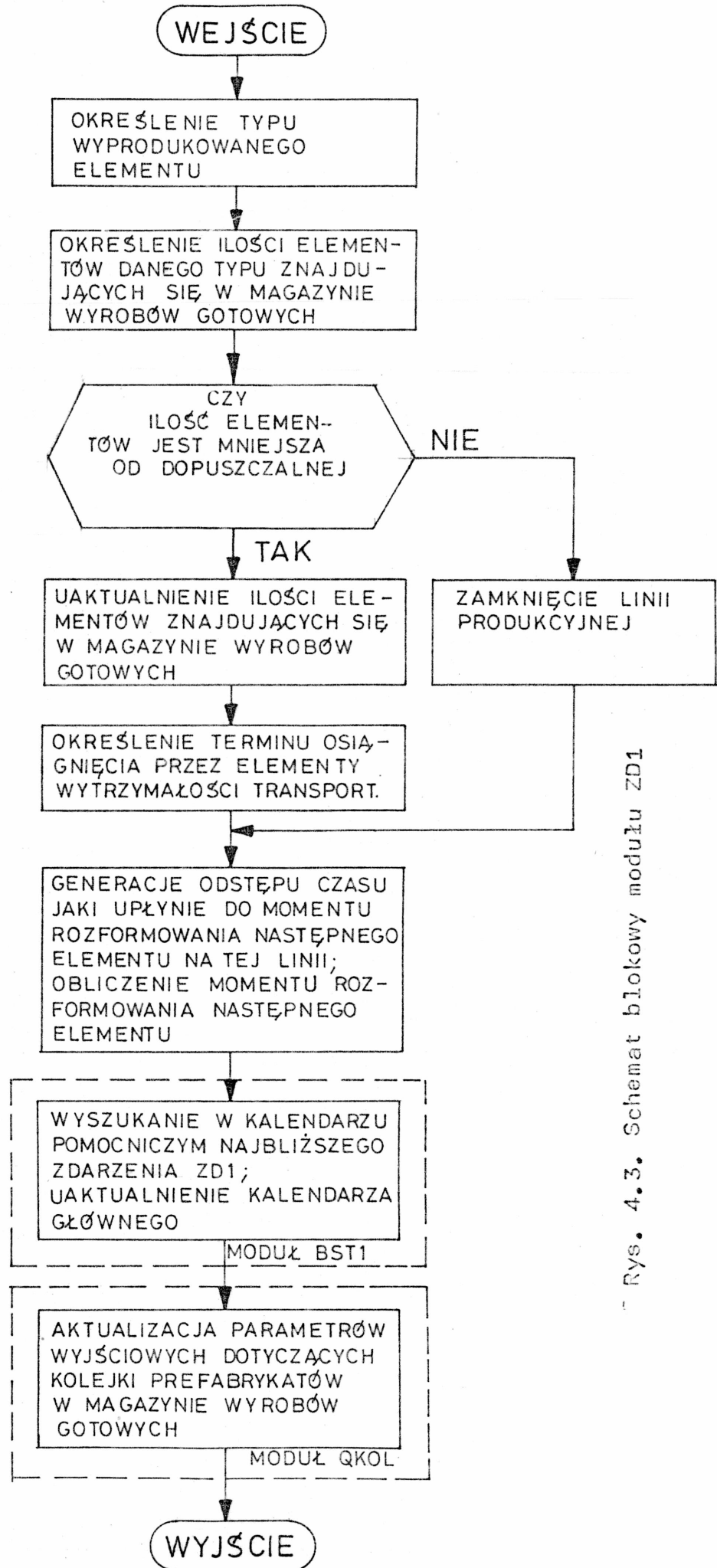
Moduł ZD2 modeluje funkcje systemu związane z:

- przyjazdem jednostki transportowej do magazynu wyrobów gotowych,
- wystąpieniem zamówienia na elementy prefabrykowane.

W przypadku przyjazdu jednostki transportowej do magazynu wyrobów gotowych model realizuje następujące funkcje systemu:

- uaktualnia ilość jednostek transportowych znajdujących się w drodze do magazynu wyrobów gotowych,
- wyszukuje w kalendarzu pomocniczym /moduł BST1/ następne najbliższe zdarzenie typu "2" i wpisuje jego identyfikatory do głównego kalendarza zdarzeń,
- wpisuje jednostkę transportową do kolejki w magazynie wyrobów gotowych.

W dalszej kolejności następuje sprawdzenie, czy są zamówienia z budów na elementy prefabrykowane. Brak zamówień oznacza, że zajęte są wszystkie stanowiska kontenerowe na budowach lub zakończono montaż wszystkich obiektów. W takiej sytuacji następuje aktualizacja parametrów wyjściowych kolejek jednostek transportowych oraz wyjście z modułu do procesora modelu.



Rys. 4.3. Schemat blokowy modułu ZD1

Wystąpienie zamówień z budów na elementy prefabrykowane inicjuje wykonanie następujących czynności:

- wybranie z listy zamówień pierwszego zamówienia,
- sprawdzenie, czy w magazynie wyrobów gotowych są zamawiane elementy.

Jeżeli brak jest odpowiedniej ilości zamawianych elementów, z listy zamówień wybierane jest następne zamówienie, a w przypadku ich braku, sterowanie modelem wraca do procesora. Gdy natomiast w magazynie wyrobów gotowych znajduje się odpowiednia ilość zamawianych elementów, dalsze funkcje modelu przejmuje moduł ZD2P.

W przypadku wywołania modułu ZD2, w związku z wystąpieniem zamówienia z budowy na elementy prefabrykowane, następuje sprawdzenie możliwości realizacji tego zamówienia. Warunkiem realizacji zamówienia jest:

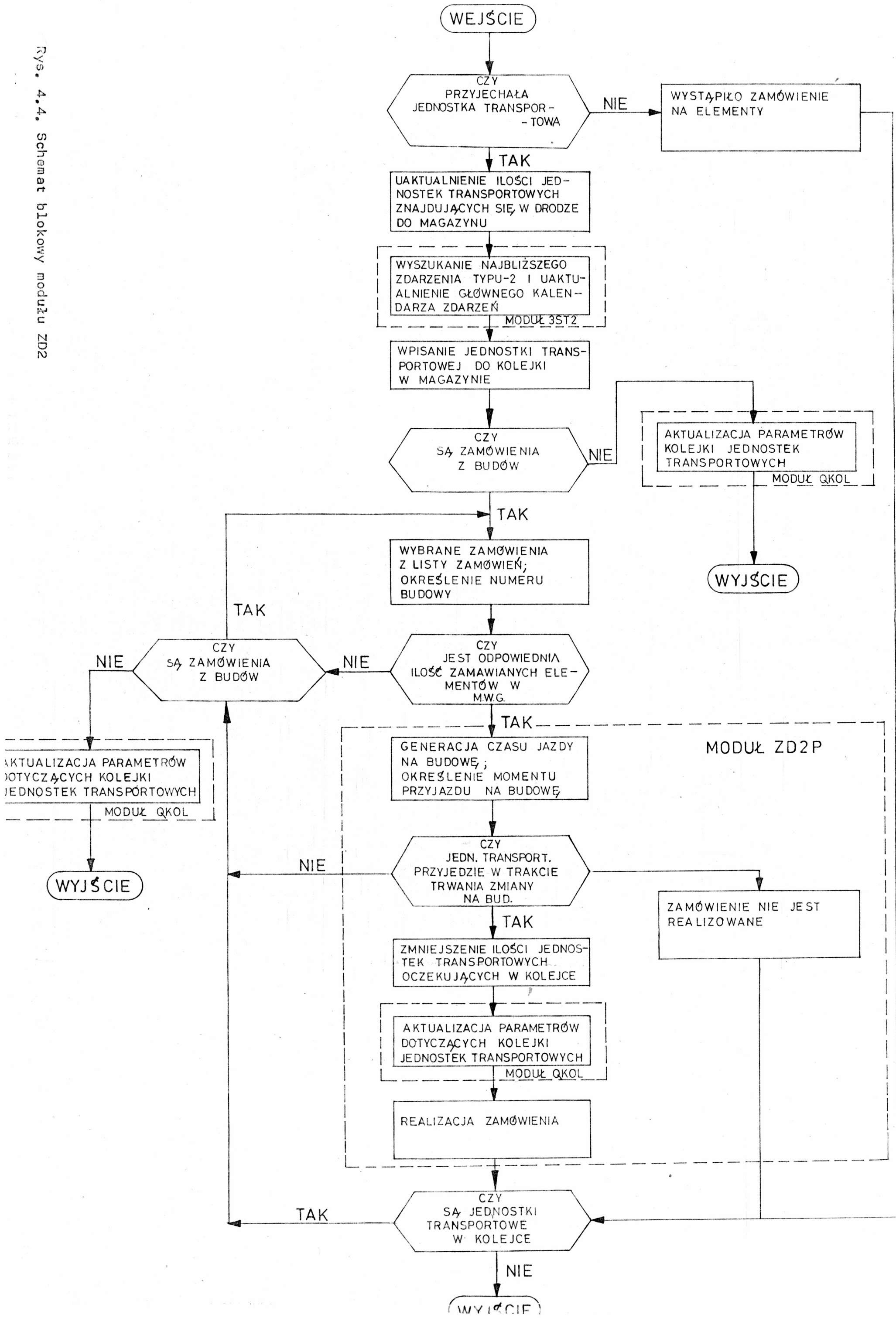
- obecność w magazynie wyrobów gotowych jednostki transportowej,
- obecność odpowiedniej ilości zamawianych elementów,
- przyjazd jednostki transportowej na budowę, z której zamówienie ma być realizowane, w trakcie trwania na niej zmiany roboczej.

Jeśli którykolwiek z wyżej wymienionych warunków nie jest spełniony, zamówienie nie może być zrealizowane i sterowanie modelem wraca do procesora. Schemat blokowy modułu ZD2 przedstawiono na rysunku 4.4.

Moduł ZD2P

Wywołanie modułu ZD2P inicjuje wykonanie następujących czynności:

- identyfikację zamówienia, tzn. określenie numeru budowy, z której napłynęło zamówienie oraz typu i ilości zamawianych elementów,



- generację czasu jazdy oraz określenie momentu przyjazdu jednostki transportowej na tę budowę, ✓
- sprawdzenie, czy jednostka transportowa przyjedzie na budowę w trakcie trwania na niej zmiany roboczej.

Jeżeli moment przyjazdu jednostki transportowej na budowę wystąpi po zakończeniu zmiany, wówczas zamówienie nie jest realizowane i następuje wyjście z modułu. Realizacja zamówienia związana jest natomiast z aktualizacją parametrów dotyczących kolejki elementów i jednostek transportowych w magazynie wyrobów gotowych oraz aktualizacją listy zamówień i głównego kalendarza zdarzeń. Po wykonaniu tych czynności następuje wyjście z modułu. Schemat blokowy modułu ZD2P przedstawiono na rysunku 4.5.

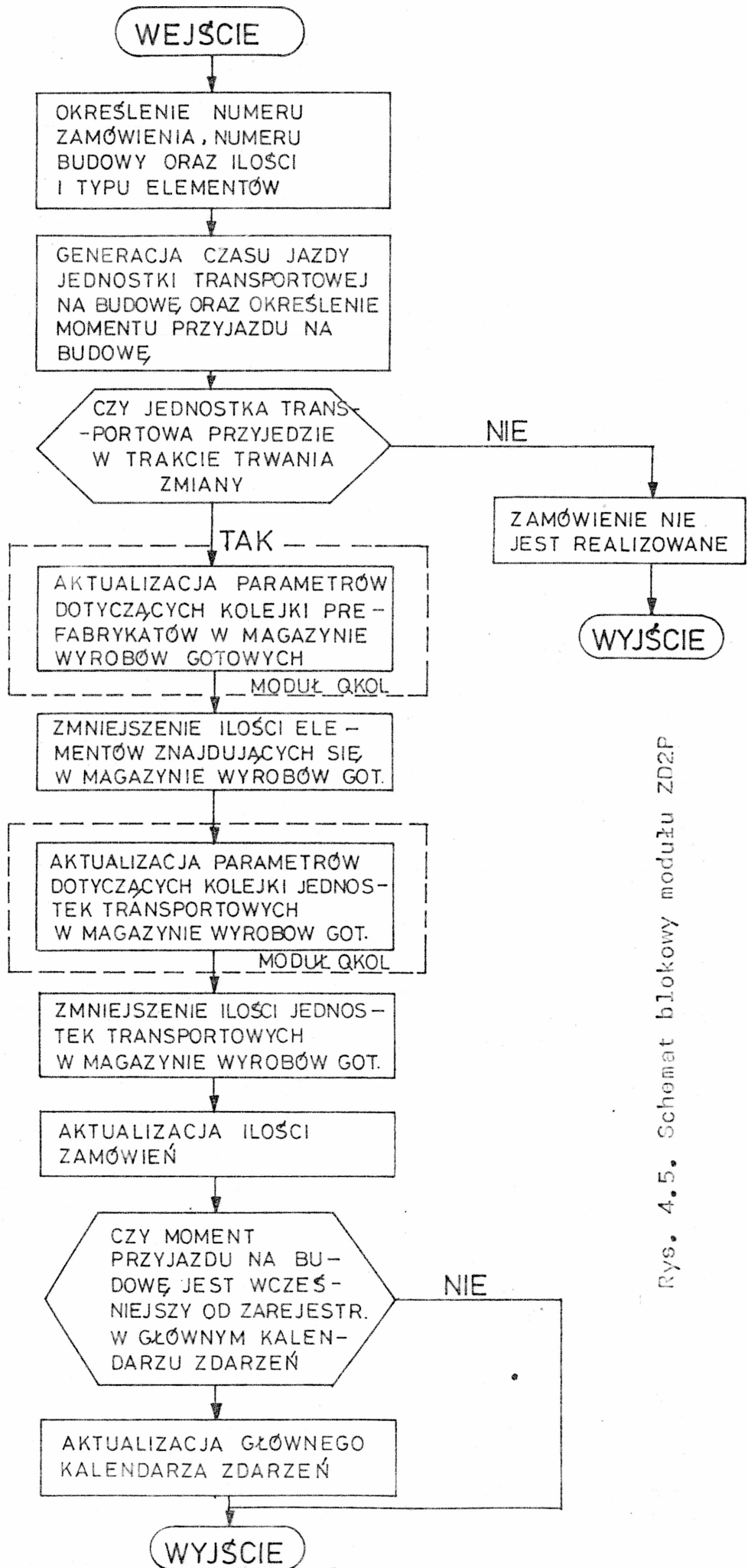
Moduł ZD3

W momencie rozformowania elementy nie posiadają wymaganej wytrzymałości umożliwiającej ich transport na budowę. Z tego względu przez pewien czas powinny one przebywać w magazynie wyrobów gotowych, gdzie prowadzone są procesy pielęgnacyjne, umożliwiające dalszy wzrost tej wytrzymałości.

Funkcje systemu związane z osiągnięciem przez element wytrzymałości transportowej modeluje moduł ZD3. W momencie zaistnienia tego zdarzenia następuje:

- identyfikacja elementu, z którym związane jest to zdarzenie,
- określenie terminu osiągnięcia przez następny wyprodukowany element wytrzymałości transportowej.
- aktualizacja głównego kalendarza zdarzeń,
- sprawdzenie czy w magazynie wyrobów gotowych znajduje się kolejka jednostek transportowych, oczekujących na załadunek.

Istnienie kolejki jednostek transportowych w magazynie wyrobów gotowych powoduje wywołanie modułu ZD3P, natomiast brak kolejki



Rys. 4.5. Schemat blokowy modułu ZD2P

powoduje powrót do procesora modelu i wybór następnego, najbliższego zdarzenia. Schemat blokowy modułu ZD3 przedstawiono na rysunku 4.6.

Moduł ZD3P

Po wywołaniu modułu ZD3P następuje sprawdzenie, czy są zamówienia z budów na elementy prefabrykowane. W przypadku ich wystąpienia następuje:

- wybranie pierwszego zamówienia z listy zamówień,
- sprawdzenie, czy jest w magazynie wyrobów gotowych odpowiednia ilość zamawianych elementów.

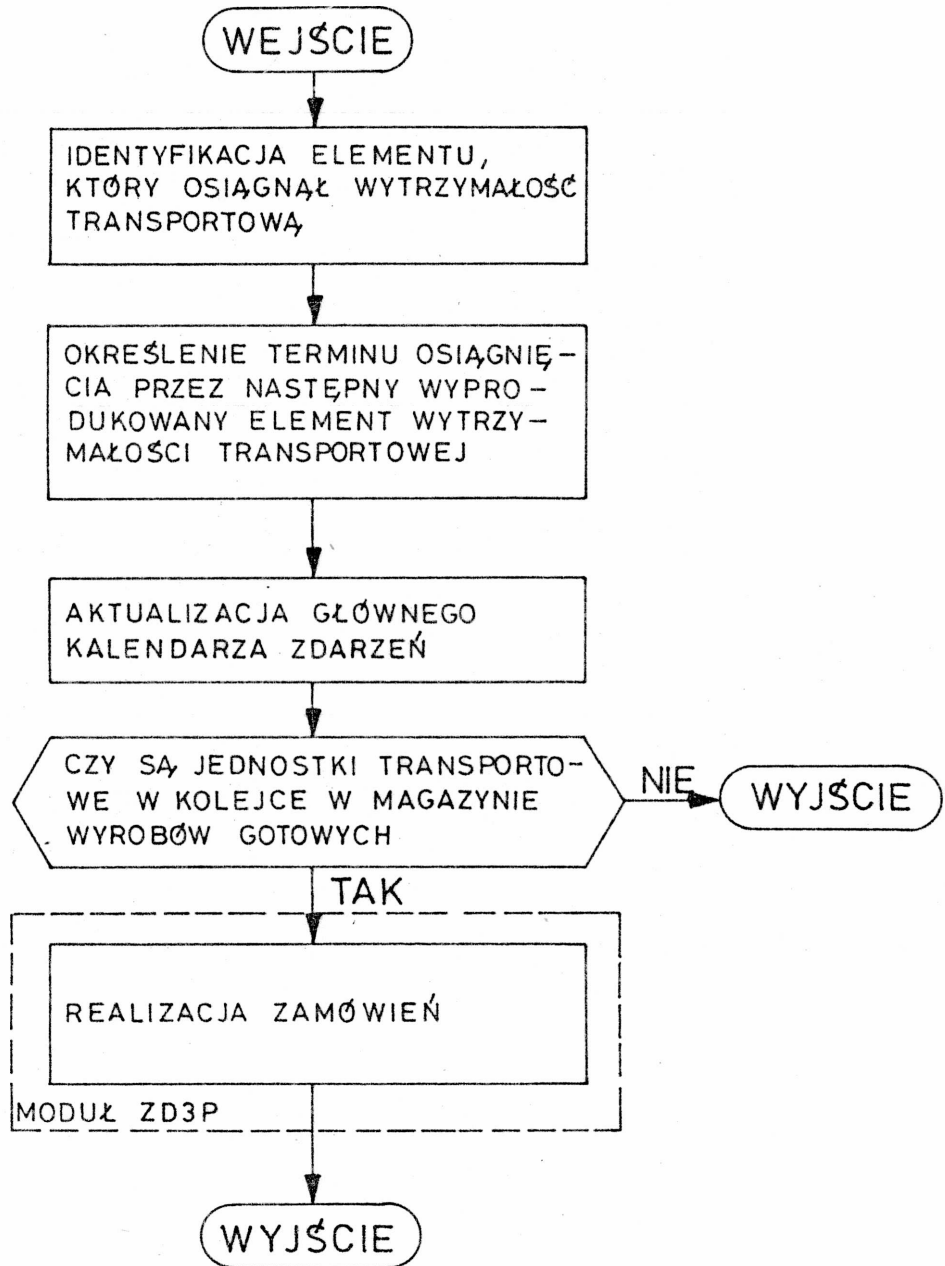
Brak odpowiedniej ilości zamawianych elementów, powoduje wybranie kolejnego zamówienia z listy zamówień. Jeżeli natomiast żądana ilość elementów znajduje się w magazynie wyrobów gotowych, dalsze funkcje modelu realizuje moduł ZD2P. Po wyjściu z modułu ZD2P następuje sprawdzenie obecności jednostek transportowych w magazynie wyrobów gotowych oraz dalszych zamówień. Schemat blokowy modułu ZD3P przedstawiono na rysunku 4.7.

Moduł ZD4

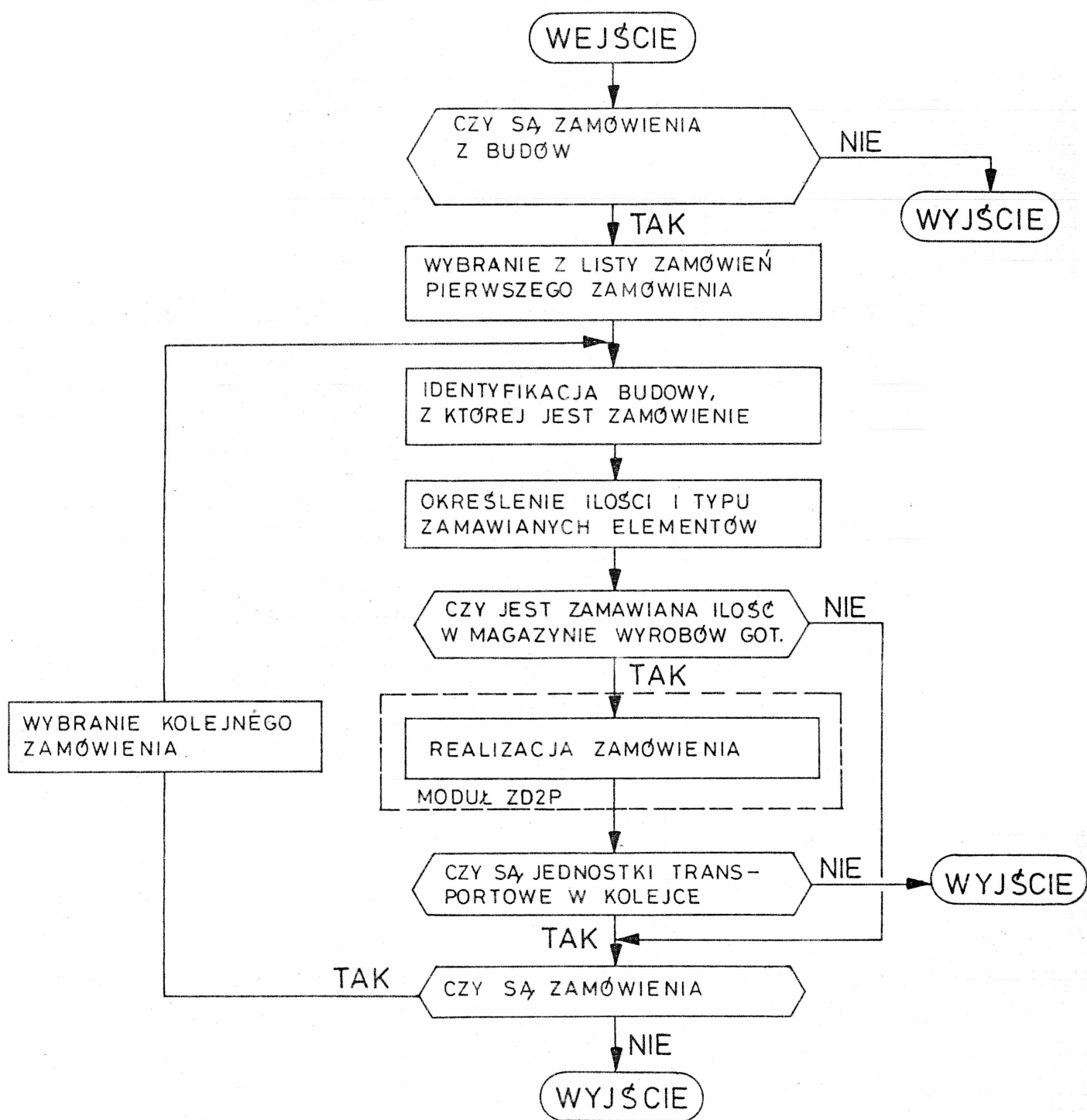
Moduł ZD4 modeluje funkcje systemu, związane z robotami montażowymi. Wywoływany jest on w dwóch przypadkach, a mianowicie:

- gdy następuje moment rozpoczęcia montażu elementu,
- gdy następuje moment rozpoczęcia wykonywania połączeń.

Wystąpienie zdarzenia "4", inicjuje wykonanie następujących czynności:



Rys. 4.6. Schemat blokowy modułu ZD3



Rys. 4.7. Schemat blokowy modułu ZD3P

- identyfikację budowy, której dotyczy to zdarzenie,
- sprawdzenie czy następuje kontynuacja wykonywania połączeń.

Przypadek ten może praktycznie wystąpić po rozpoczęciu zmiany roboczej na danym obiekcie. Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że czas wykonywania połączeń na danej działce montaowej trwa znacznie dłużej niż montaż pojedynczego elementu. Prace te rozpoczęte na danej zmianie nie zawsze są na niej zakończone i kontynuowane są na zmianie następnej. W takim przypadku funkcje systemu przejmuje moduł ZD41. Gdy wywołanie modułu ZD4 nie jest związane z kontynuacją wykonywania połączeń, następuje sprawdzenie, czy zakończono na danej budowie już wszystkie prace objęte harmonogramem montażu. Zakończenie wszystkich prac powoduje:

- ustawienie żurawia w stan nieaktywności,
- wyszukanie w kalendarzu pomocniczym najbliższego zdarzenia "4" oraz aktualizację głównego kalendarza zdarzeń,
- wyszukanie w kalendarzach pomocniczych najbliższych zdarzeń typu "6" i "7", czyli rozpoczęcia i zakończenia zmiany oraz aktualizację kalendarza głównego,
- aktualizację parametrów kolejek na budowie.

Zakończenie prac na wszystkich budowach powoduje odesłanie jednostek transportowych do bazy.

Jeżeli prace na budowie nie zostały zakończone, następuje sprawdzenie rodzaju pracy, która ma być wykonana. I tak w przypadku montażu elementu następuje sprawdzenie, czy żądany element znajduje się w kontenerze. Brak elementu powoduje:

- ustawienie żurawia w stan nieaktywności,
- wyszukanie w kalendarzu pomocniczym najbliższego zdarzenia "4" i aktualizację głównego kalendarza zdarzeń.

W przypadku gdy potrzebny element znajduje się w kontenerze, lub wywołanie modułu ZD4 związane jest z rozpoczęciem wykonywania połączeń elementów, funkcje systemu przejmuje moduł ZD41.

Po wyjściu z modułu ZD41 następuje sprawdzenie, czy w trakcie montażu elementu opróżniony został kontener. Opróżnienie kontenera powoduje sprawdzenie stanu robót montażowych na danej budowie i jeżeli zachodzi taka potrzeba, wysłanie zamówienia na elementy prefabrykowane do magazynu wyrobów gotowych. Schemat blokowy modułu ZD4 przedstawiono na rysunku 4.8.

Moduł ZD41

W module ZD41 odbywa się:

- rejestracja ilości elementów w kontenerach,
- aktualizacja kolejek kontenerów i elementów,
- generacja czasu trwania danej czynności /montażu elementu lub wykonania połączeń/,
- określenie momentu rozpoczęcia następnej czynności.

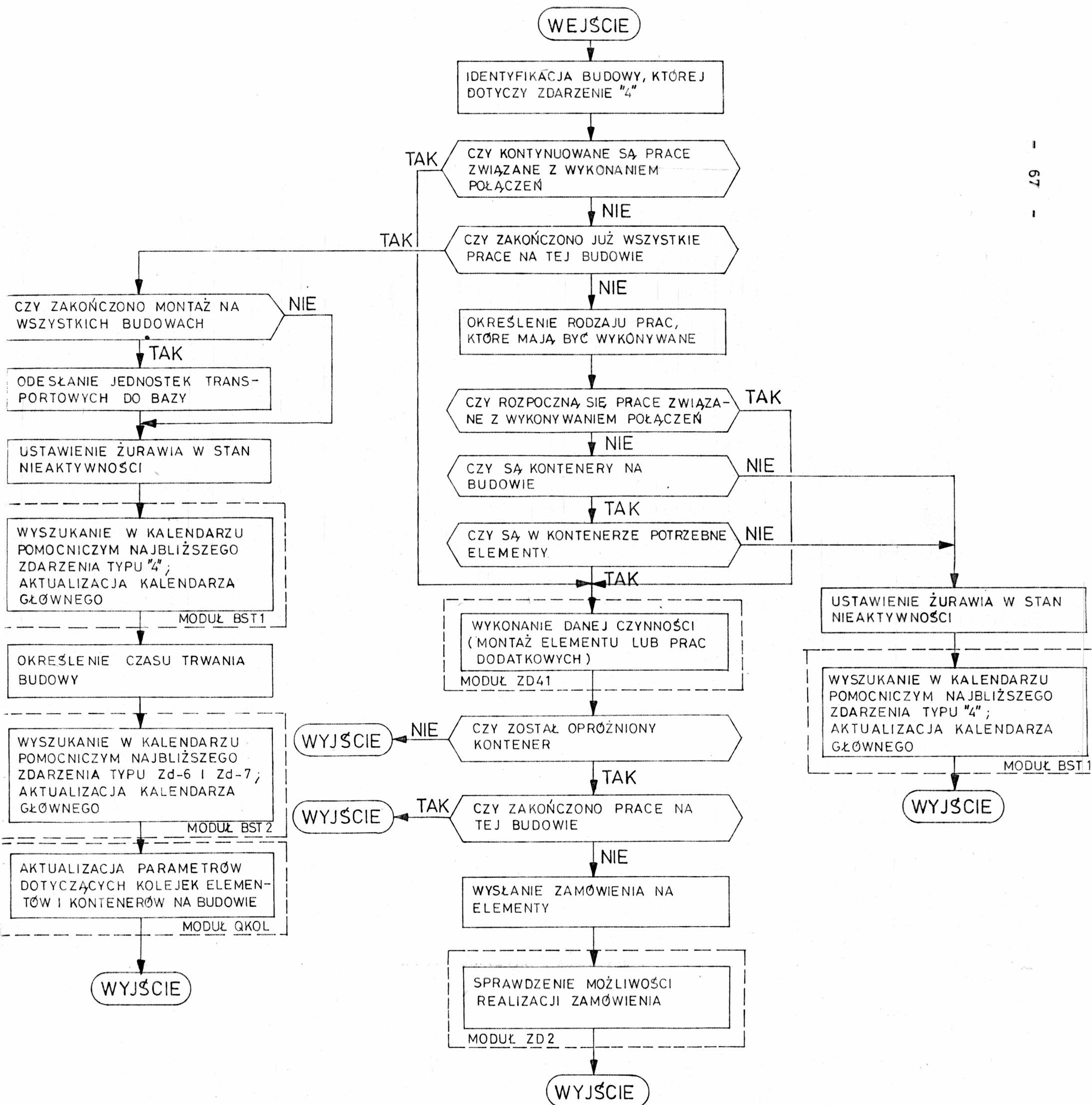
Schemat blokowy modułu ZD41 przedstawiono na rysunku 4.9.

Moduł ZD5

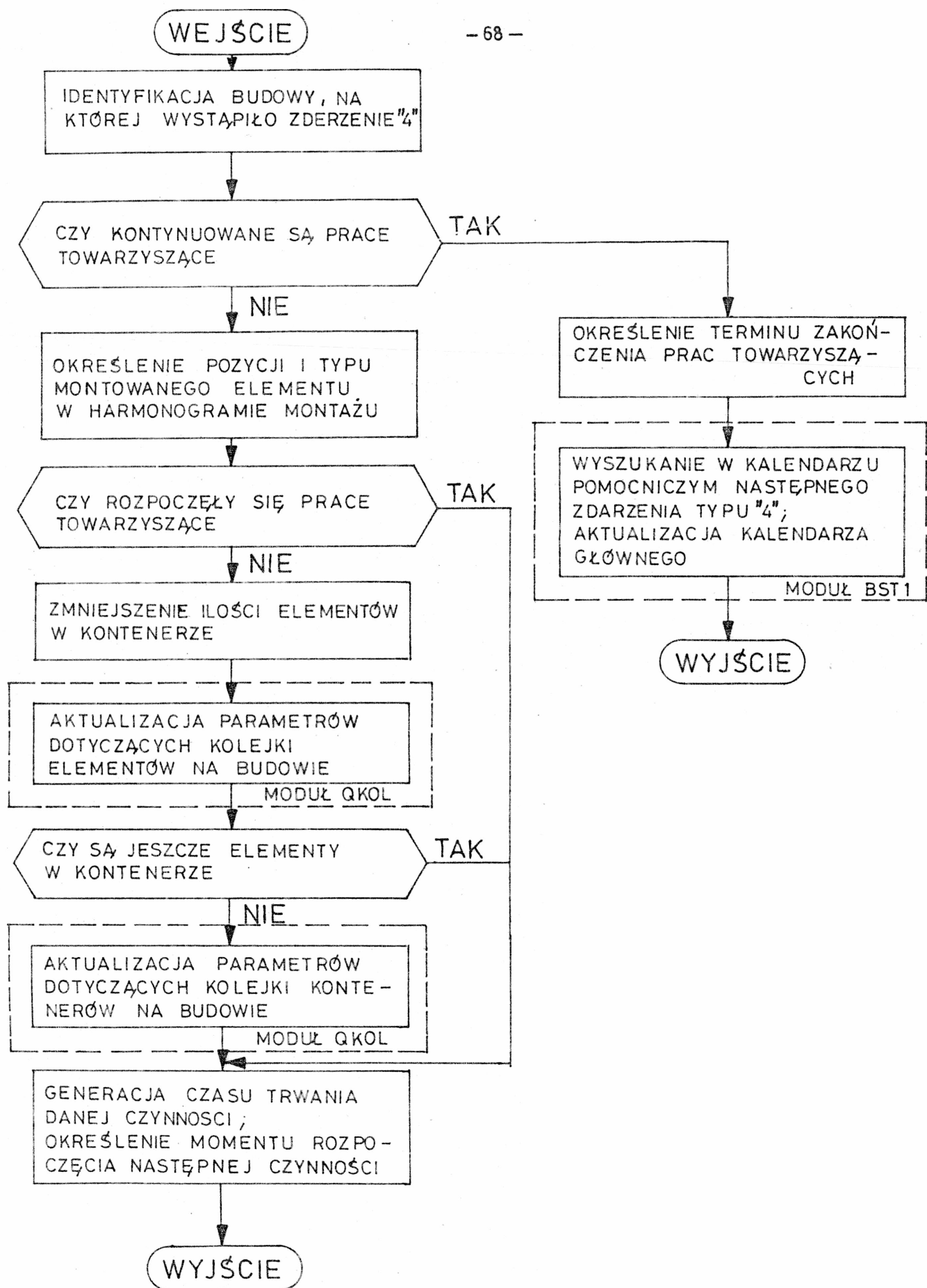
Moduł ZD5 modeluje funkcje systemu związane z przyjazdem jednostki transportowej na budowę. Zajęcie tego zdarzenia inicjuje wykonanie następujących czynności:

- określenie numeru budowy, na którą przyjechała jednostka transportowa,
- sprawdzenie, w jakim stanie w momencie przyjazdu jednostki transportowej znajdował się żuraw.

Gdy w momencie przyjazdu jednostki transportowej żuraw znajdował się w stanie nieaktywności, a typ przywiezionych elementów odpowiada aktualnie potrzebnym, następuje aktualizacja sumy



Rys. 4.8. Schemat blokowy modułu ZD4



Rys. 4.9. Schemat blokowy modułu ZD41

czasu przestoju żurawia, aktualizacja głównego kalendarza zdarzeń oraz rozpoczęcie montażu. Gdy natomiast żuraw znajdował się w stanie aktywności lub elementy przywiezione zostały w niewłaściwej kolejności, następuje wpisanie kontenera do kolejki kontenerów na budowie, natomiast elementów do kolejki elementów na tej budowie oraz aktualizacja parametrów dotyczących kolejek elementów i kontenerów.

W dalszej kolejności następuje:

- generacja czasu jazdy oraz określenie momentu przyjazdu jednostki transportowej do magazynu wyrobów gotowych,
- sprawdzenie, czy w momencie przyjazdu jednostki transportowej magazyn wyrobów gotowych będzie otwarty.

Jeżeli w momencie przyjazdu jednostki transportowej magazyn będzie otwarty to następuje:

- wysłanie jednostki transportowej do magazynu,
- aktualizacja głównego kalendarza zdarzeń.

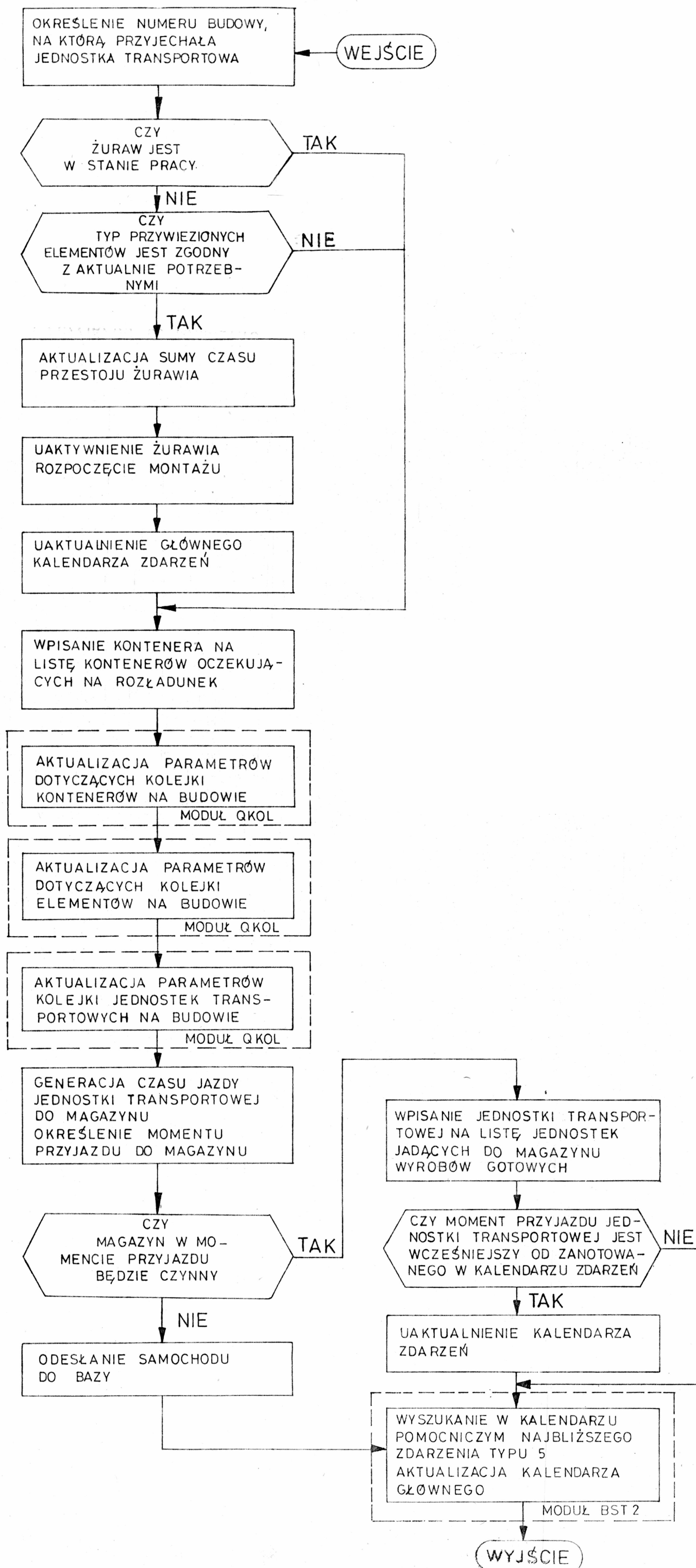
W przypadku gdy jednostka transportowa nie zdąży przyjechać do magazynu wyrobów gotowych w trakcie trwania zmiany, następuje odesłanie jej do bazy. Schemat blokowy modułu ZD5 przedstawiono na rysunku 4.10.

Moduł ZD6

Moduł ZD6 modeluje funkcje systemu związane z rozpoczęciem zmiany. Inicjuje on wykonanie następujących czynności:

- identyfikację obiektu, na którym rozpoczęto zmianę,
- wyszukanie następnego obiektu, na którym najszybciej rozpocznie się zmiana oraz aktualizację głównego kalendarza zdarzeń,
- określenie terminu zakończenia zmiany na danym obiekcie,
- wyszukanie obiektu, na którym najszybciej zakończy się zmiana oraz aktualizację głównego kalendarza zdarzeń.

Rys. 4.10. Schemat blokowy modułu ZDS



Jeżeli wywołanie modułu związane jest z rozpoczęciem zmiany na linii produkcyjnej w wytwórni prefabrykatów, to następuje:

- generacja czasu rozformowania elementu produkowanego przez daną linię i wpisanie go do kalendarza pomocniczego,
- wyszukanie w kalendarzu pomocniczym linii, na której najszybciej zostanie wyprodukowany element oraz wstawienie jego identyfikatorów do głównego kalendarza zdarzeń.

Rozpoczęcie zmiany na pierwszej budowie powoduje uaktywnienie magazynu wyrobów gotowych oraz przyjazd jednostek transportowych z bazy transportowej. W przypadku rozpoczęcia zmiany na kolejnej budowie następuje sprawdzenie, czy w magazynie oczekują wolne jednostki transportowe. Obecność jednostek transportowych w magazynie stwarza możliwość realizacji zamówień /wywołanie modułu ZD3P/.

Schemat blokowy modułu ZD6 przedstawiono na rysunku 4.11.

Moduł ZD7

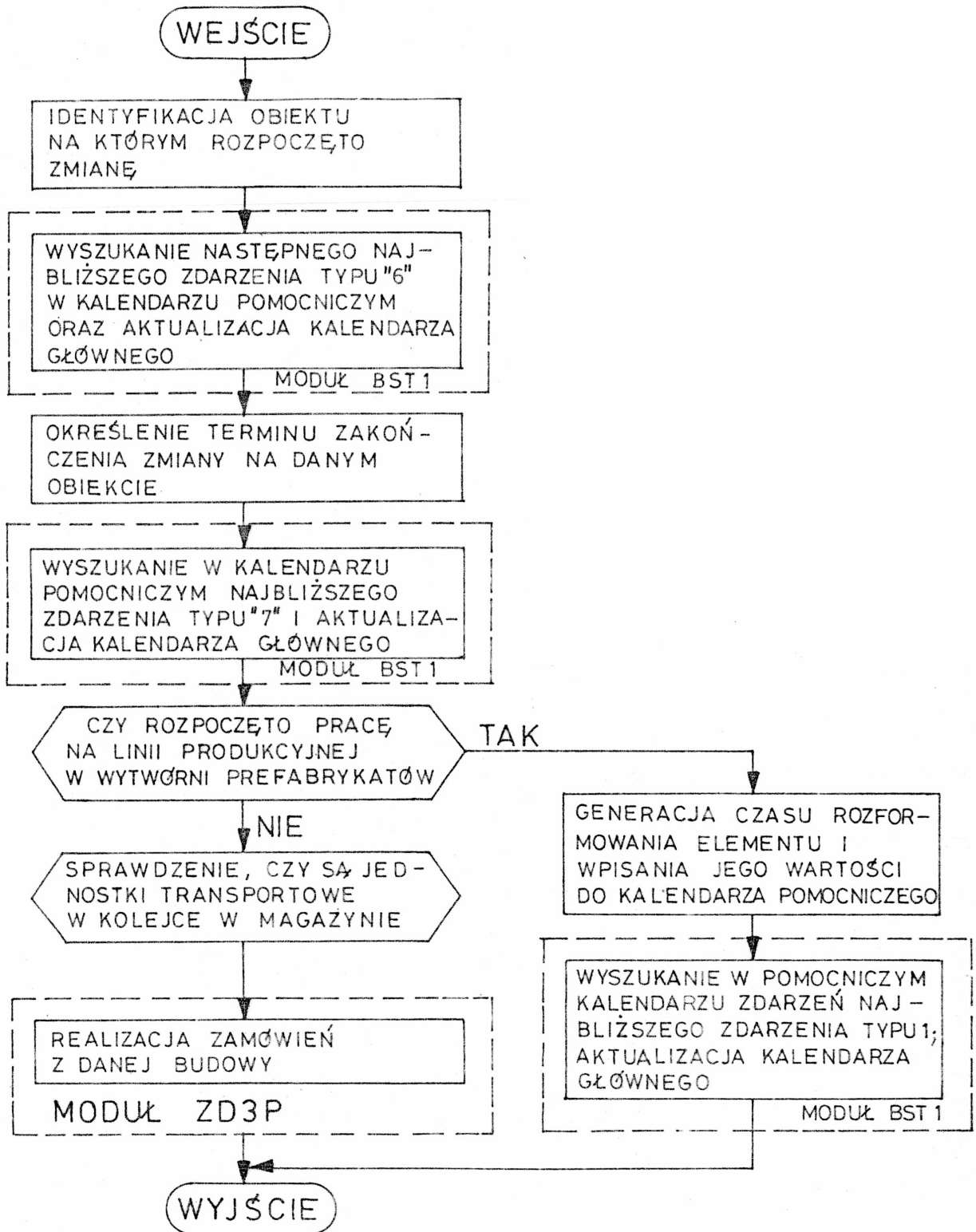
Funkcje systemu związane z zakończeniem zmiany na obiekcie modeluje moduł ZD7. W przypadku jego wywołania następuje:

- identyfikacja obiektu, na którym zakończono zmianę,
- wyszukanie w kalendarzu pomocniczym najbliższego zdarzenia typu "7" oraz aktualizacja głównego kalendarza zdarzeń,
- określenie terminu rozpoczęcia zmiany na danym obiekcie,
- wyszukanie w kalendarzu pomocniczym najbliższego zdarzenia typu "6" oraz aktualizacja głównego kalendarza zdarzeń.

Zakończenie zmiany na linii produkcyjnej w wytwórni prefabrykatów powoduje zaprzestanie produkcji.

W przypadku zakończenia zmiany na budowie następuje:

- aktualizacja czasu przestoju żurawia,
- ustawienie żurawia w stan nieaktywności.



Rys. 4.11. Schemat blokowy modułu ZD6

Zakończenie zmian na wszystkich budowach powoduje:

- odesłanie jednostek transportowych z magazynu do bazy,
- zamknięcie magazynu wyrobów gotowych.

Schemat blokowy modułu ZD7 przedstawiono na rysunku 4.12.

4.6.3. Moduły pomocnicze

Moduły BST1 i BST2

Każde wyszczególnione w punkcie 4.3 zdarzenie określa pewną grupę zdarzeń. Np. zdarzenie ZD1 określa następujące zdarzenia:

- ZD1-1 wyprodukowanie elementu na linii nr 1,
- ZD1-2 wyprodukowanie elementu na linii nr 2,
- ZD1- wyprodukowanie elementu na linii nr p.

Zdarzenie ZD2 określa zdarzenia:

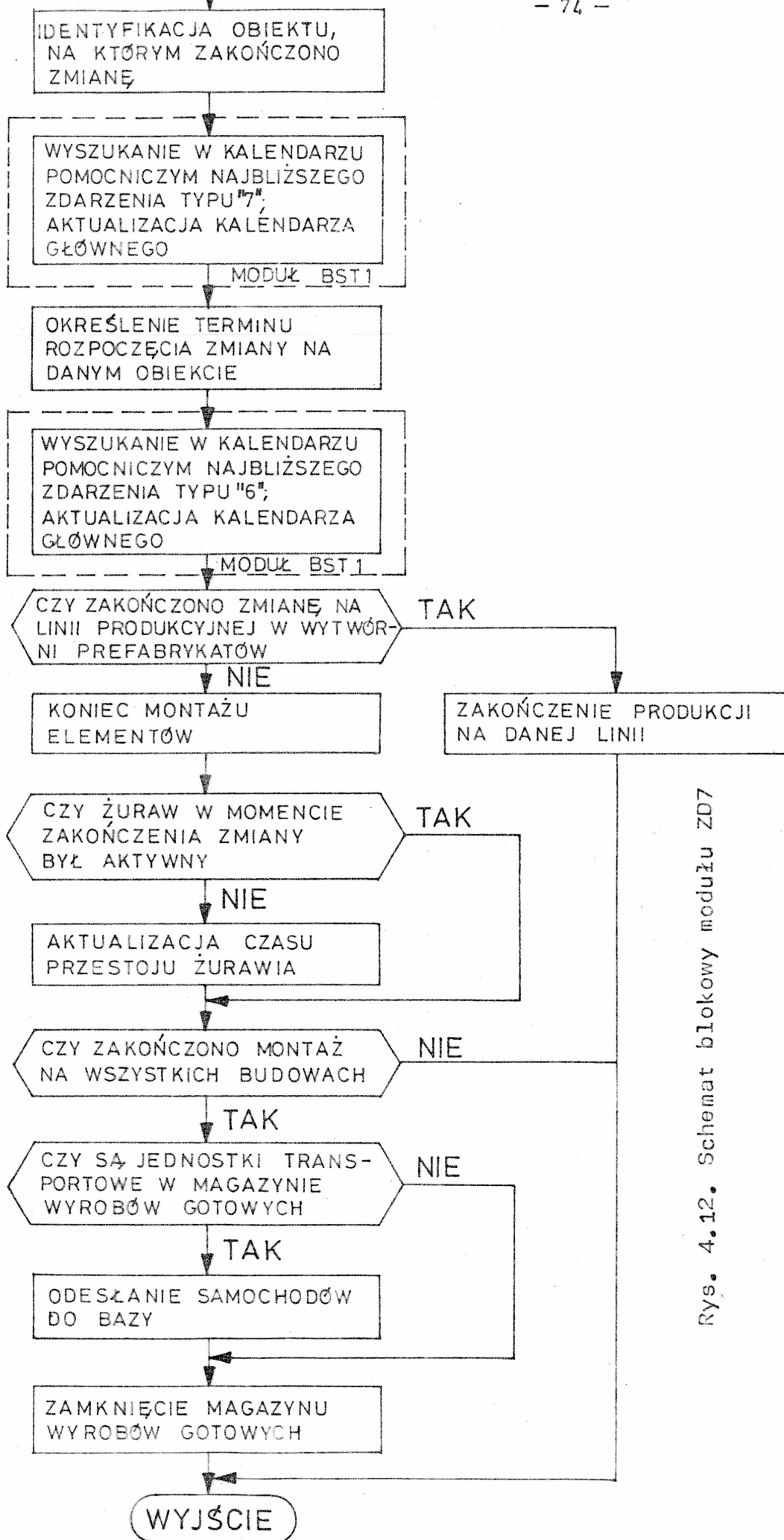
- ZD2-1 przyjazd pierwszej jednostki transportowej do magazynu wyrobów gotowych,
- ZD2-k przyjazd k-tej jednostki transportowej do magazynu wyrobów gotowych, itd.

Dla każdej grupy zdarzeń zbudowano pomocniczy kalendarz zdarzeń, zawierający informacje dotyczące wszystkich zdarzeń jednej grupy. Wygenerowany w module systemowym moment wystąpienia zdarzenia ZDI-i wpisywany jest do właściwego pomocniczego kalendarza zdarzeń, z którego wyszukuje się najbliższe zdarzenia danego typu. Termin wystąpienia wyszukanego zdarzenia i jego identyfikator przenoszony jest do głównego kalendarza zdarzeń. Funkcje te realizują moduły BST1 i BST2.

Moduł BST1 określa sposób przeszukiwania kalendarza zdarzeń ZD1, ZD3, ZD4, ZD6, ZD7, natomiast moduł BST2 określa sposób

WEJŚCIE

- 74 -



Rys. 4.12. Schemat blokowy modułu ZD7

przeszukiwania kalendarza zdarzeń ZD2 i ZD5. Schematy blokowe tych modułów przedstawiono na rysunkach 4.13, 4.14.

Moduł QKOL

Podstawą do obliczenia charakterystyk kolejek występujących w systemie jest rejestracja:

- sumarycznej ilości zgłoszeń znajdujących się w kolejkach,
- sumarycznego czasu przebywania wszystkich zgłoszeń w kolejkach,
- maksymalnego czasu przebywania zgłoszenia w kolejce,
- maksymalnej ilości zgłoszeń przebywających w kolejce.

Funkcje te realizuje moduł QKOL.

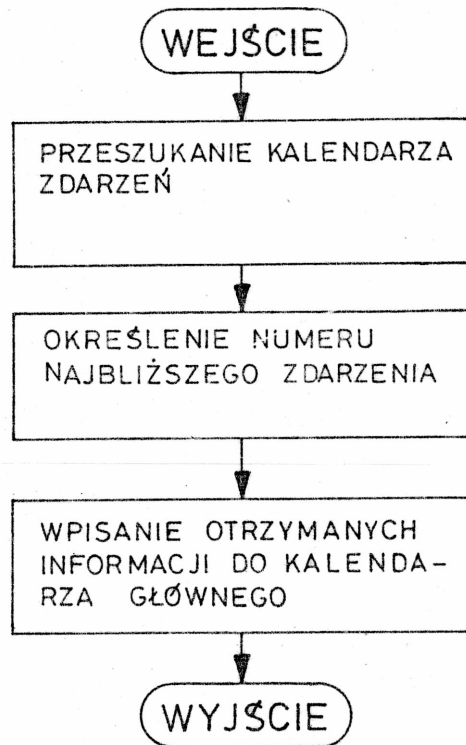
W momencie przybycia zgłoszenia do kolejki liczona jest i uaktualniana maksymalna ilość zgłoszeń w kolejce. W momencie opuszczania kolejki przez zgłoszenie liczone są pozostałe wielkości. W opisie tym pojęcie zgłoszenia potraktowane jest ogólnie. W zależności od sytuacji oznacza ono: jednostki transportowe, kontenery oraz elementy prefabrykowane różnych typów.

Schemat blokowy modułu przedstawiono na rysunku 4.15.

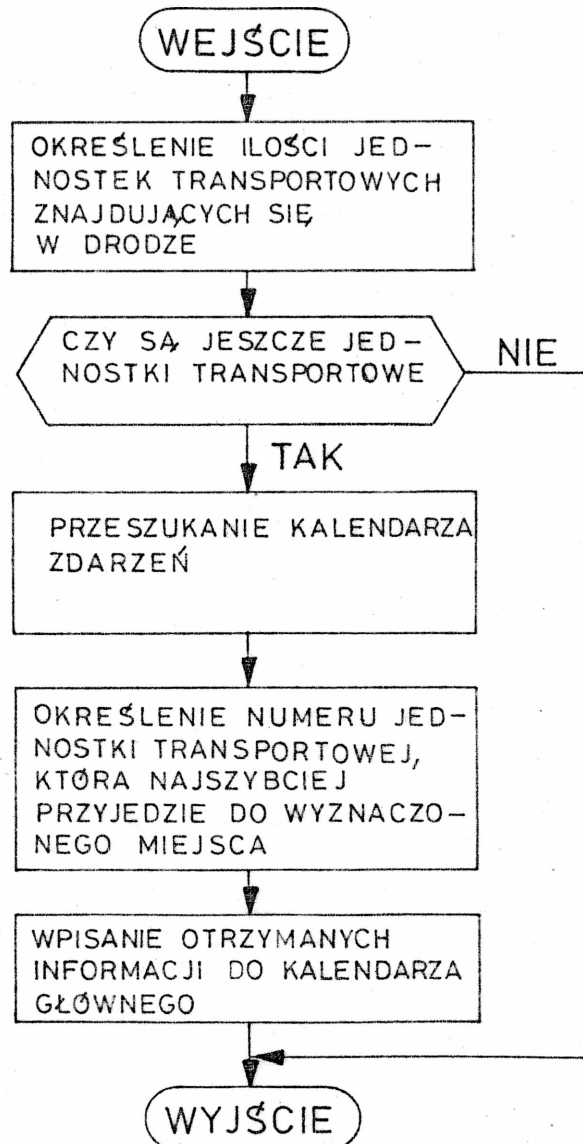
Generator liczb losowych

Charakterystyczną cechą symulacji komputerowej jest generowanie procesów losowych o zadanych rozkładach prawdopodobieństwa. Wygenerowany wektor zmiennych losowych modeluje przebieg rzeczywistych zjawisk losowych [81,110].

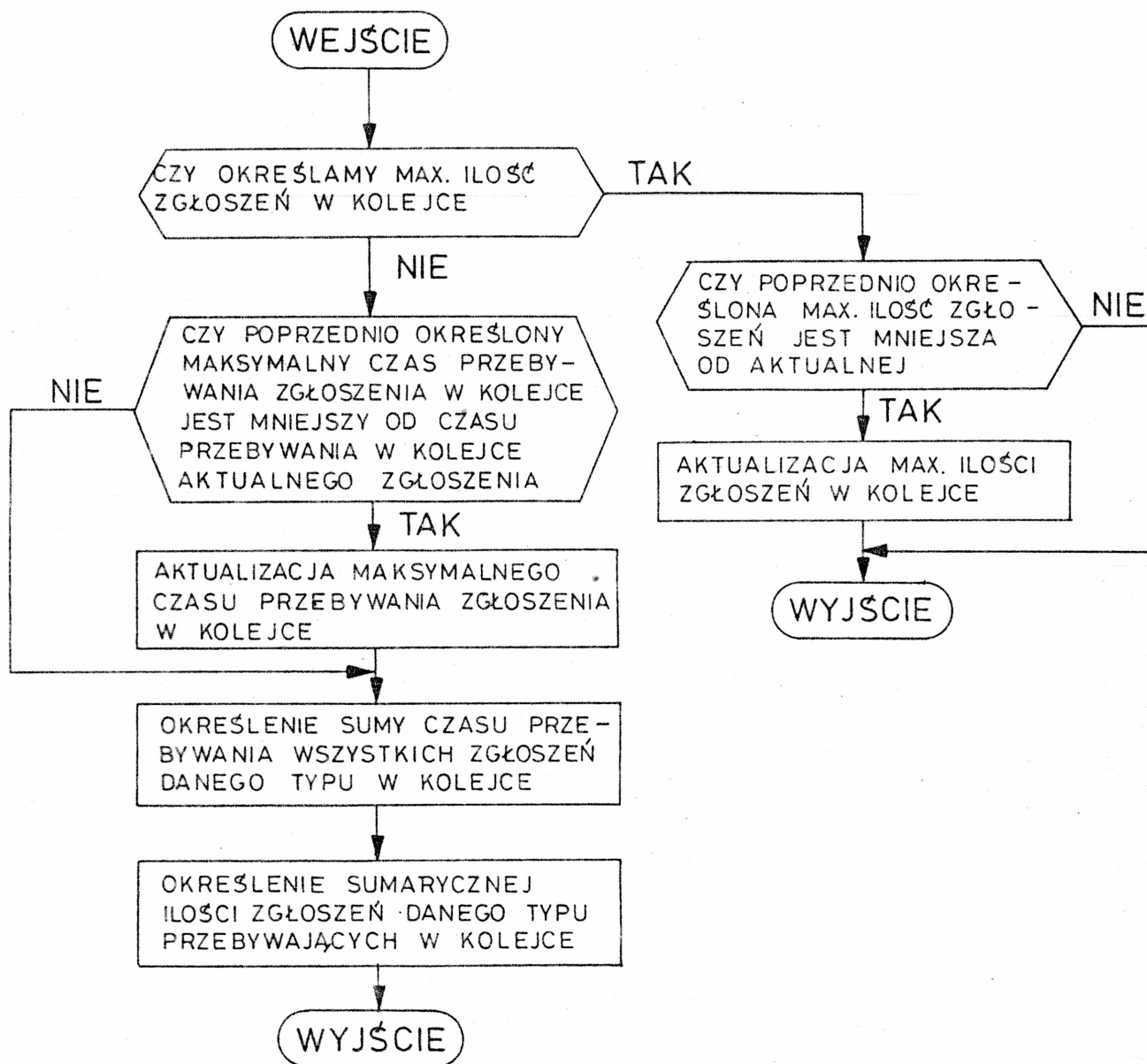
W zbudowanym modelu przewidziano możliwość generowania czasów operacji z trzech rozkładów teoretycznych, a mianowicie:



Rys. 4.13. Schemat blokowy modułu BSt1



Rys. 4.14. Schemat blokowy modułu BSt2



Rys. 4.15. Schemat blokowy modułu QKOL

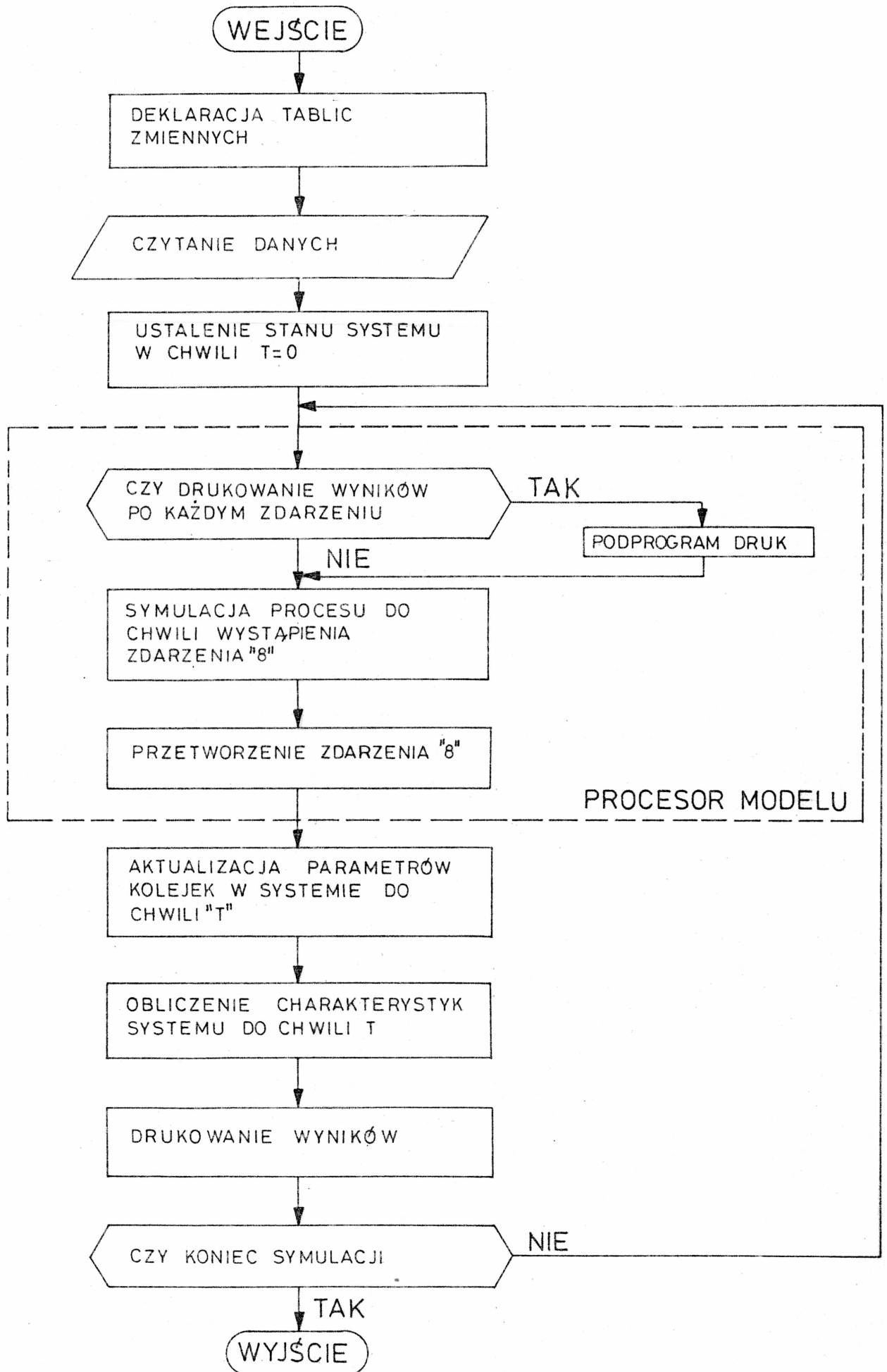
rozkładu Erlanga, wykładniczego oraz logarytmowo-normalnego* oraz z rozkładów empirycznych zadanych histogramami. Wprowadzenie rozkładu empirycznego ma duże znaczenie w analizie systemów istniejących. Z badań własnych autora [43] wynika, że wielu grup obserwacji występujących w modelowanym procesie nie można opisać z wystarczającą dokładnością znanymi rozkładami teoretycznymi.

Wprowadzenie natomiast rozkładów teoretycznych jest wskazane ze względu na możliwość użycia modelu do prognozowania zachowania się systemu nowoprojektowanego.

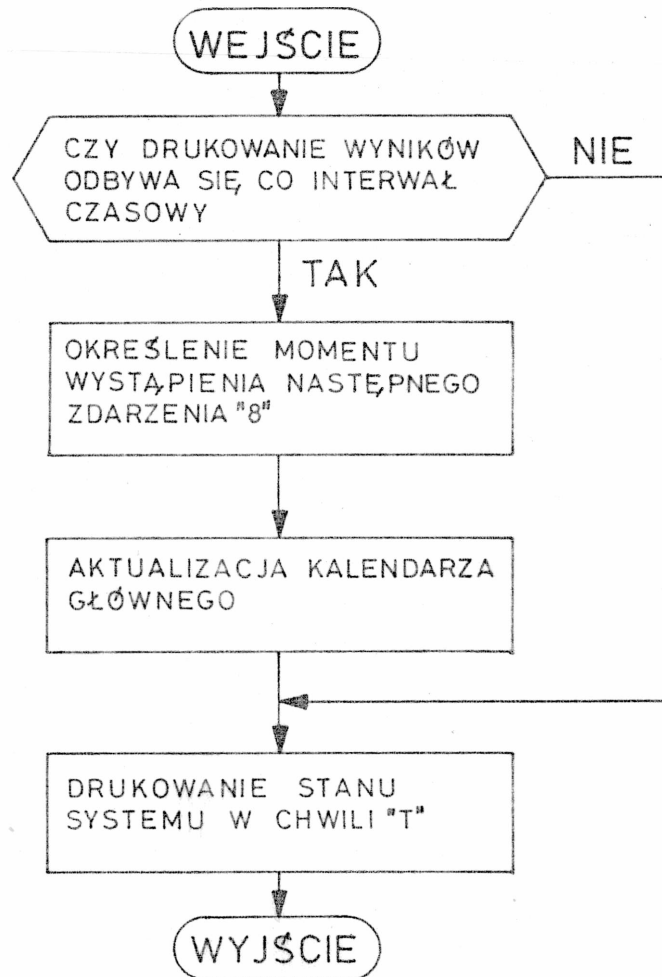
4.7. Struktura programu

W punktach od 4.6.1 do 4.6.3 przedstawiono strukturę modelu opisaną w języku naturalnym i w postaci graficznej /schematy blokowe/. Zaprezentowany model oprogramowano na maszynę cyfrową serii Odra 1305, w języku programowania ogólnego przeznaczenia Fortran. Oprogramowany model uzupełniono instrukcjami wejścia, wyjścia, deklaracji tablic, czytania danych, ustalania warunków początkowych, obliczania wskaźników końcowych. W ten sposób powstał tzw. symulator cyfrowy - program na maszynę cyfrową, umożliwiający realizację procesu symulacyjnego. Program składa się z programu głównego i szeregu podprogramów, odpowiadających opisanym modułom. Schemat blokowy programu głównego przedstawiono na rysunku 4.16. Dodatkowo program uzupełniono podprogramami i instrukcjami sterującymi obliczaniem i wydrukiem wskaźników charakteryzujących system w określonych momentach czasowych. W tym celu między innymi główny kalendarz zdarzeń rozszerzono o dodatkowe zdarzenie "8". Wystąpienie zdarzenia "8" powoduje drukowanie /podprogramu Druk/ zawartości tablic charakteryzujących stan systemu w chwili jego wywołania. Zdarzenie to może być wywoływane co określony interwał czasowy lub po zajściu każdego zdarzenia systemowego. Wystąpienie zdarzenia "8", powoduje wyjście obliczeń poza procesor

* /Rozkłady Erlanga, wykładnicze i logarytmiczno-normalne, są często rozkładami reprezentatywnymi dla czasu montażu elementów prefabrykowanych oraz czasu jazdy jednostek transportowych [82,105,109].



Rys. 4.16. Schemat blokowy programu głównego



Rys. 4.17. Schemat blokowy modułu ZD8

modelu, obliczenie i drukowanie charakterystyk końcowych procesu. Po sprawdzeniu warunków zakończenia symulacji następuje koniec obliczeń lub proces wykonywania obliczeń wraca do procesora. Schemat blokowy podprogramu ZD8 przedstawiono na rysunku 4.17.

4.8. Model matematyczny systemu

Model matematyczny badanego systemu przedstawiono przy pomocy zmiennych, wskaźników oraz równań opisujących zachowanie się systemu. Wyróżniono następujące rodzaje zmiennych: decyzyjne, egzogeniczne, sytuacyjne, endogeniczne. Zmienne obserwowane na wyjściu modelu, tzw. zmienne endogeniczne, tworzone są na podstawie interakcji występujących między zmiennymi egzogenicznymi i decyzyjnymi /zmiennymi wejściowymi/ zgodnie z równaniami dotyczącymi zachowania się systemu oraz tożsamościami. Przebiegiem procesu sterują zmienne sytuacyjne oraz wskaźniki sterujące. W punktach 4.8.1 do 4.8.6 omówiono poszczególne rodzaje zmiennych występujących w zbudowanym modelu.

4.8.1. Zmienne decyzyjne

- ILPP - liczba linii produkcyjnych w wytwórni prefabrykatów,
- ISAM - liczba zatrudnionych jednostek transportowych,
- IBUD - liczba montowanych budynków,
- ITYP - liczba typów elementów technologicznie podobnych, występujących w analizowanym systemie konstrukcyjno-technologicznym,
- MLP1(J) - maksymalna ilość elementów typu J, która może być składowana w magazynie wyrobów gotowych, $J=1, \dots, ITYP$,
- TSYM - całkowity przedział czasu objętego symulacją,

- Δt - odcinek czasu między kolejnymi wydrukami,
- ISZ(I,1) - długość zmiany roboczej na budowie I, $I=1, \dots, IBUD$,
- ISZ(I,2) - długość przerwy między kolejnymi zmianami roboczymi na budowie I, $I=1, \dots, IBUD$, ($ISZ(I,2) = 24h - ISZ(I,1)$),
- ISZ(I,3) - termin rozpoczęcia montażu na budowie I,
 $I = 1, \dots, IBUD$,
- IZP(P,1) - długość zmiany roboczej na linii produkcyjnej nr P w wytwórni prefabrykatów, $P = 1, \dots, ILPP$,
- IZP(P,2) - długość przerwy między kolejnymi zmianami roboczymi na linii produkcyjnej nr P w wytwórni prefabrykatów,
 $P=1, \dots, ILPP$, ($IZP(P,2) = 24h - IZP(P,1)$)
- IZP(P,3) - termin rozpoczęcia produkcji elementów na linii produkcyjnej nr P w wytwórni prefabrykatów,
 $P = 1, \dots, ILPP$,
- IZP(P,5) - typ elementów produkowanych na linii nr P,
 $P = 1, \dots, ILPP$,
- ISZ(IBUD+1,1) - długość zmiany roboczej w magazynie wyrobów gotowych,
- ISZ(IBUD+1,2) - długość przerwy między kolejnymi zmianami roboczymi w magazynie wyrobów gotowych
($ISZ(IBUD+1,2) = 24h - ISZ(IBUD+1,1)$),
- ISZ(IBUD+1,3) - termin rozpoczęcia pracy w magazynie wyrobów gotowych
- IIK(J,1) - maksymalna ilość elementów typu J mieszcząca się w kontenerze, $J = 1, \dots, ITYP$,
- IIK(J,2) - czas osiągnięcia przez element typu J, wymaganej wytrzymałości transportowej, $J = 1, \dots, ITYP$,
- KNC(I,3) - ilość stanowisk kontenerowych na budowie I, $I = 1, \dots, IBUD$
- KPP(J,2) - ilość elementów typu J w magazynie wyrobów gotowych w chwili rozpoczęcia symulacji, $J = 1, \dots, ITYP$.

Struktura montowanych budynków

IHH(DH,2), IAH(IBUD,1) - tablice określające wielkość i strukturę montowanych budynków,

$IHH(d,1)$ - oznacza typ elementu, $IHH(d,1) = 1, \dots, ITYP$,
 $IHH(d,2)$ - oznacza ilość elementów typu $IHH(d,1)$.

Jeżeli $d = 1 \div IAH(2,1)-1$, to dane dotyczą budynku 1,
 $d = IAH(2,1) \div IAH(3,1)-1$, to dane dotyczą budynku 2,
 $d = IAH(IBUD,1) \div IAH(DH,1)$, to dane dotyczą budynku
IBUD.

4.8.2. Zmienne egzogeniczne

$S_e(P)$ - odstęp czasu między rozformowaniem e-tego oraz
(e+1)-ego, elementu na linii produkcyjnej, nr P, $P=1,$
 $\dots, ILPP$,
 $JB_s(I)$ - czas jazdy s-tej jednostki transportowej z magazynu
wyrobów gotowych na budowę I, $I = 1, \dots, IBUD$,
 $JP_s(I)$ - czas jazdy s-tej jednostki transportowej z budowy I
do magazynu wyrobów gotowych, $I = 1, \dots, IBUD$,
 $M_r(J)$ - czas montażu r-tego elementu typu J, $J = 1, \dots, ITYP$,
 W_z - czas wykonania z-tego połączenia elementów.

Zależności dotyczące zachowania się zmiennych egzogenicznych

$f(S(P))$ - funkcja rozkładu gęstości prawdopodobieństwa /czę-
stości/ dla odstępu czasu między rozformowaniami ko-
lejnych elementów na linii produkcyjnej nr P,
 $P = 1, \dots, ILPP$,
 $f(JB(I))$ - funkcja rozkładu gęstości prawdopodobieństwa /czę-
stości/ dla czasu jazdy jednostki transportowej z ma-
gazynu wyrobów gotowych na budowę I, $I = 1, \dots, IBUD$,
 $f(JP(I))$ - funkcja rozkładu gęstości prawdopodobieństwa /czę-
stości/ dla czasu jazdy jednostki transportowej z bu-
dowy I do magazynu wyrobów gotowych, $I=1, \dots, IBUD$,

- $f(M(J))$ - funkcja rozkładu gęstości prawdopodobieństwa /częstości/ dla czasu montażu elementu typu J ,
 $J = 1, \dots, ITYP$,
- $f(W)$ - funkcja rozkładu gęstości prawdopodobieństwa /częstości/ dla czasu wykonania połączeń między elementami.

4.8.3. Zmienne sytuacyjne

- $\Delta t_e (IBUD+1, J)$ - długość odcinka czasu, w którym e -ty element typu J przebywa w kolejce w magazynie wyrobów gotowych, $J=1, \dots, ITYP$; $e=1, 2, \dots, E(t_i)$,
- $\Delta t_s (IBUD+1, ITYP+1)$ - długość odcinka czasu, w którym s -ta jednostka transportowa przebywa w kolejce w magazynie wyrobów gotowych, $s=1, 2, \dots, S(t_i)$,
- $\Delta t_k (I, ITYP+2)$ - długość odcinka czasu, w którym k -ty kontener przebywa w kolejce na budowie I , $I=1, \dots, IBUD$; $k = 1, 2, \dots, K(t_i)$,
- $\Delta t_r (I, J)$ - długość odcinka czasu, w którym r -ty element typu J przebywa w kolejce na budowie I , $I=1, \dots, IBUD$; $J=1, \dots, ITYP$, $r=1, 2, \dots, R(t_i)$,
- $\Delta t_d (I)$ - długość d -tego odcinka czasu przestoju żurawia na budowie I , $I = 1, \dots, IBUD$,
- $KPP(J, 1)(t)$ - ilość elementów typu J w magazynie wyrobów gotowych w chwili t ,
- $KSP(1)(t)$ - ilość jednostek transportowych oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w chwili t ,
- $KKB(I, 1, 1)(t)$ - ilość kontenerów na budowie I w chwili t
 $I = 1, \dots, IBUD$,

- $KKB(I, g+1, 2)(t)$ - typ elementów znajdujących się w kontenerze g na budowie I w chwili t , $I = 1, \dots, IBUD$, $g = 1, \dots, KKB(I, 1, 1)$,
- $KKB(I, g+1, 3)(t)$ - ilość elementów typu $KKB(I, g+1, 2)$ znajdujących się w kontenerze g na budowie I w chwili t , $I = 1, \dots, IBUD$, $g = 1, \dots, KKB(I, 1, 1)$.

4.8.4. Wskaźniki sterujące przebiegiem procesu

- $KNC(I, 1)$ - wskaźnik opisujący stan budowy I , $I = 1, \dots, IBUD$:
- $KNC(I, 1) = -1$, trwa zmiana robocza na budowie I ,
- $KNC(I, 1) = 0$, trwa przerwa między kolejnymi zmianami na budowie I ,
- $KNC(I, 1) > 0$, zakończono montaż budynku I ,
- $IAKZ(I)$ - wskaźnik stanu żurawia na budowie I , $I = 1, \dots, IBUD$:
- $IAKZ(I) = 1$, trwa montaż elementów na budowie I ,
- $IAKZ(I) = 0$, żuraw nie pracuje z powodu przerwy między kolejnymi zmianami roboczymi na budowie I ,
- $IAKZ(I) = 0$, żuraw nie pracuje z powodu braku elementów na budowie I .
- $KNCP$ - wskaźnik stanu magazynu wyrobów gotowych:
- $KNCP = -1$, trwa zmiana robocza w magazynie wyrobów gotowych,
- $KNCP = 0$, trwa przerwa między kolejnymi zmianami roboczymi.
- $ITZF(P)$ - wskaźnik opisujący stan linii produkcyjnej nr P , w wytwórni prefabrykatów, $P = 1, \dots, ILPP$,
- $ITZF(P) = -1$, trwa zmiana robocza na linii nr P
- $ITZF(P) = 0$, trwa przerwa między kolejnymi zmianami roboczymi na linii nr P .
- $IAH(I, 2)$ - pozycja w tablicy $IHH(DH, 2)$ oznaczająca aktualne miejsce montażu budynku I , $I = 1, \dots, IBUD$,

IAH(I,3) - pozycja w tablicy IHH(DH,2) której dotyczy ostatnie zamówienie z budowy I, I=1,...,IBUD,
 IZZ(1,1) - pozycja pierwszego zamówienia na liście zamówień,
 IZZ(1,2) - pozycja ostatniego zamówienia na liście zamówień,
 IZZ(Z,1) - numer budowy, z której są zamawiane elementy,
 Z = IZZ(1,1)+1, ..., IZZ(1,2),
 IZZ(Z,2) - typ zamawianych elementów na budowę IZZ(Z,1),
 Z = IZZ(1,1)+1, ..., IZZ(1,2),
 IZZ(Z,3) - ilość zamawianych elementów typu IZZ(Z,2),
 Z = IZZ(1,1)+1, ..., IZZ(1,2).

4.8.5. Tożsamości

$$t_0 = 0$$

$$t_i = i\Delta t$$

$$QQ(IBUD+1, I, 1)(t_0) = T(J)$$

$$QQ(IBUD+1, J, 1)(t_i) = \max \{ T(J), \Delta t_e (IBUD+1, J) : e=1, \dots, E(t_i) \}$$

$$QQ(IBUD+1, J, 2)(t_0) = KPP(J, 2)$$

$$QQ(IBUD+1, J, 2)(t_i) = \max \{ KPP(J, 2), KPP(J, 1)(t) : 0 \leq t \leq t_i \}$$

$$QQ(IBUD+1, J, 3)(t_0) = ISCP(J)(t_0)$$

$$QQ(IBUD+1, J, 3)(t_i) = \sum_{e=1}^{E(t_i)} \Delta t_e (IBUD+1, J) + SCP(J)(t_0)$$

$$QQ(IBUD+1, J, 4)(t_0) = 0$$

$$QQ(IBUD+1, J, 4)(t_i) = E(t_i)$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 1)(t_0) = 0$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 1)(t_i) = \max \{ \Delta t_s (IBUD+1, ITYP+1) : s = 1, \dots, S(t_i) \}$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 2)(t_0) = ISAM$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 2)(t_i) = \max \{ ISAM, KSP(1)(t) : 0 \leq t \leq t_i \}$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 3)(t_0) = 0$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 3)(t_i) = \sum_{s=1}^{S(t_i)} \Delta t_s (IBUD+1, ITYP+1)$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 4)(t_0) = 0$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 4)(t_i) = S(t_i)$$

$$QQ(I, ITYP+2, 1)(t_0) = 0$$

$$QQ(IBUD+1, ITYP+1, 4)(t_i) = S(t_i)$$

$$QQ(I, ITYP+2, 1)(t_0) = 0$$

$$QQ(I, ITYP+2, 1)(t_i) = \max \{ \Delta t_k(I, ITYP+2) : k=1, \dots, K(t_i) \}$$

$$QQ(I, ITYP+2, 2)(t_0) = 0$$

$$QQ(I, ITYP+2, 2)(t_i) = \max \{ KKB(I, 1, 1)(t) : 0 \leq t \leq t_i \}$$

$$QQ(I, ITYP+2, 3)(t_0) = 0$$

$$QQ(I, ITYP+2, 3)(t_i) = \sum_{k=1}^{K(t_i)} \Delta t_k(I, ITYP+2)$$

$$QQ(I, ITYP+2, 4)(t_0) = 0$$

$$QQ(I, ITYP+2, 4)(t_i) = P(t_i)$$

$$QQ(I, J, 1)(t_0) = 0$$

$$QQ(I, J, 1)(t_i) = \max \{ \Delta t_r(I, J) : r=1, \dots, R(t_i) \}$$

$$QQ(I, J, 2)(t_0) = 0$$

$$QQ(I, J, 2)(t_i) = \max \{ KKB_J(I, g+1, 3)(t) : g=1, \dots, KKB(I, 1, 1) \quad 0 \leq t \leq t_i \}$$

$$QQ(I, J, 3)(t_0) = 0$$

$$QQ(I, J, 3)(t_i) = \sum_{r=1}^{R(t_i)} \Delta t_r(I, J)$$

$$QQ(I, J, 4)(t_0) = 0$$

$$QQ(I, J, 4)(t_i) = R(t_i)$$

$$ISZ(IBUD+1, 4)(t_0) = 0$$

$$ISZ(IBUD+1, 4)(t_i) = \sum_{n=1}^{N(t_i)} ISZ(IBUD+1, 1); N(t_i) - \text{ilość zmian roboczych w czasie } t_i$$

$$ISZ(I, 4)(t_0) = 0$$

$$ISZ(I, 4)(t_i) = \sum_{m=1}^{M(t_i)} ISZ(I, 1); M(t_i) - \text{ilość zmian roboczych w czasie } t_i \text{ na budowie } I$$

$$KNC(I, 2)(t_i) = \sum_{d=1}^{D(t_i)} \Delta t_d(I); d=1, \dots, D(t_i)$$

$$\overline{SIE}_J(t_i) = (QQ(IBUD+1, J, 3)(t_i))(t_i)^{-1}$$

$$\overline{SCE}_J(t_i) = (QQ(IBUD+1, J, 3)(t_i))(QQ(IBUD+1, J, 4)(t_i))^{-1}$$

$$MIE_J(t_i) = QQ(IBUD+1, J, 2)(t_i)$$

$$MCE_J(t_i) = QQ(IBUD+1, J, 1)(t_i)$$

$$\overline{SIS}(t_i) = (QQ(IBUD+1, ITYP+1, 3)(t_i))(ISZ(IBUD+1, 4)(t_i))^{-1}$$

$$\overline{SCS}(t_i) = (QQ(IBUD+1, ITYP+1, 3)(t_i))(QQ(IBUD+1, ITYP+1, 4)(t_i))^{-1}$$

$$MIT(t_i) = QQ(IBUD+1, ITYP+1, 2)(t_i)$$

$$MCT(t_i) = QQ(IBUD+1, ITYP+1, 1)(t_i)$$

$$\overline{SIK}(t_i) = (QQ(I, ITYP+2, 3)(t_i))(t_i)^{-1}$$

$$\overline{SCK}_I(t_i) = (QQ(I, ITYP+2, 3)(t_i))(QQ(I, ITYP+2, 4)(t_i))^{-1}$$

$$MIK_I(t_i) = QQ(I, ITYP+2, 2)(t_i)$$

$$MCK_I(t_i) = QQ(I, ITYP+2, 1)(t_i)$$

$$\overline{SIE}_{IJ}(t_i) = (QQ(I, J, 3)(t_i))(ISZ(I, 4)(t_i))^{-1}$$

$$\overline{SCE}_{IJ}(t_i) = (QQ(I, J, 3)(t_i))(QQ(I, 3, 4)(t_i))^{-1}$$

$$MIE_{IJ}(t_i) = QQ(I, J, 2)(t_i)$$

$$MCE_{IJ}(t_i) = QQ(I, J, 1)(t_i)$$

$$WS(t_i) = \left[\sum_{I=1}^{IBUD} ISZ(I, 4)(t_i) \cdot ISAM - QQ(IBUD+1, ITYP+1, 3)(t_i) \right] \left(\sum_{I=1}^{IBUD} ISZ(I, 4)(t_i) \cdot ISAM \right)^{-1}$$

$$W_I(t_i) = [ISZ(I, 4)(t_i) - KNC(I, 2)(t_i)] \cdot (ISZ(I, 4)(t_i))^{-1}$$

$$W(t_i) = \sum_{I=1}^{IBUD} [ISZ(I, 4)(t_i) - KNC(I, 2)(t_i)] \left(\sum_{I=1}^{IBUD} ISZ(I, 4)(t_i) \right)^{-1}$$

4.8.6. Zmienne endogeniczne

- $\overline{SIE}_J(t_i)$ - średnia ilość elementów typu J znajdujących się w magazynie wyrobów gotowych w czasie t_i , $J=1, \dots, ITYP$,
- $\overline{SCE}_J(t_i)$ - średni czas przebywania elementów typu J w magazynie wyrobów gotowych w czasie t_i , $J=1, \dots, ITYP$,
- $MIE_J(t_i)$ - maksymalna ilość elementów typu J znajdujących się w magazynie wyrobów gotowych w czasie t_i , $J=1, \dots, ITYP$,
- $MCE_J(t_i)$ - maksymalny czas oczekiwania elementu typu J w magazynie wyrobów gotowych w czasie t_i , $J=1, \dots, ITYP$,
- $\overline{SIT}(t_i)$ - średnia ilość jednostek transportowych przebywających w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w czasie t_i ,
- $\overline{SCT}(t_i)$ - średni czas oczekiwania jednostek transportowych w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w czasie t_i ,
- $MIT(t_i)$ - maksymalna ilość jednostek transportowych oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w czasie t_i ,

- $MCT(t_i)$ - maksymalny czas oczekiwania jednostki transportowej w magazynie wyrobów gotowych w czasie t_i ,
- $\overline{SIK}_I(t_i)$ - średnia ilość kontenerów przebywających w kolejce na budowie I w czasie t_i , $I = 1, \dots, IBUD$,
- $\overline{SCK}_I(t_i)$ - średni czas przebywania kontenerów w kolejce na budowie I w czasie t_i , $I = 1, \dots, IBUD$,
- $MIK_I(t_i)$ - maksymalna ilość kontenerów oczekujących w kolejce na budowie I w czasie t_i , $I = 1, \dots, IBUD$,
- $MCK_I(t_i)$ - maksymalny czas oczekiwania kontenera w kolejce na budowie I w czasie t_i , $I = 1, \dots, IBUD$,
- $\overline{SIE}_{IJ}(t_i)$ - średnia ilość elementów typu J oczekujących w kolejce na budowie I w czasie t_i , $J = 1, \dots, ITYP$,
- $\overline{SCE}_{IJ}(t_i)$ - średni czas oczekiwania elementów typu J w kolejce na budowie I w czasie t_i , $J = 1, \dots, ITYP$,
 $I = 1, \dots, IBUD$,
- $MIE_{IJ}(t_i)$ - maksymalna ilość elementów typu J oczekujących w kolejce na budowie I w czasie t_i , $J = 1, \dots, ITYP$,
 $I = 1, \dots, IBUD$,
- $MCE_{IJ}(t_i)$ - maksymalny czas oczekiwania elementu typu J w kolejce na budowie I w czasie t_i , $J = 1, \dots, ITYP$,
 $I = 1, \dots, IBUD$,
- $WS(t_i)$ - współczynnik wykorzystania jednostek transportowych w czasie t_i ,
- $W_I(t_i)$ - współczynnik wykorzystania żurawia na budowie I, w czasie t_i , $I = 1, \dots, IBUD$,
- $\overline{W}(t_i)$ - średni współczynnik wykorzystania żurawi dla wszystkich budów w czasie t_i .

Sformułowany model ma charakter deterministyczno-probabilistyczny. Charakter deterministyczny posiadają zmienne decyzyjne oraz wskaźniki sterujące, wyrażające elementy technologiczno-organizacyjne procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych. Składnik probabilistyczny reprezen-

tuja natomiast funkcje gęstości rozkładów prawdopodobieństwa czasów trwania czynności występujących w analizowanym procesie.

Autor niniejszej pracy uważa, że takie podejście do zagadnienia w pełni obrazuje procesy zachodzące podczas produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych. Ukierunkowany jest bowiem przebieg tego procesu oraz występują w nim zdeterminowane czasy trwania zmian roboczych, terminów rozpoczęcia realizacji montażu budynków, ilości montowanych budynków, ilości zatrudnionych jednostek transportowych oraz stanowisk kontenerowych. Niemożliwe jest natomiast wyeliminowanie w przebiegu procesu zaburzeń losowych, dotyczących czasów wykonania czynności roboczych, reprezentowane w modelu przez funkcje gęstości rozkładów prawdopodobieństw.

Budując model, zwracano uwagę, aby był on w maksymalnym stopniu elastycznym, umożliwiającym badanie wielu form organizacyjnych procesu. Zmieniając wartości odpowiednich wielkości wejściowych modelu możemy badać:

- procesy produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, występujące w dowolnym systemie konstrukcyjno-technologicznym budownictwa mieszkaniowego,
- przebieg procesów charakteryzujących się dowolnymi parametrami poszczególnych jego elementów składowych,
- przebieg procesu przy różnych formach organizacyjnych prowadzenia produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, a więc przy dowolnej liczbie zmian pracy na poszczególnych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, w magazynie wyrobów gotowych, realizowanych budowach oraz dowolnej ich długości, a także dowolnych terminach rozpoczęcia pracy na tych obiektach. Umożliwia to badanie procesu montażu budynków, prowadzonego metodą kolejnego, równoległego i potokowego wykonania,
- przebieg procesu w przypadku montażu budynków o dowolnych wielkościach i strukturach.

4.9. Ocena poprawności działania modelu oraz istotności uzyskanych wyników

Ocena poprawności działania modelu polega na porównywaniu, posługując się odpowiednimi testami statystycznymi, wyników uzyskanych z symulacji z wynikami zarejestrowanymi w rzeczywistości [74,91]. Przedmiotem porównań mogą być wartości średnie, wariancje, rozkłady prawdopodobieństwa.

W przypadku badanego procesu, ze względu na brak kompleksowych danych empirycznych, ocena wiarygodności uzyskiwanych wyników nie może być przeprowadzona drogą porównań uzyskanych wyników z danymi empirycznymi.

Poprawność modelu oceniono poprzez:

- sprawdzenie logicznej sieci działań modelu i porównaniu jej z przebiegiem procesu rzeczywistego,
- sprawdzenie zgodności generowanych przez generator liczb losowych ciągów liczb z opisującymi je rozkładami statystycznymi.

Uzyskane w wyniku badań symulacyjnych wartości charakterystyk mają charakter zmiennych losowych. Należy więc rozważyć problem oceny istotności uzyskanych wyników*. Ze względu na koszty i zastrwanie poszczególnych przebiegów symulacyjnych oraz charakter symulowanego procesu do analizy uzyskanych wyników zastosowano metodę korelacyjną. Pozwala ona ocenić istotność uzyskanych wyników na podstawie pojedynczego eksperymentu symulacyjnego.

Przebieg symulacyjny rozpoczyna się w chwili, w której system znajduje się w pewnym stanie początkowym. Stan początkowy systemu ma wpływ na uzyskane wartości jego charakterystyk. Istnieją dwie metody redukcji wpływu warunków początkowych na uzyskane wartości charakterystyk:

- dobranie warunków początkowych tak, aby odpowiadały warunkom rzeczywistym,

*/ Istnieje kilka metod rozwiązania tego problemu, między innymi: metoda powtarzania eksperymentu, metoda średnich odcinkowych, metoda korelacyjna analizy dyskretnych procesów losowych, metoda analizy widmowej [75].

- pominięcie w zbieraniu danych początkowej części przebiegu.

W przypadku badanego systemu, w chwili rozpoczęcia przebiegów symulacyjnych, przyjęto warunki początkowe, odpowiadające warunkom panującym w systemie rzeczywistym.

Uzyskane w wyniku badań symulacyjnych wartości charakterystyk mieściły się w przedziale ufności, wyznaczonym według wzoru

$$\bar{x} \pm \frac{V(x)}{\sqrt{M}} t_{\alpha/2}$$

gdzie:

$V(x)$ - estymator wariancji średniej z próbki, obliczony na podstawie funkcji autokorelacji [75],

M - ilość obserwacji w symulowanym przedziale czasu,

$t_{\alpha/2}$ - wartość statystyki t-Studenta dla α i M .

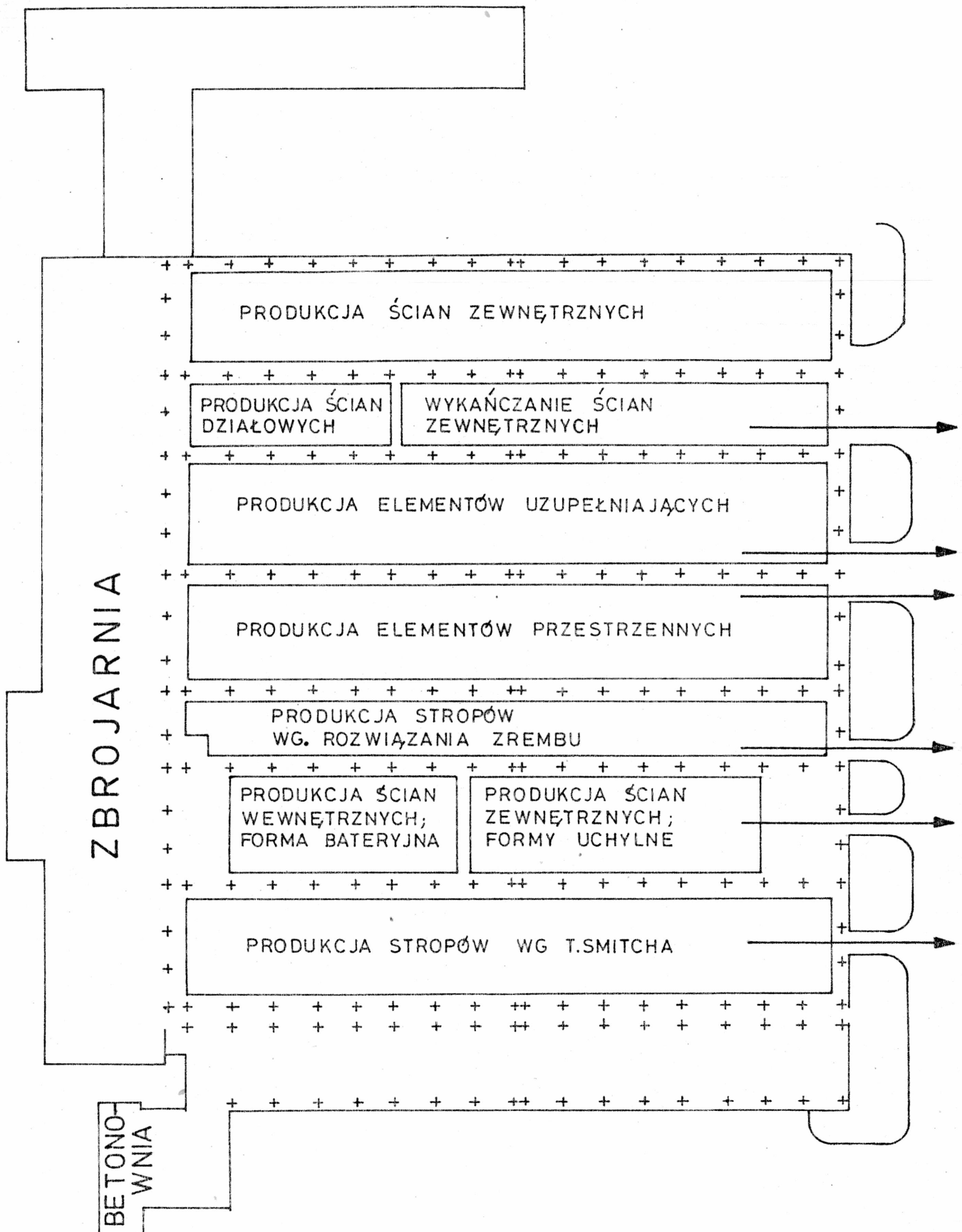
5. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA MODELU

5.1. Krótka charakterystyka przedmiotu badań

Przedmiotem badań jest proces produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych systemu W-70, realizowany we Wrocławskim Kombinacie Budowlanym.

Produkcja elementów prefabrykowanych

Elementy prefabrykowane dla systemu W-70 produkowane są w wytwórni prefabrykatów we Wrocławiu, przy ul. Szczecińskiej. Produkcja podstawowa tej wytwórni odbywa się na ośmiu liniach produkcyjnych, produkujących komplet elementów niezbędnych do realizacji budynków. Schemat rozmieszczenia linii produkcyjnych w Fabryce Domów we Wrocławiu przedstawiono na rysunku 5.1. Strukturę asortymentową oraz metody produkcji, zastosowane na poszczególnych liniach produkcyjnych, przedstawiono w tabeli 5.1. W chwili prowadzenia badań produkcja w wytwórni odbywała się na następujących liniach produkcyjnych: linii produkcji płyt stropowych-według rozwiązania T. Schmidta, linii produkcji ścian wewnętrznych nośnych, dwóch liniach produkcji ścian zewnętrznych, linii produkcji elementów przestrzennych oraz linii produkcji elementów uzupełniających. Nieczynne natomiast były: linia produkcji płyt stropowych-według rozwiązania ZREMB-u oraz forma bateryjna służąca do produkcji ścianek działowych. Na linii produkcji ścian zewnętrznych, zlokalizowanej w nawie II, odbywała się jedynie produkcja ścianek kolankowych oraz ścian ocieplających loggie, brak było natomiast produkcji ścian zewnętrznych szczytowych. W dalszych badaniach linię tę nazwano linią produkcji ścianek kolankowych. Praca na linii produkcji płyt stropowych, według rozwiązania T. Schmidta, odbywała się w systemie dwuzmianowym, natomiast na pozostałych liniach w systemie jednozmianowym.



Rys. 5.1. Schemat rozmieszczenia linii produkcyjnych w wytwórni prefabrykatów dla systemu W-70 we Wrocławiu

Tabela 5.1.

Charakterystyka linii produkcyjnych w wytwórni prefabrykatów dla systemu W-70, Wrocław

Lp.	Nawa	Linia produkcyjna	Asortyment	Metoda produkcji	Urządzenie wiodące	Naparzanie	Uwagi
1	I	LP Płyt stropowych wg T. Schmidta	Płyty stropowe otworowe	Przedmiotowo- -potokowa	Formy przestawne	Komory naparzalnicze	Wg. rozwiązania T.S. Formy były przesuwane na torze rolkowym. W chwili obecnej, formy przesta- wiane są suwnicą
2	II	LP Ścian wewnętrznych	Ściany wewnętrzne nośne	Przedmiotowo- -potokowa	Forma bateryjna o pracy cyklicz- nej		Wg. rozwiązania pierwotne- go, forma pracowała w sposób ciągły
3	II	LP Ścian zewnętrznych	Ścianki kolankowe Ścianki ocieplające Loggie Ściany szczytowe	Przedmiotowo- -stacjonarna	Formy uchylne		
4	IIa	LP Płyt stropowych wg ZREMB-u	Płyty stropowe otworowe Płyty drogowe Ścianki ażurowe	Przedmiotowo- -potokowa	Formy przestawne	Komora naparzalnicza	W czasie prowadzenia ba- dań, na linii produkowano tylko ścianki ażurowe
5	III	LP Elementów przestrzennych	Szyby windowe Kabiny Sanitarne Błoki we-ntylacyjne, Spalinowe, elektryczne	Przedmiotowo- -stacjonarna	Formy stacjonarne		
6	IV	LP Elementów uzupełniających	Płyty dachowe, Podesty, biegi schodowe, spoczniki Loggii	Przedmiotowo- -potokowa	Formy przestawne	Stosy naparzalnicze	
7	IVa	LP Ścianek Działowych	Ścianki działowe	Przedmiotowo- -potokowa	Forma bateryjna o pracy cyklicz- nej		W czasie prowadzenia ba- dań, brak produkcji
8	V	LP Ścian zewnętrznych	Ściany osłonowe Ściany szczytowe	Przedmiotowo- -stacjonarna	Formy uchylne		

Transport elementów

Elementy prefabrykowane przewożone są na realizowane budowy przy użyciu dwóch rodzajów zestawów transportowych, a mianowicie: ciągników balastowych typu TATRA i przyczep niskopodłogowych przystosowanych do przewozu kontenerów oraz ciągników siodłowych typu Jelcz i naczep niskopodłogowych. Sporadycznie transport elementów odbywa się również środkami transportowymi ogólnego przeznaczenia. Jednostki transportowe są własnością TRANSBUD-u i ich praca w Kombinacie odbywa się na zasadzie najmu. W kontenerach przewożone są elementy ścian wewnętrznych nośnych, zewnętrznych i działowych oraz elementy przestrzenne drobnowymiarowe.

Pozostałe elementy przewożone są ciągnikami siodłowymi, bezpośrednio na platformie naczepy.

Kompletacja elementów w magazynie wyrobów gotowych odbywa się według wcześniej opracowanej kolejności. Czasami zdarzają się odstępstwa od przyjętej kolejności transportu elementów, wynikające z braku potrzebnego elementu w magazynie wyrobów gotowych. Sytuacja ta powoduje również przypadki, że element bezpośrednio po jego rozformowaniu przewożony jest na budowę.

Montaż elementów

Obserwowano proces montażu prefabrykowanych budynków mieszkalnych na nowowznoszonym osiedlu Kosmonautów we Wrocławiu. Montowane budynki usytuowane były w odległości około 6 km od wytwórni prefabrykatów, z której dostarczano elementy prefabrykowane do ich montażu. Budynki te charakteryzowały się rzutami załamanyymi w planie oraz zróżnicowaną ilością kondygnacji poszczególnych segmentów. Montaż wszystkich budynków rozpoczynał się od ułożenia płyt stropowych nad piwnicami. Ściany piwnic wykonywane były w technologii na mokro.

Budynki montowano zgodnie z kolejnością podaną w punkcie 2.2.3 niniejszej pracy.

W trakcie prowadzonych badań sporadycznie obserwowano odstępstwa od przyjętej kolejności montażu. Przykładowo, w przypadku braku odpowiedniej ilości elementów szybów windowych, prowadzono montaż pozostałych elementów budynków, a następnie po zmontowaniu kilku jego kondygnacji uzupełniano zaległości w montażu brakujących uprzednio elementów.

5.2. Opis przeprowadzonych badań chronometrycznych

Przeprowadzono badania chronometryczne czasów trwania czynności wyszczególnionych w punkcie 2.4 niniejszej pracy. Badania wykonano metodą chronometrażu ciągłego oraz metodą fotografii dnia roboczego [32,96,97]. Metodę chronometrażu ciągłego zastosowano przy badaniach czasów trwania czynności występujących w procesie produkcji elementów prefabrykowanych, natomiast metodę fotografii dnia roboczego zastosowano przy badaniach czynności związanych z transportem i montażem elementów.

W celu opisanie strumieni zgłoszeń, występujących w analizowanym systemie masowej obsługi, badano na poszczególnych liniach produkcyjnych odstęp czasu między rozformowaniami kolejnych elementów.

Zgodnie z założeniami przyjętymi w punkcie 2.3 niniejszej pracy, a dotyczącymi pełnej konteneryzacji transportu elementów prefabrykowanych na budowy, sporządzono fotografie dnia pracy jednostek transportowych przystosowanych do przewozu kontenerów, a więc zestawów składających się z ciągników balastowych TATRA i przyczep niskopodłogowych. Z uzyskanych dla poszczególnych cykli transportowych czasów wyodrębniono czasy związane z: przetaczaniem kontenera pełnego w magazynie wyrobów gotowych ze stanowiska kontenerowego na jednostkę transportową, jazdą na budowę oraz przetaczaniem pełnego kontenera z jednostki transportowej na stanowisko kontenerowe na danej budowie. Czasy te zsumowano, a uzyskane wartości potraktowano jako jedną obserwację badanej zmiennej losowej,

określonej jako czas jazdy na budowę.

Podobnie obliczono, w każdym cyklu transportowym, wartość zmiennej losowej, określonej jako czas jazdy jednostki transportowej z budowy do magazynu wyrobów gotowych.

Fotografie dni roboczych sporządzono także dla brygad montażowych. Na podstawie uzyskanych czasów trwania poszczególnych czynności określono czasy cykli montażu poszczególnych typów elementów oraz czasy związane z wykonywaniem połączeń /złączy/ między tymi elementami.

5.3. Wyniki badań chronometrażowych

Zbiór uzyskanych obserwacji dla każdej wyszczególnionej zmiennej losowej stanowi próbkę losową z populacji generalnej. Aby otrzymane na podstawie próbki wyniki można było uogólnić na populację generalną, badana próbka musi być dostatecznie liczna. Liczebność próbki można określić, korzystając z centralnego twierdzenia granicznego [41]. Z twierdzenia tego wynika, że wartość średnia z próbki ma rozkład asymptotycznie normalny, przy dowolnym rozkładzie zmiennej losowej posiadającym skończoną wartość oczekiwaną i wariancję. Na tej podstawie liczebność próbki można określić według wzoru /5.1/, zgodnie z [41].

$$N = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot \sigma^2}{\Delta_x^2} \quad /5.1/$$

gdzie:

- t_{α} - wartość odczytana z rozkładu normalnego lub rozkładu t-studenta, zależna od przyjętego poziomu ufności $1-\alpha$,
- σ^2 - wariancja populacji generalnej estymowana wariancją z próbki,
- Δ_x^2 - dopuszczalny błąd bezwzględny oszacowanej średniej.

W przeprowadzonych badaniach liczebność próbek określono przyjmując: poziom ufności $1-\alpha = 0,95$, parametr $t_\alpha = 1,96$ oraz błąd oszacowania średniej 5 %.

Uzyskane z obliczeń wartości, określające niezbędną liczebność próbek dla poszczególnych zmiennych losowych, zamieszczono w tabeli 5.2.

Aby można było stwierdzić, czy badana zmienna losowa jest zmienną losową tworzącą proces stacjonarny, tzn. czy zmienne losowe są wzajemnie niezależne, należy obliczyć wartość współczynnika autokorelacji, opisanego wzorem /5.2./

$$r_a = \frac{\sum_{i=1}^N x_i x_{i+1} - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \frac{1}{N}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \frac{1}{N}} \quad /5.2/$$

gdzie:

x_i - oznacza wartość obserwacji i ,
 N - ilość obserwacji w próbie.

W przypadku gdy zmienne losowe są niezależne, to obliczony dla nich współczynnik autokorelacji powinien być równy zeru. Jak wynika z badań [75], wartość tego współczynnika przeważnie jest różna od zera. Hipotezę o tym, czy zmienne losowe są niezależne, można zweryfikować badając, czy wartość statystyki r_a mieści się w obszarze krytycznym, wyznaczonym przez r_α :

$$r_\alpha = \frac{t}{N-2+t^2} \quad /5.3/$$

gdzie:

$N-2$ - liczba stopni swobody,
 α - poziom istotności,
 t_α - parametr rozkładu t-Studenta

Gdy obliczona wartość współczynnika autokorelacji r_a jest mniejsza lub równa wartości teoretycznej r_α tego współczynnika, to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o niezależności badanych zmiennych losowych. Obliczone wartości współczynnika autokorelacji r_a oraz statystyki r_α dla $\alpha = 0,05$ zamieszczono w tabeli 5.2.

Uzyskane w trakcie badań obserwacje były podstawą do sporządzenia rozkładów empirycznych, które następnie aproksymowano rozkładami teoretycznymi. Zgodność rozkładu empirycznego z teoretycznym zweryfikowano testem χ^2 /wzór 5.4/

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \quad /5.4/$$

gdzie:

- k - liczba przedziałów w rozkładzie empirycznym,
- n_i - liczebność empiryczna przedziału i,
- n'_i - liczebność hipotetyczna przedziału i,

Obliczoną z próbki wartość porównano z wartością krytyczną, wyznaczoną z rozkładu chi-kwadrat dla k-1 stopni swobody. W przypadku gdy obliczona wartość statystyki χ^2 była większa od wartości krytycznej, przyjętą uprzednio hipotezę o typie rozkładu odrzucono.

Dla poszczególnych grup obserwacji uzyskane zgodności z rozkładami teoretycznymi przedstawiono w tabeli 5.2. oraz na rysunkach Z1, Z2, Z3, Z4 zamieszczonych w załączniku. Dla rozkładów odstępów czasu między rozformowaniami kolejnych elementów na poszczególnych liniach produkcyjnych nie uzyskano wystarczającej zgodności z rozkładami teoretycznymi.

5.4. Założenia przyjęte do badań symulacyjnych

Dla wszystkich przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych przyjęto następujące wspólne założenia:

Charakterystyka statystyczna poszczególnych grup obserwacji

Lp.	Określenie zmiennej losowej		Liczba- ność próbki	Określenie niezależności		Weryfikacja hipotezy o typie rozkładu					
						Aproksymowany typ rozkładu	$E/x/$ [sek]	$V/x/$ [sek]	$\bar{G}$	χ^2	χ^2_0
1	Odstępy czasu między kolejnymi rozformowa- nymi elementami	Płyt stropowych	935	0,394	0,355	Erlanga k=2	2230	4892400	2160	97,93	19,679
2		Ścian wewnętrznych nośnych	1120	0,428	0,355	Wykładniczy	1758	185504000	13620	180,35	16,662
3		Ścianek kolankowych	1340	0,560	0,355	Wykładniczy	2550	56250000	7500	154,20	19,679
4		Przestrzennych	2050	0,780	0,355	Wykładniczy	814	13104400	3620	102,58	19,79
5		Uzupełniających	1530	0,690	0,355	Wykładniczy	3330	20430400	4520	84,28	19,679
6		Ścian zewnętrznych	1732	0,720	0,355	Wykładniczy	3808	50708641	7121	150,85	19,679
7	Czas cyklu montażu	Płyt stropowych	113	0,1694	0,3803	Erlanga K=4	330	10404	102	7,800	15,507
8		Ścian wewnętrznych nośnych	138	0,371	0,3803	Erlanga K=3	797	42436	206	6,776	22,362
9		Ścianek kolankowych	173	0,325	0,355	Wykładniczy	494	46656	216	7,849	24,996
10		Elementów przestrzen.	215	0,275	0,355	Wykładniczy	551	50176	224	18,028	21,026
11		Elementów uzupełnia- jących	230	0,090	0,380	Erlanga K=2	410	33124	182	18,942	19,675
12		Ścian zewnętrznych	280	0,505	0,355	Erlanga K=3	637	61005	247	25,026	26,296
13	Czas jazdy na budowę		188	0,247	0,355	Erlanga K=4	1866	401956	634	12,45	15,507
14	Czas jazdy z budowy		140	0,253	0,355	Erlanga K=5	1507	157609	397	7,499	15,507
15	Czas wykonywania połączeń		16	0,151	0,355	Równomierny	24360	27390	165,49	0,387	11,668

- produkcja elementów prefabrykowanych odbywa się na sześciu liniach produkcyjnych, odpowiadających następującym liniom produkcyjnym wytwórni prefabrykatów
 - linii produkcji płyt stropowych według T. Schmidta,
 - linii produkcji ścian wewnętrznych nośnych,
 - linii produkcji ścianek kolankowych,
 - linii produkcji elementów przestrzennych,
 - linii produkcji elementów uzupełniających,
 - linii produkcji ścian zewnętrznych.
- minimalny okres przechowywania elementów w magazynie wyrobów gotowych wynosi 7 dni,
- w chwili rozpoczęcia procesu produkcji, transportu i montażu w magazynie wyrobów gotowych znajdowała się ilość elementów odpowiadająca średniej, jednozmianowej, dwudziestopięciodniowej produkcji,
- długość zmiany roboczej wynosi 7 godz. 25 min. zgodnie z [46],
- wielkość i struktura montowanych budynków odpowiada obiektowi, którego rzuty przedstawiono na rysunkach 5,6, zamieszczonych w załączniku.
- montaż budynków prowadzony jest wyłącznie na jedną zmianę,
- obok każdego montowanego budynku znajdują się cztery stanowiska kontenerowe,
- symulacja montażu wszystkich budynków rozpoczyna się w czasie symulacyjnym równym zero,
- generacja zmiennych losowych odbywa się na podstawie rozkładów empirycznych, zadanych histogramami.

Pozostałe założenia szczegółowe, zmienne dla poszczególnych eksperymentów symulacyjnych, a dotyczące ilości zmian pracy na poszczególnych liniach produkcyjnych w Fabryce Domów, liczby jednocześnie montowanych budynków oraz liczby zatrudnionych jednostek transportowych podano każdorazowo przy omawianiu uzyskanych wyników badań.

5.5. Wyniki badań symulacyjnych i ich analiza

Badania symulacyjne przeprowadzono pod kątem określenia warunków harmonijnego przebiegu procesu, przy założeniu jednoczesnego montażu dwóch, czterech, sześciu i ośmiu budynków.

5.5.1. Jednoczesny montaż dwóch budynków

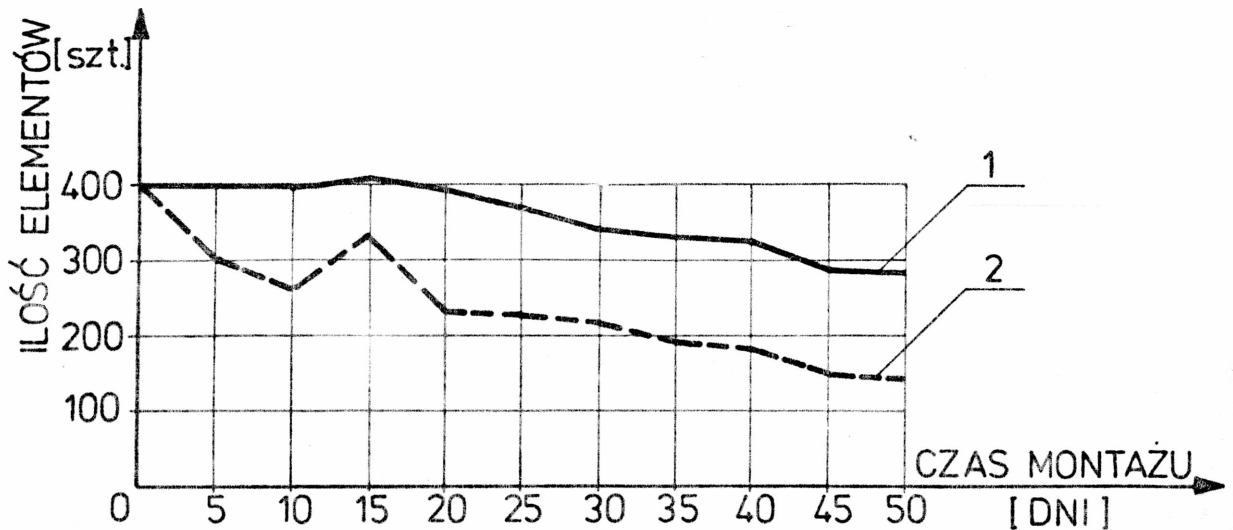
Punktem wyjścia dla tego eksperymentu symulacyjnego były następujące założenia:

- praca jednozmianowa na wszystkich liniach produkcyjnych,
- cztery jednostki transportowe obsługujące budowy,
- cztery stanowiska kontenerowe obok każdego montowanego budynku.

Analizując uzyskane wyniki, stwierdzono, że wydajności poszczególnych linii produkcyjnych nie odpowiadają zapotrzebowaniu na produkowane elementy.

Na rysunku 5.2 przedstawiono wykresy zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków. Na rysunku tym krzywa 1 oznacza całkowitą ilość płyt stropowych, natomiast krzywa 2 oznacza ilość płyt stropowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową. Różnica tych ilości określa tzw. zapas technologiczny, wynikający z konieczności przebywania elementów w magazynie wyrobów gotowych do momentu uzyskania przez nie wytrzymałości, umożliwiającej ich transport i natychmiastowy montaż.

Przebieg krzywych świadczy o tym, że popyt na elementy jest większy niż ich podaż. Stan zapasu tych elementów w magazynie wyrobów gotowych, w momencie rozpoczęcia montażu, gwarantował, że miał on sprawny przebieg. W przypadku montażu budynków o tej samej strukturze, lecz większej liczbie kondygnacji lub kontynuacji montażu kolejnych dwóch takich samych budynków nastąpiłyby zahamowania w montażu z powodu małej wydajności



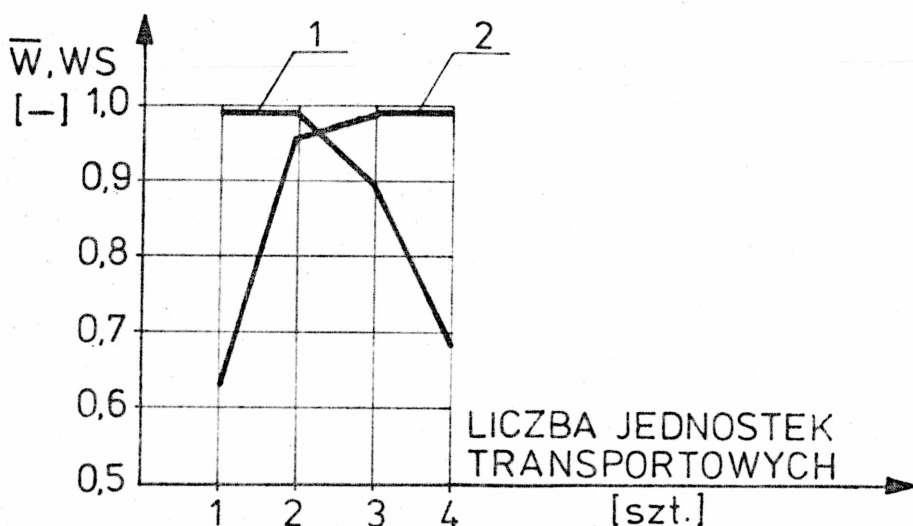
Rys. 5.2. Przebieg zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w czasie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość płyt stropowych.
Krzywa 2 - ilość płyt stropowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

linii produkcji płyt stropowych. W takiej sytuacji należałoby okresowo organizować pracę na tej linii na dwie zmiany.

Odnosnie do wydajności pozostałych linii stwierdzono, że są one zbyt duże w stosunku do potrzeb. W przypadku niezmiennego popytu na elementy produkowane na tych liniach i przy dłuższym czasie trwania montażu wystąpią zahamowania w produkcji z uwagi na przepełnienie magazynu wyrobów gotowych. Przykładowo, na rysunku 5.3 przedstawiono wykresy ilustrujące zmianę ilości ścian wewnętrznych nośnych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków. Wykresy ilustrujące zmianę ilości elementów pozostałych typów w magazynie wyrobów gotowych przedstawiono na rysunkach Z7, Z8, Z9 i Z10, zamieszczonych w załączeniu.

Stwierdzono również, że zatrudnienie czterech jednostek transportowych jest niewskazane ze względu na małe ich wykorzystanie. W trakcie przebiegu procesu średnio 2,601 jednostki transportowej oczekiwało na załadunek, a średni czas ich oczekiwania wynosił 53 min. 35 sek. Współczynnik wykorzystania jednostek transportowych wynosił 0,6838.

przedstawiono na rysunku 5.4., gdzie krzywa 1 oznacza przebieg zmiany wartości współczynnika wykorzystania jednostek transportowych, natomiast krzywa 2 oznacza przebieg zmiany wartości współczynnika wykorzystania żurawi.

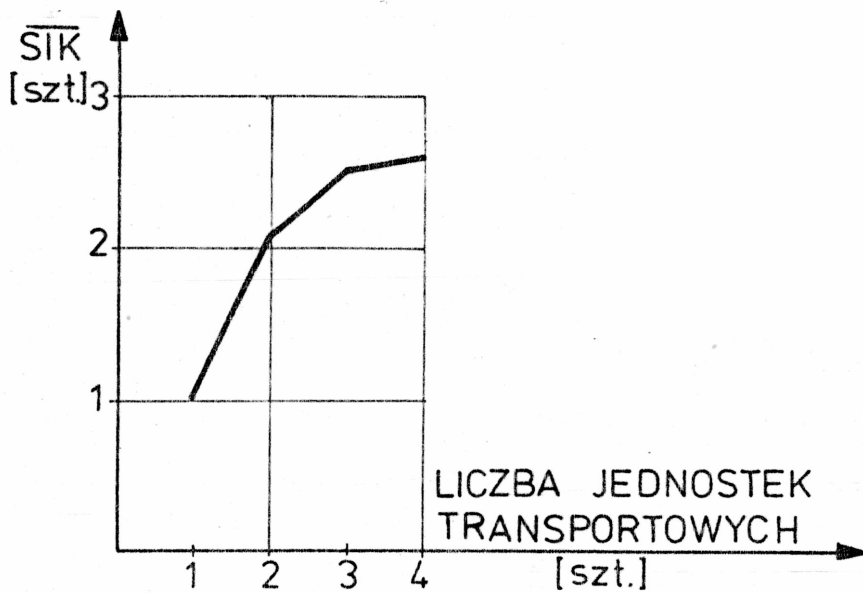


Rys. 5.4. Wykresy zmiany wartości współczynników wykorzystania środków technicznych, w zależności od liczby zatrudnionych jednostek transportowych, uzyskane przy jednoczesnym montażu dwóch budynków. Krzywa 1 - dla jednostek transportowych "WS". Krzywa 2 - dla żurawi "W".

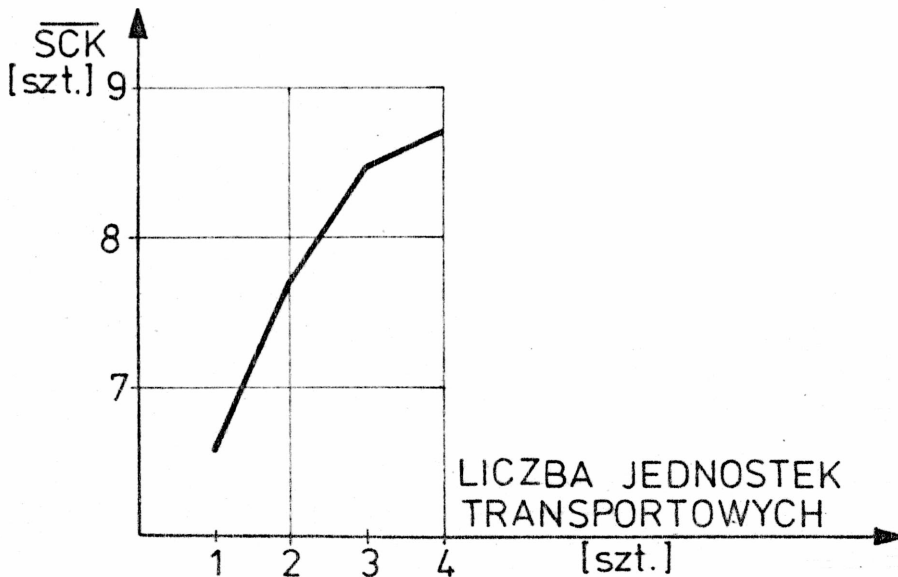
Z analizy tych wykresów wynika, że maksymalne wykorzystanie żurawi ma miejsce w przypadku zatrudnienia dwóch i więcej jednostek transportowych. Maksymalne wykorzystanie jednostek transportowych występuje natomiast przy zatrudnieniu jednej i dwóch jednostek transportowych.

Liczba zatrudnionych jednostek transportowych ma z kolei wpływ na kształtowanie się średniej ilości kontenerów na budowach i średniego czasu ich oczekiwania na rozładunek. Wykresy zmiany wartości tych charakterystyk w zależności od ilości zatrudnionych jednostek transportowych przedstawiono na rysunkach 5.5 i 5.6.

Porównując wartości uzyskanych charakterystyk z wartościami współczynników wykorzystania środków technicznych, stwierdzono, że sprawny montaż dwóch budynków będzie zapewniony wówczas, gdy na budowie znajdować się będą średnio dwa pełne kontenery.



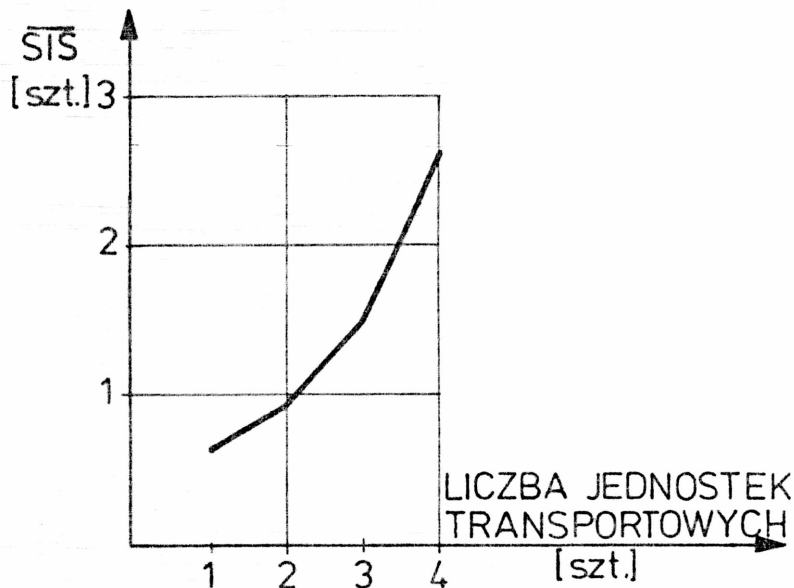
Rys. 5.5. Średnia ilość kontenerów "SIK", oczekujących na rozładunek na realizowanych budowach, przy jednoczesnym montażu dwóch budynków, w zależności od liczby zatrudnionych jednostek transportowych.



Rys. 5.6. Średni czas oczekiwania kontenerów "SCK" na rozładunek na realizowanych budowach przy jednoczesnym montażu dwóch budynków, w zależności od liczby zatrudnionych jednostek transportowych

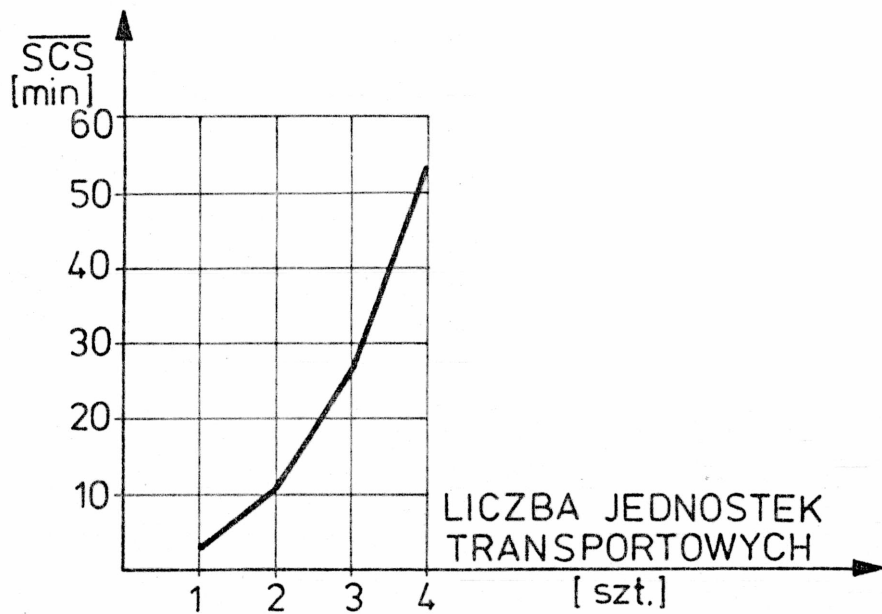
Z analizy wyników badań symulacyjnych, uzyskanych przy założeniu jednoczesnego montażu dwóch budynków wynika, że:

- harmonijny przebieg procesu oraz maksymalne wykorzystanie środków technicznych będzie miało miejsce wtedy, gdy w systemie pracować będą jednocześnie dwie jednostki transportowe. W takim układzie średnio 0,951 jednostki transportowej oczekiwać będzie w kolejce w magazynie wyrobów gotowych na załadunek, a średni ich czas oczekiwania wynosić będzie 11 min.



Rys. 5.7. Średnia ilość jednostek transportowych "SIS", oczekujących na załadunek w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków, w zależności od liczby zatrudnionych jednostek transportowych.

- ilość stanowisk kontenerowych obok każdego montowanego budynku można zmniejszyć do trzech,
- przy zatrudnieniu jednej jednostki transportowej lub dwóch stanowiskach kontenerowych przy montowanych budynkach wystąpią zahamowania w montażu z powodu braku elementów na budowach. Wydłuży się wówczas czas montażu tych budynków.



Rys. 5.8. Średni czas oczekiwania jednostek transportowych "SCS" w magazynie wyrobów gotowych w zależności od liczby zatrudnionych jednostek transportowych, w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków.

5.5.2. Jednoczesny montaż czterech budynków

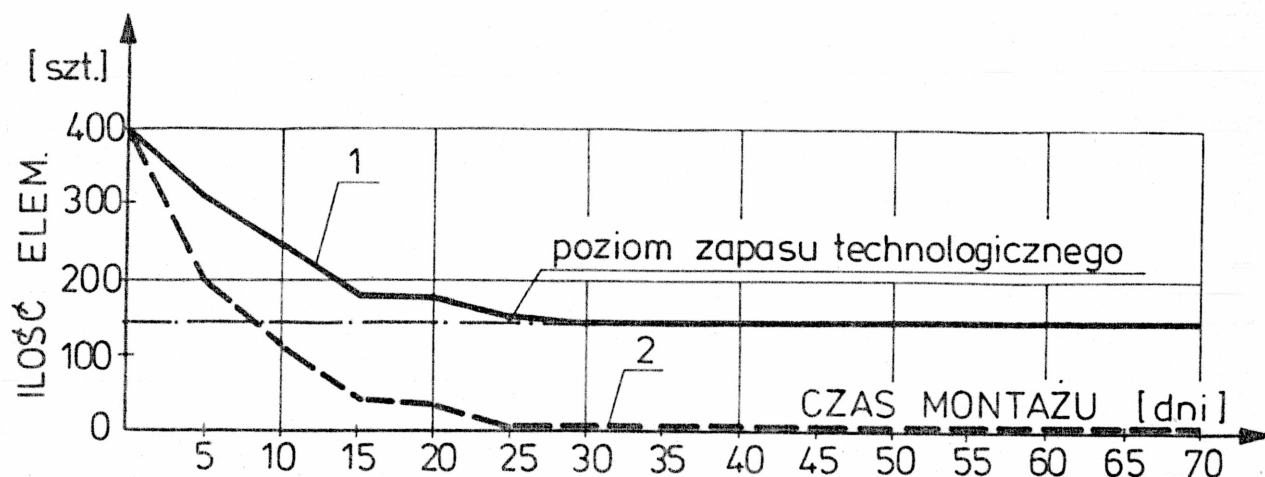
Punktem wyjścia dla tego eksperymentu symulacyjnego były następujące założenia:

- praca jednozmianowa na wszystkich liniach produkcyjnych,
- cztery jednostki transportowe obsługujące budowy,
- cztery stanowiska kontenerowe obok każdego montowanego budynku.

Analizując uzyskane wyniki badań, stwierdzono, że podobnie jak przy jednoczesnym montażu dwóch budynków wydajności poszczególnych linii produkcyjnych w przypadku jednoczesnego montażu czterech budynków, nie odpowiadają zapotrzebowaniu na produkowane elementy.

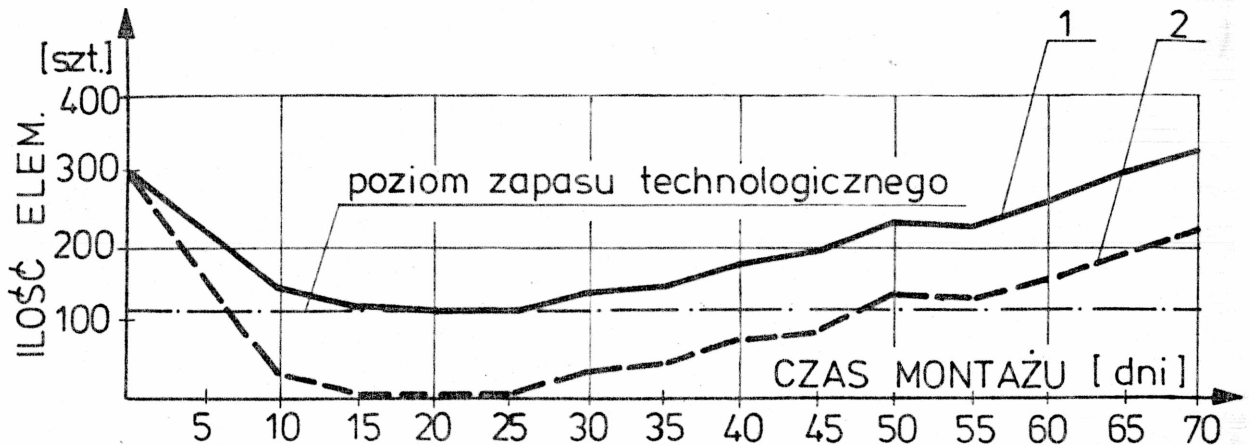
Na rysunku 5.9 przedstawiono wykresy zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych, natomiast na rysunku 5.10

przedstawiono wykresy zmiany ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków.



Rys. 5.9. Przebieg zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość płyt stropowych.
Krzywa 2 - ilość płyt stropowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

Z rysunków tych wynika, że popyt na płyty stropowe oraz ściany zewnętrzne jest większy niż ich podaż. Stan zapasu tych elementów w magazynie wyrobów gotowych w chwili rozpoczęcia montażu gwarantował, że przebieg montażu budynków był sprawny w ciągu pierwszych piętnastu dni. W pierwszej kolejności, po upływie piętnastu dni od momentu rozpoczęcia montażu zabrakło w magazynie wyrobów gotowych ścian zewnętrznych, posiadających wymaganą wytrzymałość transportową, a po upływie następnych dziesięciu dni zabrakło w magazynie wyrobów gotowych płyt stropowych, posiadających wymaganą wytrzymałość transportową. Całkowita ilość płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych utrzymywała się od dwudziestego piątego dnia montażu do momentu jego zakończenia na poziomie zapasu technologicznego.

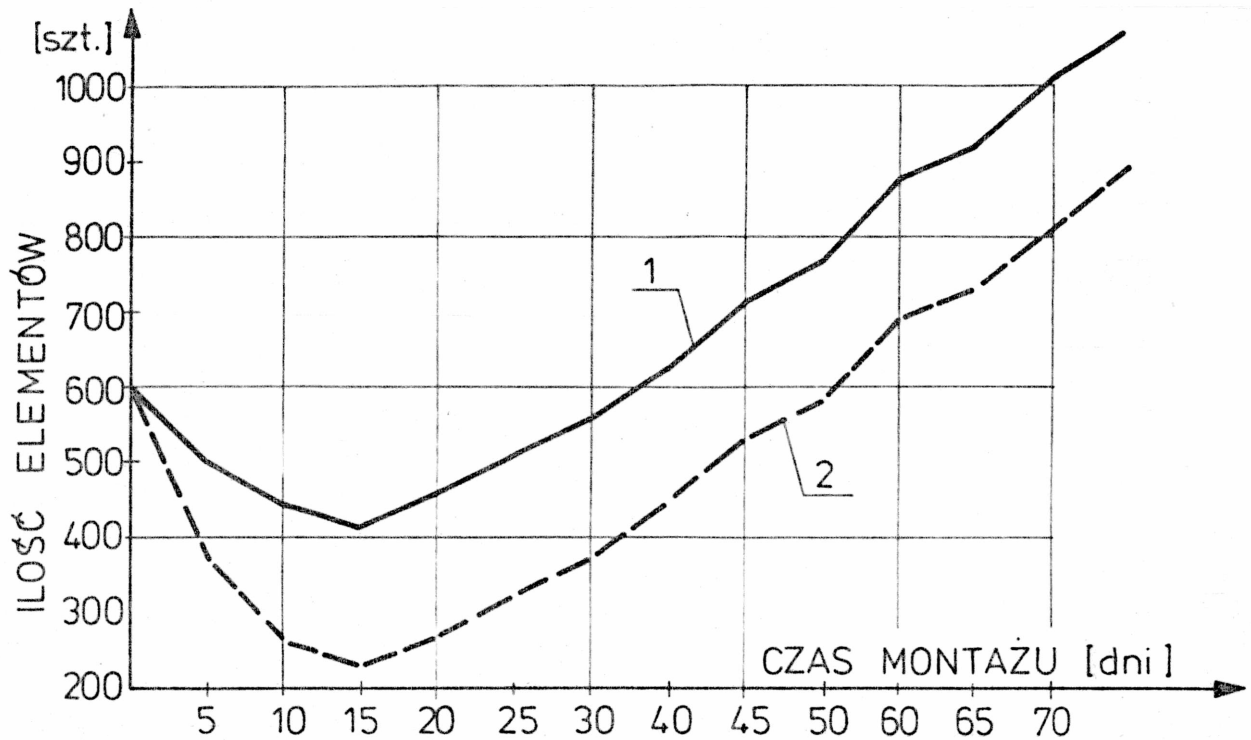


Rys. 5.10. Przebieg zmiany ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednego dnia montażu czterech budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścian zewnętrznych.
Krzywa 2 - ilość ścian zewnętrznych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

Natomiast ilość płyt stropowych posiadających wymaganą wytrzymałość transportową do momentu zakończenia montażu budynków bliska była zeru. Minimalną ilość ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych, wynikającą z wielkości zapasu technologicznego, zaobserwowano od piętnastego do dwudziestego piątego dnia montażu, po czym ilość tych elementów w magazynie wyrobów gotowych zaczyna rosnąć. Świadczy to o tym, że decydujący wpływ na hamowanie tempa montażu budynków ma mała wydajność linii produkcji płyt stropowych.

Brak płyt stropowych i ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych powoduje hamowanie tempa montażu, co w konsekwencji prowadzi do wydłużenia jego czasu oraz do zmniejszenia popytu na pozostałe typy elementów. Ilości tych elementów w magazynie wyrobów gotowych wraz z upływem czasu szybko narastają. Przykładowo, na rysunku 5.11 przedstawiono wykresy zmiany ilości ścian wewnętrznych nośnych w magazynie wyrobów gotowych

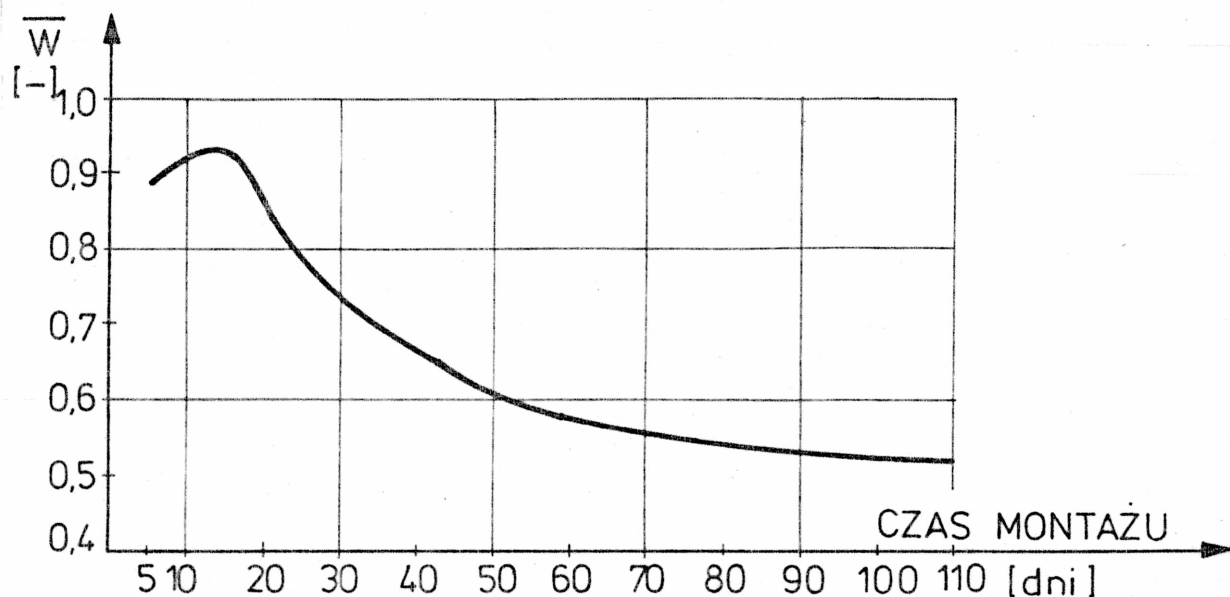
w trakcie trwania montażu czterech budynków. Wykresy ilustrujące zmianę ilości elementów pozostałych typów w magazynie wyrobów gotowych przedstawiono na rysunkach Z11, Z12 i Z13, zamieszczonych w załączniku.



Rys. 5.11. Przebieg zmiany ilości ścian wewnętrznych nośnych, w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków, przy założeniu jednorodnorodnej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścian wewnętrznych nośnych.
Krzywa 2 - ilość ścian wewnętrznych nośnych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

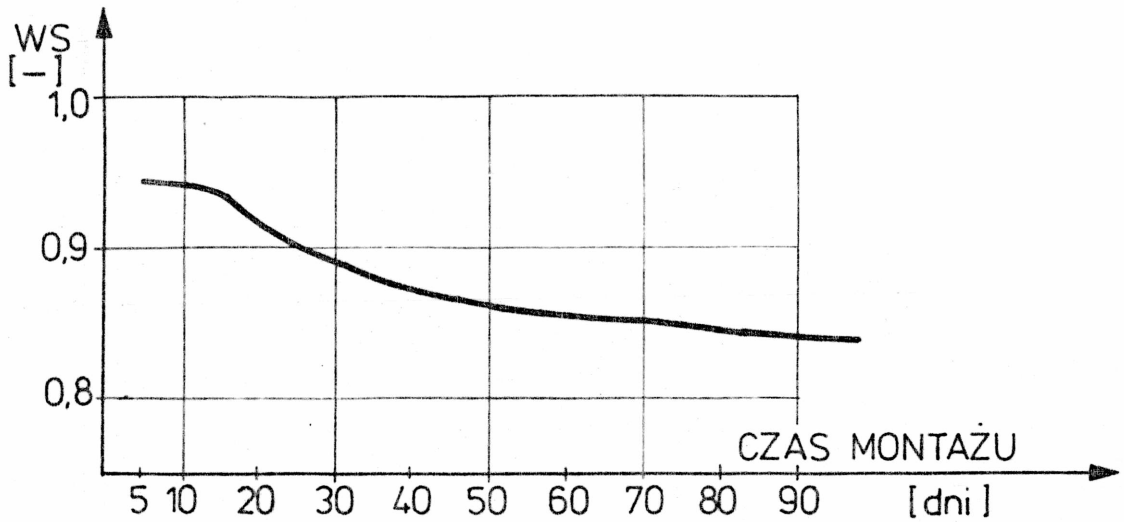
Na rysunkach 5.12 i 5.13 przedstawiono wykresy zmiany wartości współczynników wykorzystania żurawi oraz jednostek transportowych w czasie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków. Z analizy tych wykresów wynika, że od piętnastego dnia montażu znacznie spada wykorzystanie środków technicznych. Brak elementów płyt stropowych i ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów

gotowych powoduje przestoje jednostek transportowych oczekujących na zamawiane elementy oraz przestoje żurawi. Brak tych elementów powoduje również wydłużenie czasu montażu budynków do 105 zmian roboczych przy równoczesnym wykorzystaniu jednostek transportowych na poziomie 0,8452 oraz żurawi na poziomie 0,5209.



Rys. 5.12. Zmiana wartości współczynnika wykorzystania żurawi w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, uzyskanych przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych oraz przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.

Kolejną symulację przeprowadzono przy założeniu pracy dwuzmianowej na liniach produkcji płyt stropowych oraz ścian zewnętrznych. Pozostałe założenia nie uległy zmianie. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wydajności linii produkcji płyt stropowych, ścian wewnętrznych nośnych, ścianek kolankowych oraz elementów uzupełniających są wystarczające dla potrzeb jednoczesnego montażu czterech budynków. Ilości tych elementów w magazynie wyrobów gotowych w momencie zakończenia montażu budynków odpowiadają, z niewielkimi tylko różnicami, ilościom elementów, które znajdowały się w magazynie wyrobów gotowych w momencie rozpoczęcia montażu. Oznacza to, że popyt i podaż na te elementy były zrównoważone. Na rysun-

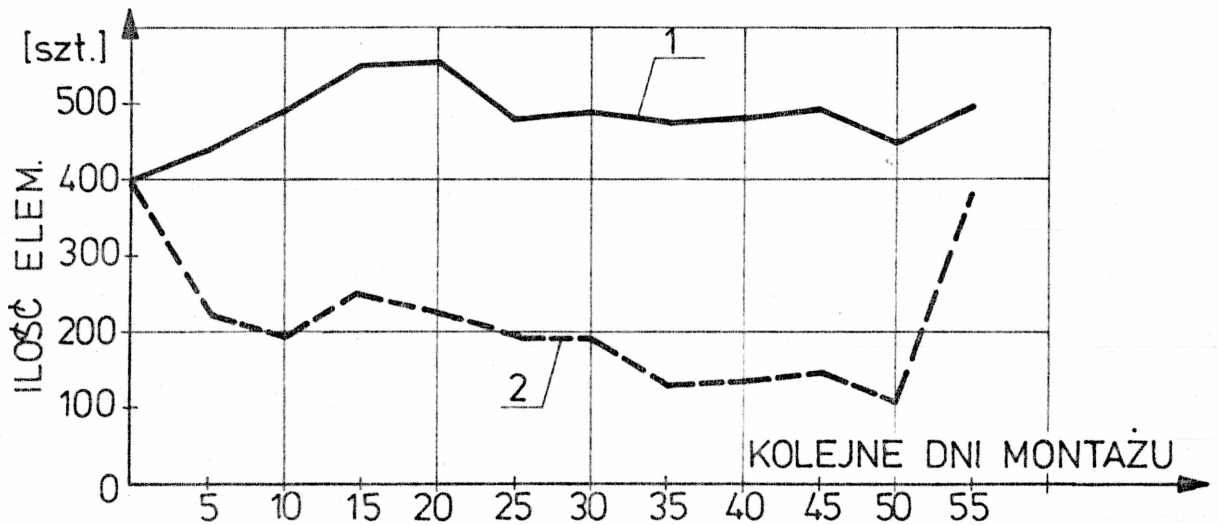


Rys. 5.13. Zmiana wartości współczynnika wykorzystania jednostek transportowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, uzyskanych przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.

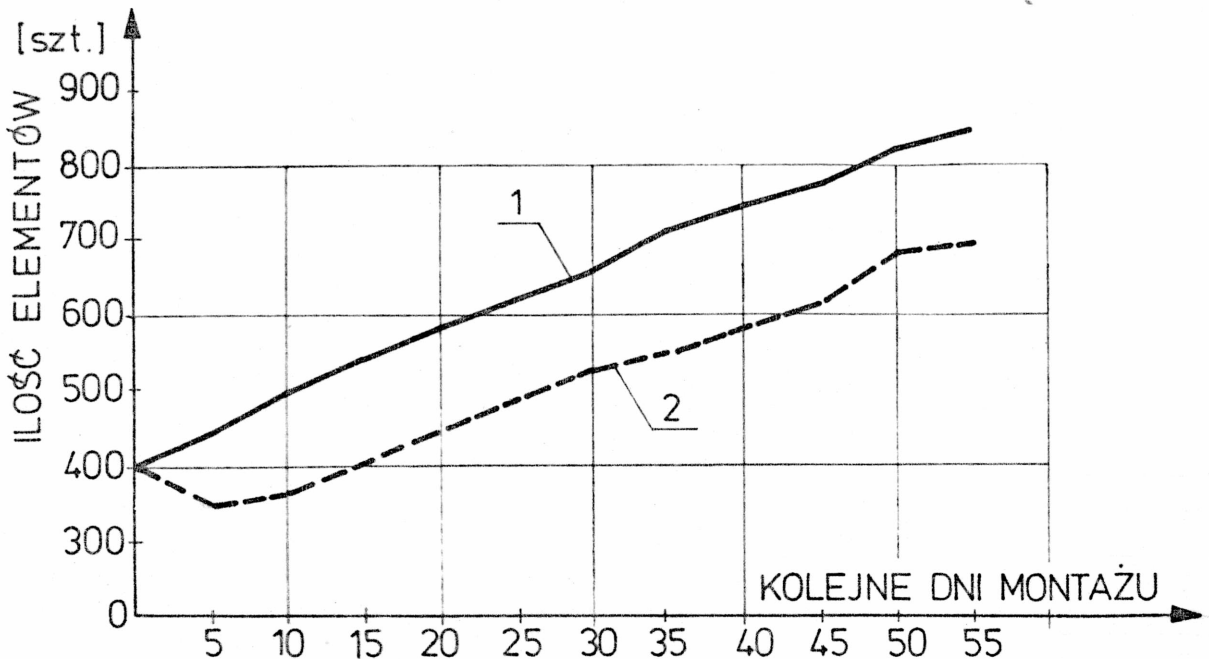
ku 5.14 przedstawiono wykresy zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków. Wykresy dotyczące zmiany ilości ścian wewnętrznych nośnych, ścianek kolankowych oraz elementów uzupełniających przedstawiono na rysunkach Z14, Z15 i Z16, zamieszczonych w załączniku.

Stwierdzono natomiast, że wydajności linii produkcji elementów przestrzennych i ścian zewnętrznych są zbyt duże w stosunku do potrzeb. Ilości tych elementów w magazynie wyrobów gotowych ciągle rosną. Na rysunku 5.15 przedstawiono wykresy zmiany ilości elementów przestrzennych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków. Wykresy dotyczące zmiany ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych przedstawiono na rysunku Z17, zamieszczonym w załączniku.

Na podstawie uzyskanych wartości współczynników wykorzystania środków technicznych można wnioskować, że sprawny montaż na wszystkich obiektach zostanie zapewniony przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych. Wówczas współczynnik wykorzystania żurawi wyniesie 0,9374, natomiast współczynnik



Rys. 5.14. Przebieg zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu pracy dwuzmianowej na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz jednozmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych
Krzywa 1 - całkowita ilość płyt stropowych.
Krzywa 2 - ilość płyt stropowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



Rys. 5.15. Przebieg zmiany ilości elementów przestrzennych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu pracy dwuzmianowej na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz jednozmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych
Krzywa 1 - całkowita ilość elementów przestrzennych.
Krzywa 2 - ilość elementów przestrzennych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość trans-

wykorzystania jednostek transportowych wyniesie 0,9458. Średnia ilość jednostek transportowych, oczekujących w magazynie wyrobów gotowych na załadunek, wyniesie 0,808 przy średnim czasie ich oczekiwania wynoszącym 9 min 40 sek. Średnia ilość kontenerów na budowach wynosi 2,0875, natomiast średni ich czas oczekiwania na rozładunek wynosi 7 godz. 43 min. Czas trwania montażu budynków wynosi 59 dni.

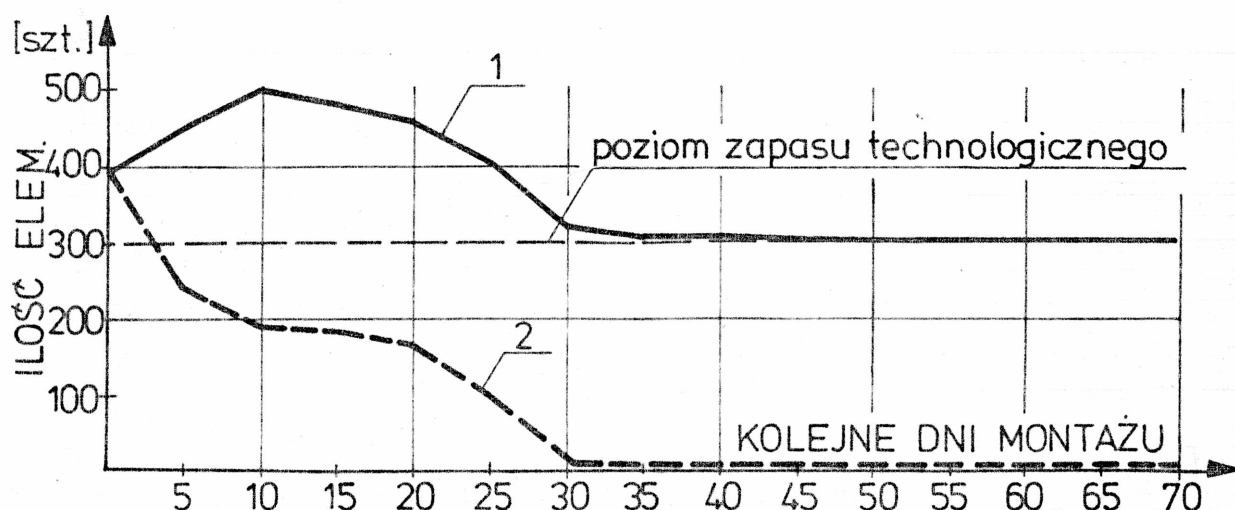
5.5.3. Jednoczesny montaż sześciu budynków

Badania symulacyjne przeprowadzono przy następujących założeniach:

- praca jednozmianowa na linii produkcji elementów przestrzennych,
- praca dwuzmianowa na pozostałych liniach produkcyjnych,
- cztery jednostki transportowe obsługujące wszystkie obiekty,
- cztery stanowiska kontenerowe obok każdego montowanego budynku.

Analizując uzyskane wyniki badań, stwierdzono, że wydajności poszczególnych linii produkcyjnych nie odpowiadają zapotrzebowaniu na produkowane elementy.

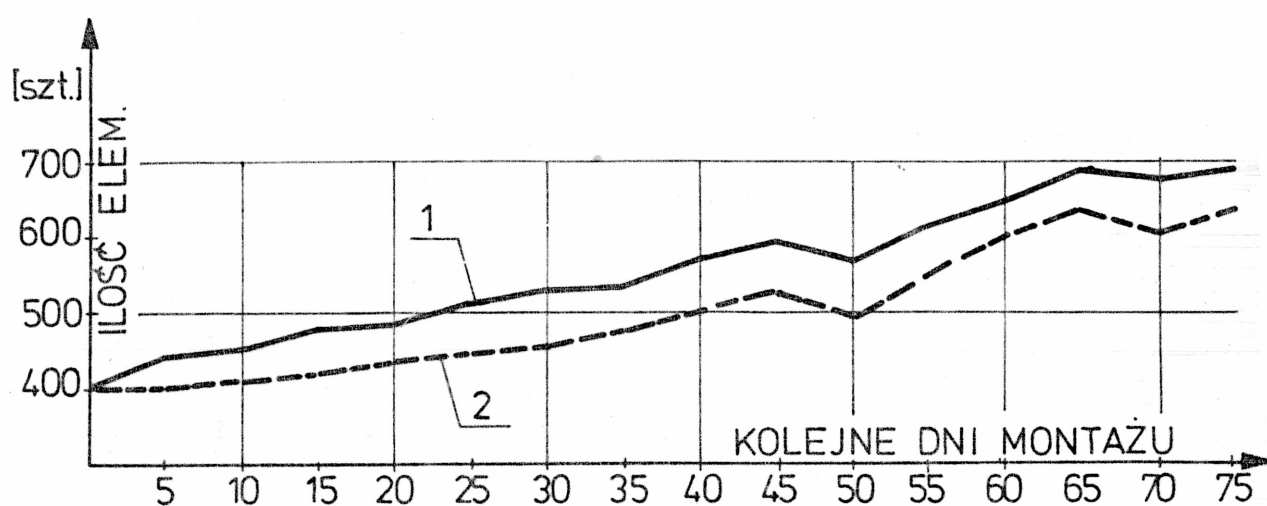
Na rysunku 5.16 przedstawiono wykresy zmian ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków. Z wykresów tych wynika, że po trzydziestu dniach montażu w magazynie wyrobów gotowych zabrakło płyt stropowych, posiadających wymaganą wytrzymałość transportową. Ilość tych elementów w magazynie wyrobów gotowych utrzymuje się od trzydziestego dnia montażu do jego zakończenia na poziomie zapasu technologicznego. Odnośnie do wydajności pozostałych linii stwierdzono, że są one zbyt duże w stosunku do potrzeb, co jest szczególnie widoczne dla wszystkich elementów produkowanych w systemie dwuzmianowym. Ilość tych elementów w magazynie wyrobów gotowych rosną wraz



Rys. 5.16. Przebieg zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu jednozmiannowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych, dwuzmiannowej pracy na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość płyt stropowych.
 Krzywa 2 - ilość płyt stropowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

z upływem czasu montażu budynków. Na rysunku 5.17 przedstawiono przykładowo wykresy zmiany ilości elementów przestrzennych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków. Wykresy dotyczące elementów pozostałych typów przedstawiono na rysunkach Z18, Z19, Z20 i Z21, zamieszczonych w załączniku.

Uzyskane wartości współczynników wykorzystania środków technicznych świadczą o maksymalnym wykorzystaniu przyjętej ilości jednostek transportowych oraz małym wykorzystaniu żurawi. Wartości tych współczynników wynoszą odpowiednio 0,9776 oraz 0,6756. Średnia ilość jednostek transportowych oczekujących na załadunek w magazynie wyrobów gotowych wynosi 0,251 przy średnim czasie ich oczekiwania 5 min 25 sek. Średnia ilość kontenerów na budowach wynosi 1,118, natomiast średni czas ich oczekiwania na rozładunek wynosi 5 godz. 40 min 16 sek. Czas trwania montażu budynków wynosi 75 dni.



Rys. 5.17. Przebieg zmiany ilości elementów przestrzennych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych, dwuzmianowej pracy na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.

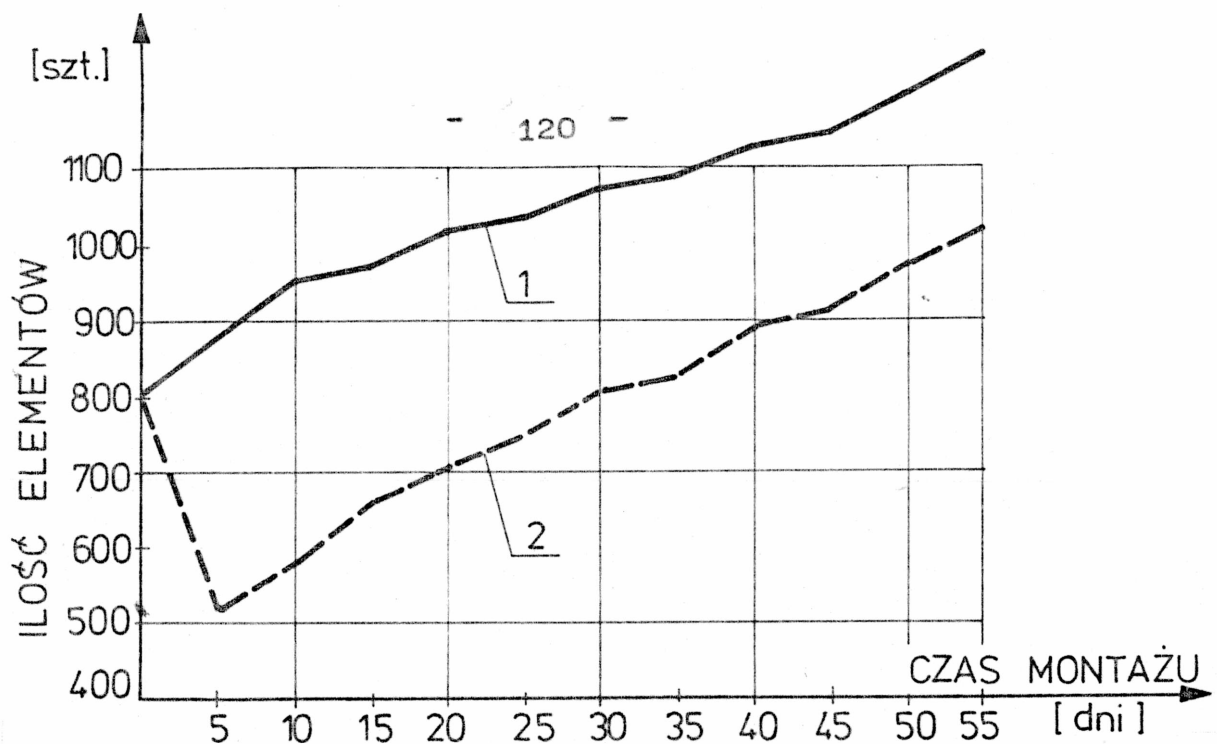
Krzywa 1 - całkowita ilość elementów przestrzennych
Krzywa 2 - ilość elementów przestrzennych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

Kolejną symulację przeprowadzono przy założeniu trzymianowej produkcji na linii produkcji płyt stropowych oraz zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych obsługujących montowane budynki, przy niezmiennych wartościach pozostałych parametrów. Zmiany te wprowadzono na podstawie analizy wyników uzyskanych z poprzedniej symulacji.

Na rysunku 5.18 przedstawiono wykresy zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków.

Z rysunku tego wynika, że trzymianowa produkcja linii produkcji płyt stropowych jest zbyt duża w stosunku do potrzeb. Wydaje się, że dla zapewnienia ciągłości równoczesnego montażu sześciu budynków celowe byłoby organizowanie ciągłej pracy dwuzmianowej oraz okresowej pracy na trzeciej zmianie.

Dwuzmianowa produkcja linii produkcji ścian wewnętrznych nośnych, ścian kolankowych, elementów uzupełniających i ścian

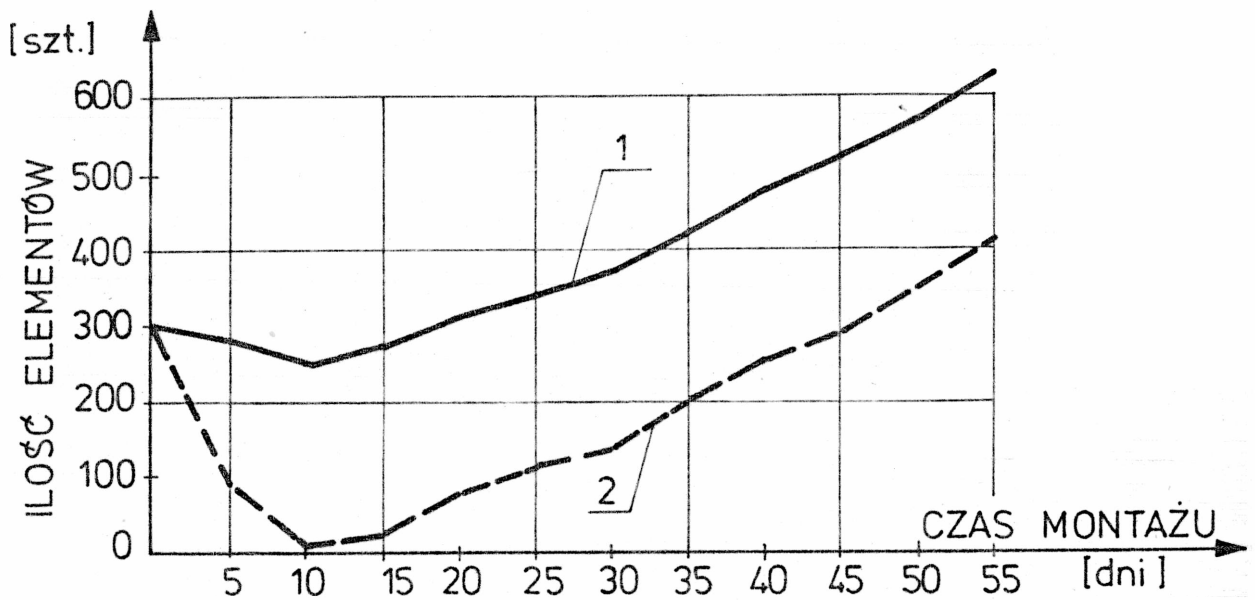


Rys. 5.18. Przebieg zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych
 Krzywa 1 - całkowita ilość płyt stropowych
 Krzywa 2 - ilość płyt stropowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową

zewnętrznych jest również zbyt duża w stosunku do potrzeb jednoczesnego montażu sześciu budynków. Również w przypadku tych linii, celowe wydaje się organizowanie pracy okresowej na drugiej zmianie. Przykładowo, na rysunku 5.19 przedstawiono wykresy zmiany ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania montażu budynków. Wykresy dotyczące elementów pozostałych typów przedstawiono na rysunkach Z22, Z23, Z24 i Z25, zamieszczonych w załączniku.

Uzyskane dla tego przypadku wartości współczynników wykorzystania środków technicznych świadczą o maksymalnym ich wykorzystaniu. Współczynnik wykorzystania jednostek transportowych wynosi 0,9705, natomiast wartość współczynnika wykorzystania żurawi wynosi 0,9570.

Średnia ilość samochodów oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych wynosi 0,494, a średni ich czas przebywania w kolejce wynosi 7 min 35 sek.



Rys. 5.19. Przebieg zmiany ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu trzyzmianowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścian zewnętrznych.
Krzywa 2 - ilość ścian zewnętrznych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

Średnia ilość kontenerów na budowach wynosi 2,279, natomiast ich średni czas oczekiwania na rozładunek wynosi 8 godz. 35 sek.

Czas trwania montażu budynków wynosi 58 zmian roboczych.

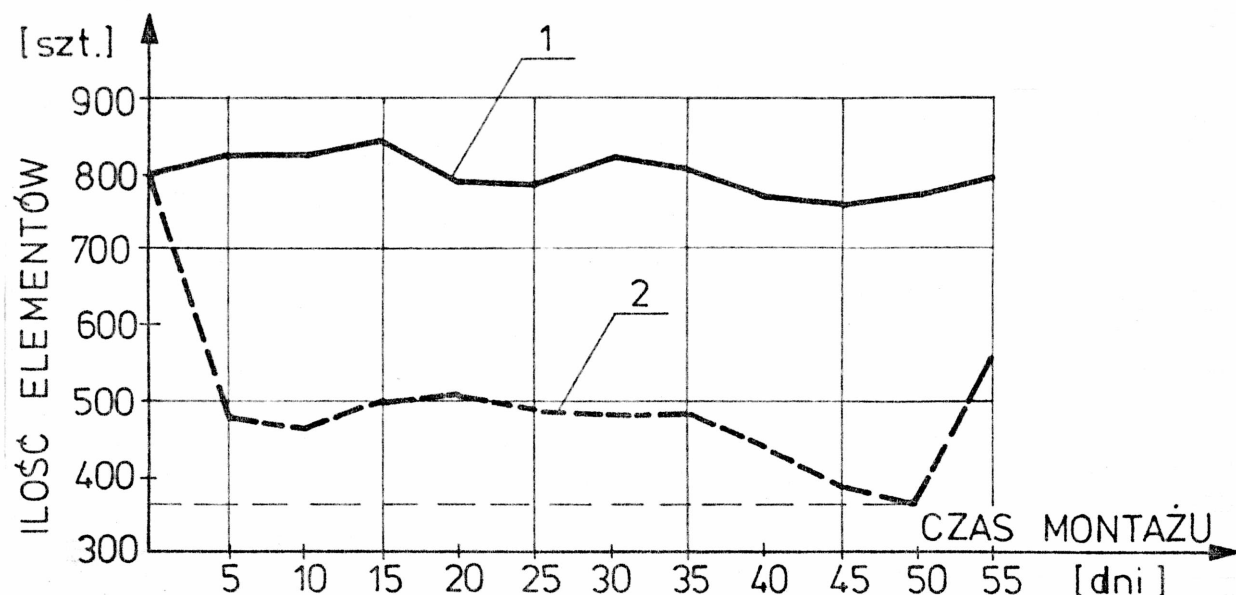
5.5.4. Równoczesny montaż 8 budynków

Badania symulacyjne przeprowadzono przy następujących założeniach:

- praca jednozmianowa na linii produkcji elementów przestrzennych,
- praca trzyzmianowa na linii produkcji stropów,

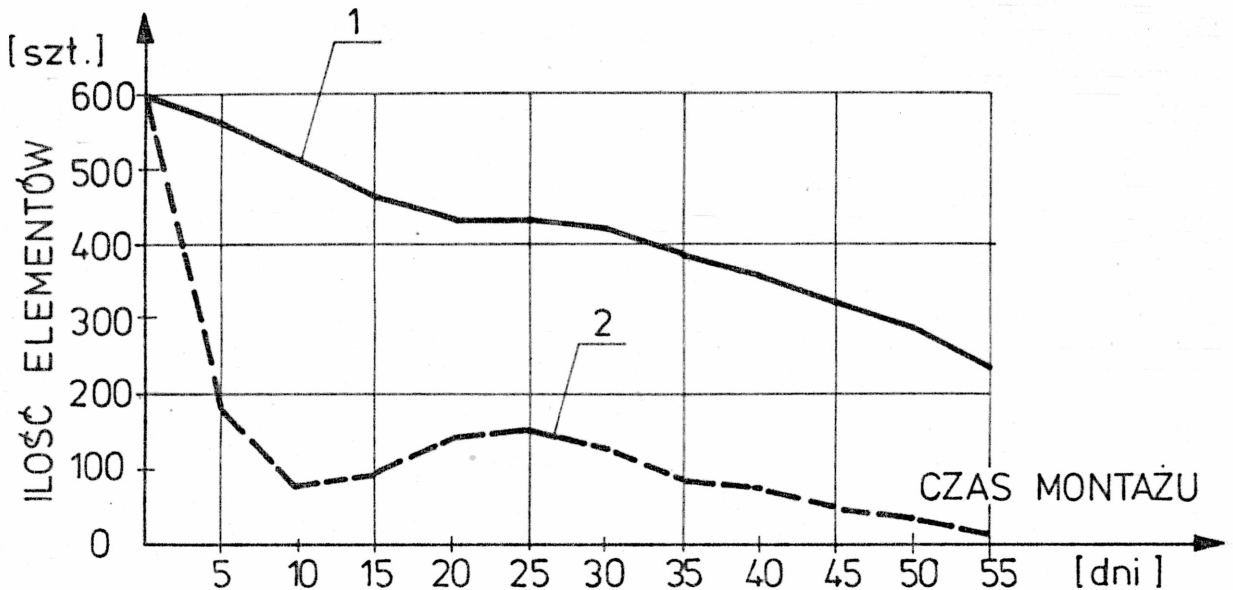
- praca dwuzmianowa na pozostałych liniach produkcyjnych,
- osiem jednostek transportowych obsługujących wszystkie budowy,
- cztery stanowiska kontenerowe obok każdego montowanego budynku.

Analizując uzyskane wyniki, stwierdzono, że wydajności linii produkcji płyt stropowych, ścian wewnętrznych nośnych, ścianek kolankowych, elementów uzupełniających oraz elementów przestrzennych odpowiadają zapotrzebowaniu na produkowane elementy. Ilość tych elementów w magazynie wyrobów gotowych utrzymuje się w trakcie trwania montażu mniej więcej na jednakowym poziomie. Przykładowo, na rysunku 5.20 przedstawiono wykresy zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu ośmiu budynków. Wykresy dotyczące elementów pozostałych typów przedstawiono na rysunkach Z.26, Z.27, Z.28 i Z.29, zamieszczonych w załączniku.



Rys. 5.20: Przebieg zmiany ilości płyt stropowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu ośmiu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji stropów, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość płyt stropowych.
Krzywa 2 - ilość płyt stropowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

Wydażność linii produkcji ścian zewnętrznych jest za mała w stosunku do potrzeb montażu. Stan zapasu tych elementów w magazynie wyrobów gotowych w momencie rozpoczęcia montażu gwarantował, że miał on sprawny przebieg. W przypadku realizacji budynków o tej samej strukturze, lecz większej liczbie kondygnacji nastąpiłyby zahamowania w montażu z powodu małej wydajności linii produkcji ścian zewnętrznych. Wykresy zmiany ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu ośmiu budynków przedstawiono na rysunku 5.21.



Rys. 5.21. Przebieg zmian ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu ośmiu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji stropów, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścian zewnętrznych.
Krzywa 2 - ilość ścian zewnętrznych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.

Przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych do obsługi montowanych budynków współczynnik wykorzystania żurawi wynosi 0,9721, natomiast współczynnik wykorzystania jednostek transportowych wynosi 0,9861. W trakcie przebiegu procesu średnio

0,279 jednostki transportowej oczekiwało w kolejce w magazynie wyrobów gotowych na załadunek przy średnim ich czasie oczekiwania 6 min. Średnia długość kolejki kontenerów na budowie wynosiła 2,420, a średni ich czas oczekiwania na rozładunek wynosił 8 godz. 25 min. Montaż budynków trwał 56 zmian roboczych.

6. PODSUMOWANIE BADAŃ SYMULACYJNYCH

Uzyskane z poszczególnych eksperymentów symulacyjnych wyniki pozwalają na ustalenie warunków harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych.

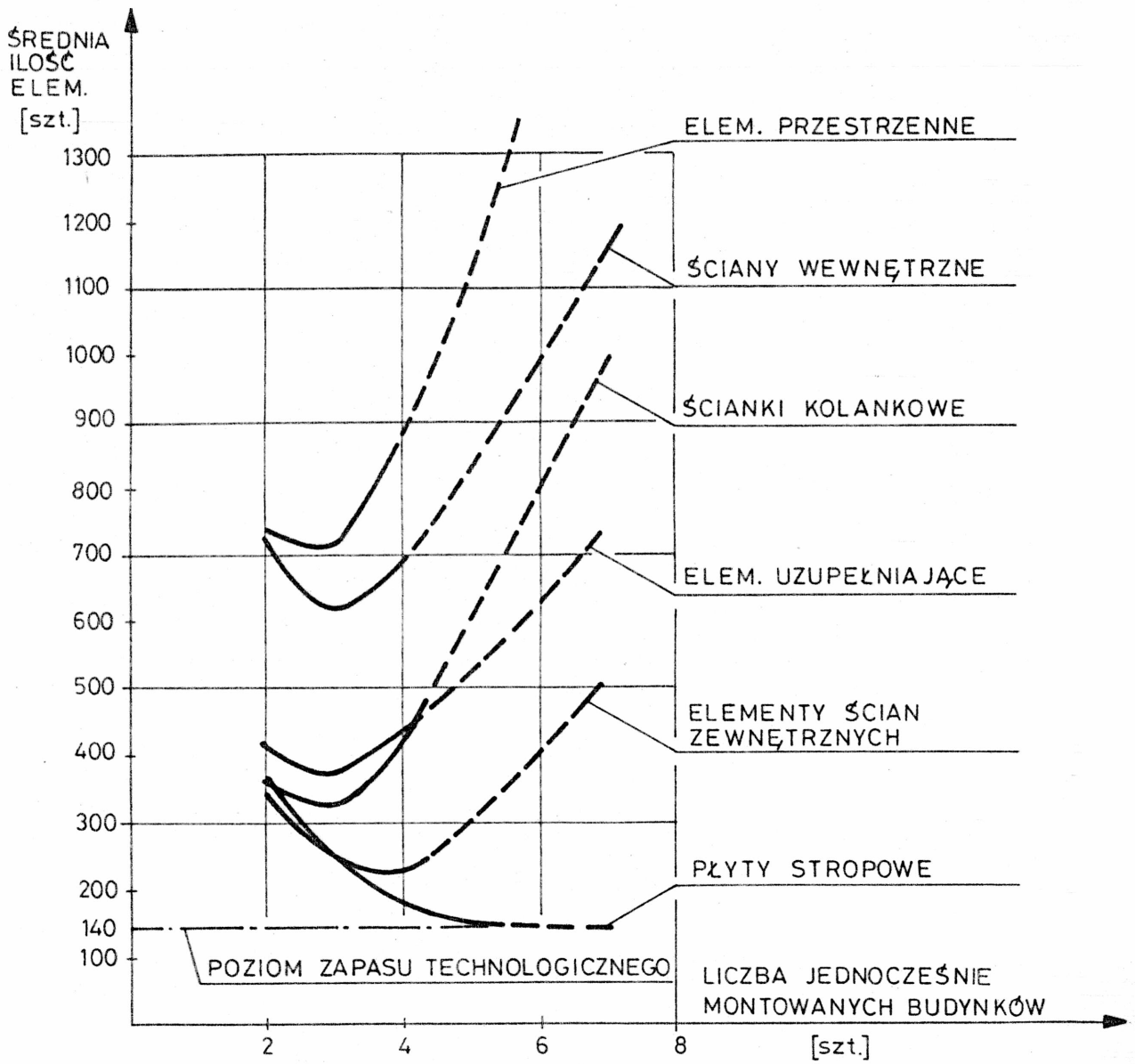
Na podstawie uzyskanych wyników badań oraz ich analizy, przedstawionej w punktach od 5.5.1 do 5.5.4, stwierdzono, że w przypadku zbyt małej wydajności którejkolwiek linii produkcyjnej wytwórni prefabrykatów następuje hamowanie tempa montażu budynków. Równocześnie hamowanie tempa montażu małą wydajnością którejkolwiek linii produkcyjnej blokuje odpływ z magazynu wyrobów gotowych elementów pozostałych typów. Wówczas ilość tych elementów szybko rośnie, powodując przepełnienie magazynu wyrobów gotowych i w konsekwencji przymusowe przestoje linii produkcyjnych.

Na rysunku 5.22 przedstawiono wykresy zmiany średniej ilości elementów prefabrykowanych poszczególnych typów w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania montażu, w zależności od liczby jednocześnie realizowanych budynków, uzyskane przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów. Z rysunku tego wynika, że gdy średnia ilość płyt stropowych znajdujących się w magazynie wyrobów gotowych zbliża się do poziomu zapasu technologicznego, wynikającego z konieczności osiągnięcia przez element wytrzymałości transportowej, wówczas średnie ilości elementów pozostałych typów znajdujących się w magazynie wyrobów gotowych szybko rosną. Świadczy to o tym, że mała wydajność linii produkcji płyt stropowych hamuje odpływ elementów pozostałych typów z magazynu.

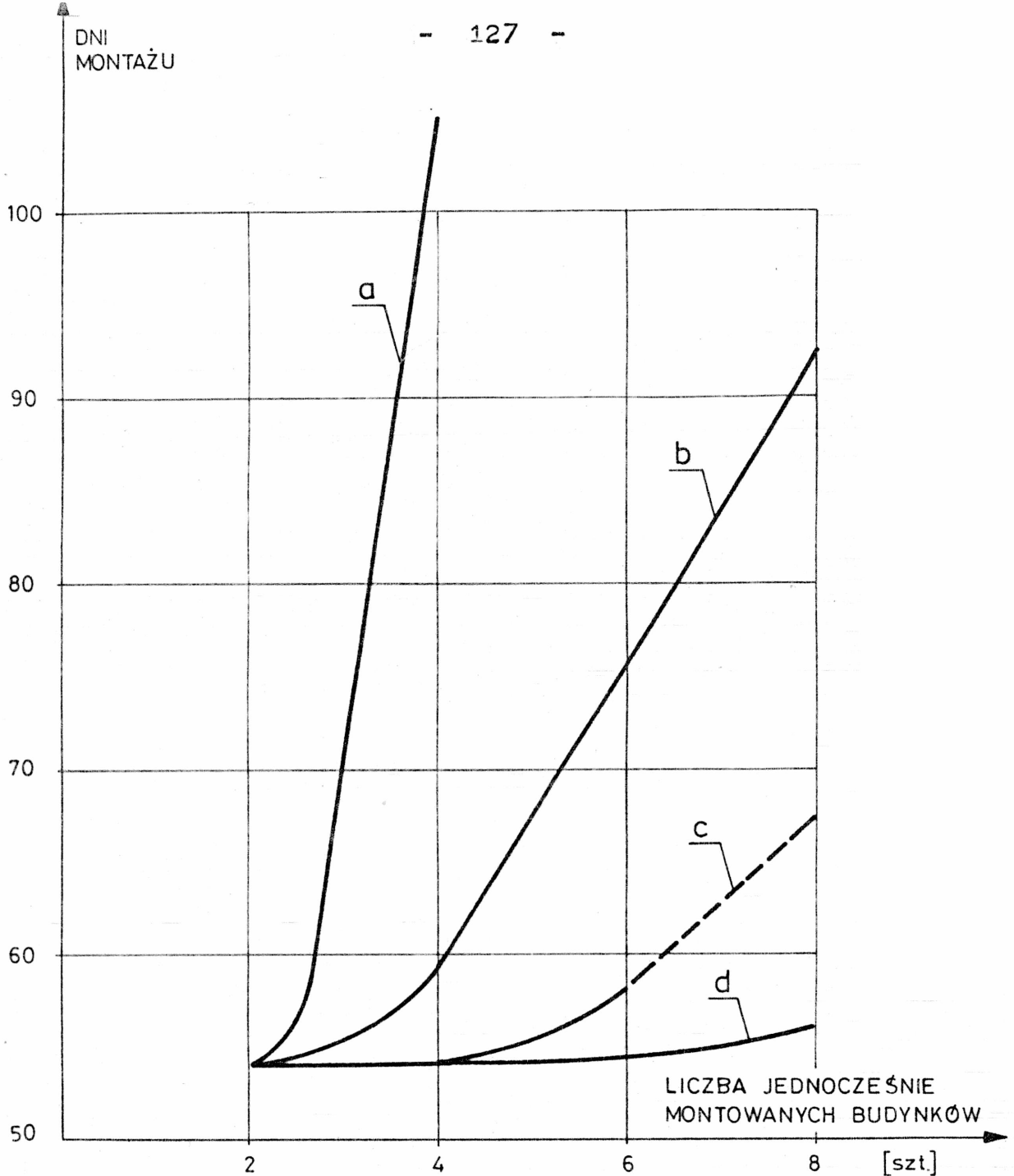
Stwierdzono również, że na sprawny przebieg procesu montażu budynków oraz na jego czas realizacji mają wpływ wydajności poszczególnych linii produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz liczba jednocześnie zatrudnionych jednostek transportowych. Potwierdzeniem tego stwierdzenia są wykresy przedstawione na rysunku 5.23, ukazujące zależność czasu trwania montażu budynków od ilości zmian pracy na poszczególnych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz liczby zatrudnionych jednostek transportowych.

O sprawności montażu świadczy także współczynnik wykorzystania żurawi. Wykresy zmienności wartości tego współczynnika w zależności od liczby montowanych budynków, liczby zatrudnionych jednostek transportowych oraz ilości zmian pracy na liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów przedstawiono na rysunku 5.24. Linia przerywaną oznaczono prawdopodobny przebieg krzywej.

Przy jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych wartość współczynnika wykorzystania żurawi /krzywa a/ szybko maleje wraz z rosnącą liczbą jednocześnie montowanych budynków. Również przy organizacji pracy dwuzmianowej na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych do obsługi montowanych budynków wartość współczynnika wykorzystania żurawi /krzywa b/ maleje wraz z rosnącą liczbą jednocześnie montowanych budynków. Spadek tej wartości jest jednak znacznie mniejszy niż w przypadku jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów. Świadczy to o wpływie wielkości produkcji elementów prefabrykowanych na sprawny przebieg procesu montażu. W przypadku zwiększenia produkcji elementów prefabrykowanych poprzez organizację pracy w systemie trzyzmianowym na linii produkcji płyt stropowych, jednozmianowym na linii produkcji elementów przetrzennych, dwuzmianowym na pozostałych liniach produkcyjnych oraz przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych do obsługi jednoczesnego montażu sześciu budynków i ośmiu jednostek transportowych do obsługi ośmiu jednocześnie montowanych

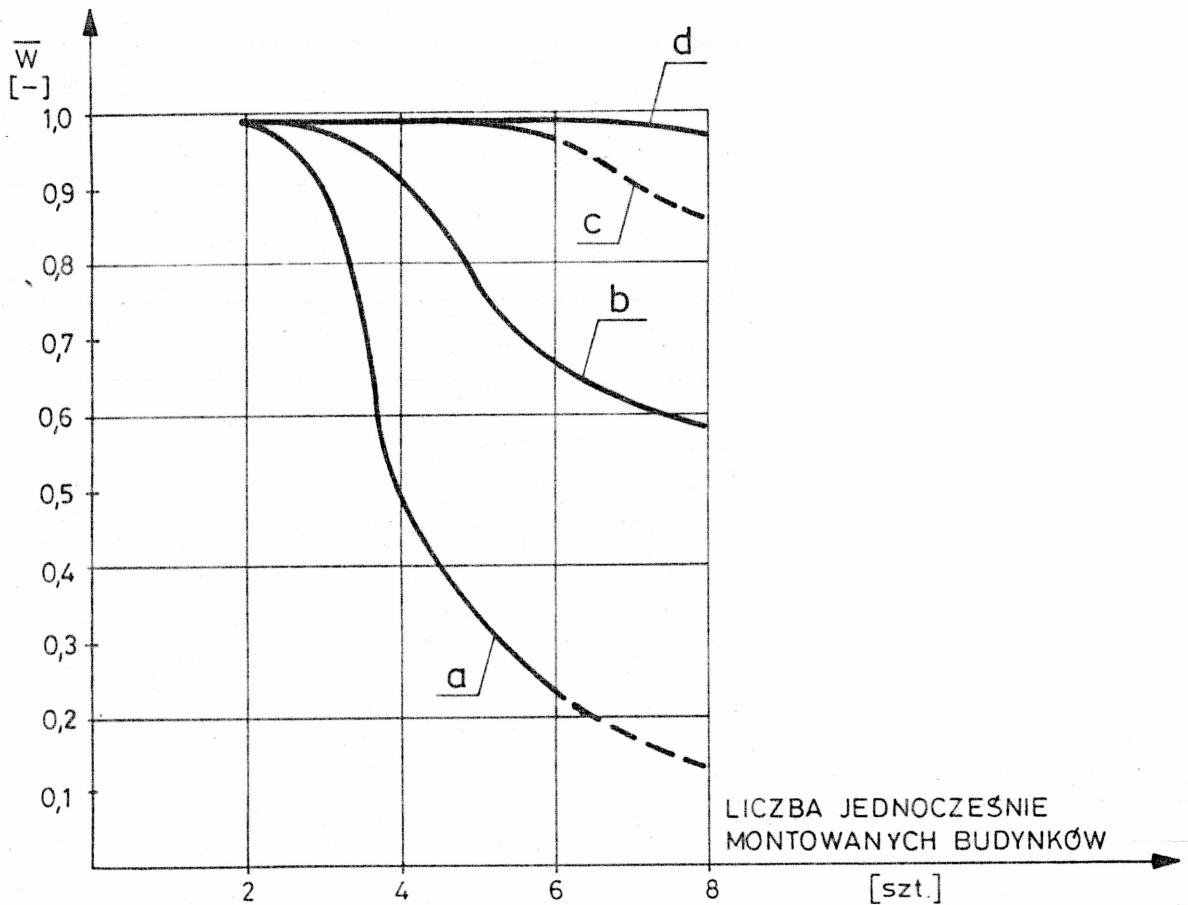


Rys. 5.22. Zmiana średniej ilości elementów poszczególnych typów w magazynie wyrobów gotowych w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków, przy założeniu jednoczesnej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych. Linia przerywaną oznaczono prawdopodobny przebieg krzywych.



Rys. 5.23. Czas trwania montażu budynków

- Krzywa a - przy jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
- Krzywa b - przy dwuzmianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz jednozmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
- Krzywa c - przy trzyzmianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych, przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych.
- Krzywa d - przy trzyzmianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych, przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych.



Rys. 5.24. Zmiana wartości współczynnika wykorzystania żurawi "W" w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.

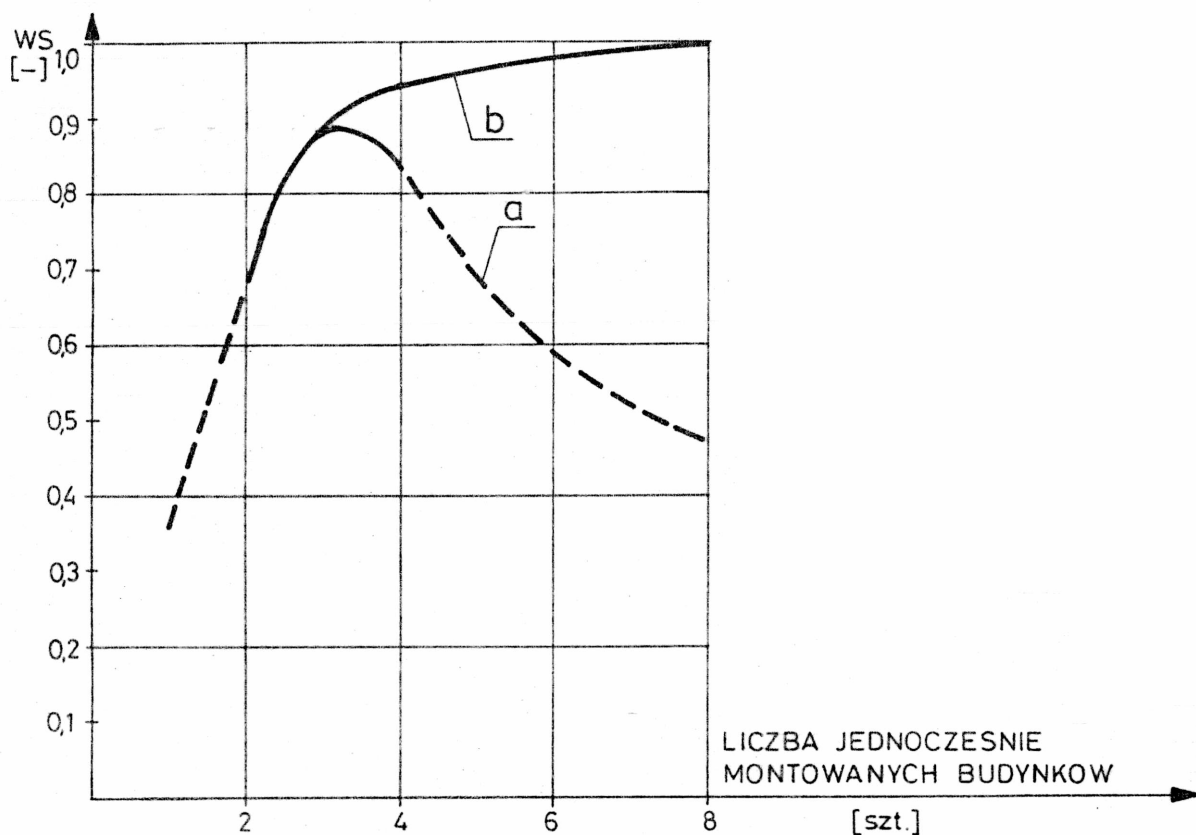
- Krzywa a - przy jednoczesnej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
- Krzywa b - przy dwuzmianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz jednoczesnej na pozostałych liniach produkcyjnych, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
- Krzywa c - przy trzymianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych, jednoczesnej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych, przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych.
- Krzywa d - przy trzymianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych, jednoczesnej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych, przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych.
- Linia przerywaną oznaczono prawdopodobny przebieg krzywej.

budynków współczynniki wykorzystania żurawi bliskie są jedności /krzywe c i d/. Świadczy to o sprawnym przebiegu procesu montażu.

Również sprawny przebieg procesu transportu elementów prefabrykowanych zależy od liczby jednocześnie montowanych budynków, liczby zatrudnionych jednostek transportowych oraz ilości zmian pracy na liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów. Wykresy zmienności wartości tego współczynnika przedstawiono na rysunku 5.25.

Z wykresów tych wynika, że zatrudnienie czterech jednostek transportowych do obsługi jednoczesnego montażu dwóch budynków nie jest wskazane ze względu na małe ich wykorzystanie /współczynnik wykorzystania jednostek transportowych wyniesie wówczas 0,6838/. Współczynnik ten osiągnie wartość maksymalną w przypadku jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych przy jednoczesnym montażu trzech budynków /krzywa a/. Wraz ze wzrostem liczby jednocześnie montowanych budynków wartość tego współczynnika maleje, czego przyczyną jest brak elementów prefabrykowanych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania montażu budynków. Szczegółową analizę przyczyn zakłóceń powstających w przebiegu procesu przeprowadzono w punkcie 5.5.2 niniejszej pracy. Zwiększenie natomiast produkcji w wytwórni prefabrykatów poprzez zwiększenie ilości zmian pracy na poszczególnych liniach produkcyjnych powoduje, że wartość współczynnika wykorzystania czterech jednostek transportowych rośnie wraz z rosnącą liczbą jednocześnie montowanych budynków /krzywa b/.

O wzrastającym wykorzystaniu czterech zatrudnionych jednostek transportowych wraz z rosnącą liczbą obsługiwanych przez nie budowli świadczą również wykresy zmienności średniej ilości jednostek transportowych, oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych, średniego czasu ich oczekiwania na załadunek oraz maksymalnego czasu ich oczekiwania na załadunek, przedstawione na rysunkach 5.26, 5.27 i 5.28.



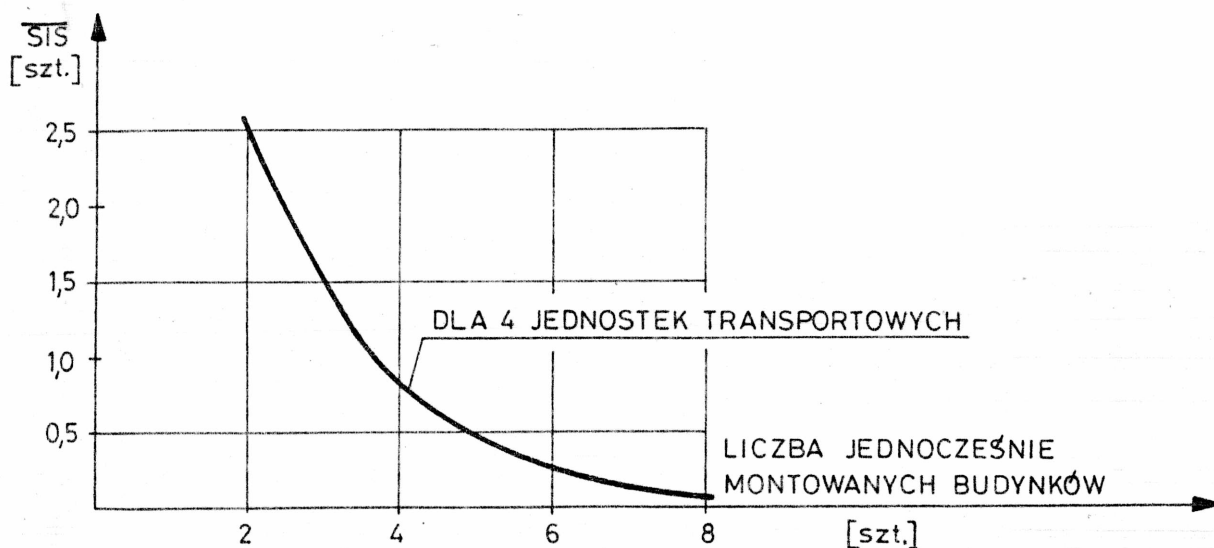
Rys. 5.25. Zmiana wartości współczynnika wykorzystania jednostek transportowych "WS" w zależności od ilości jednocześnie montowanych budynków.

Krzywa a - przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych i przy jednozmianowej na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów,

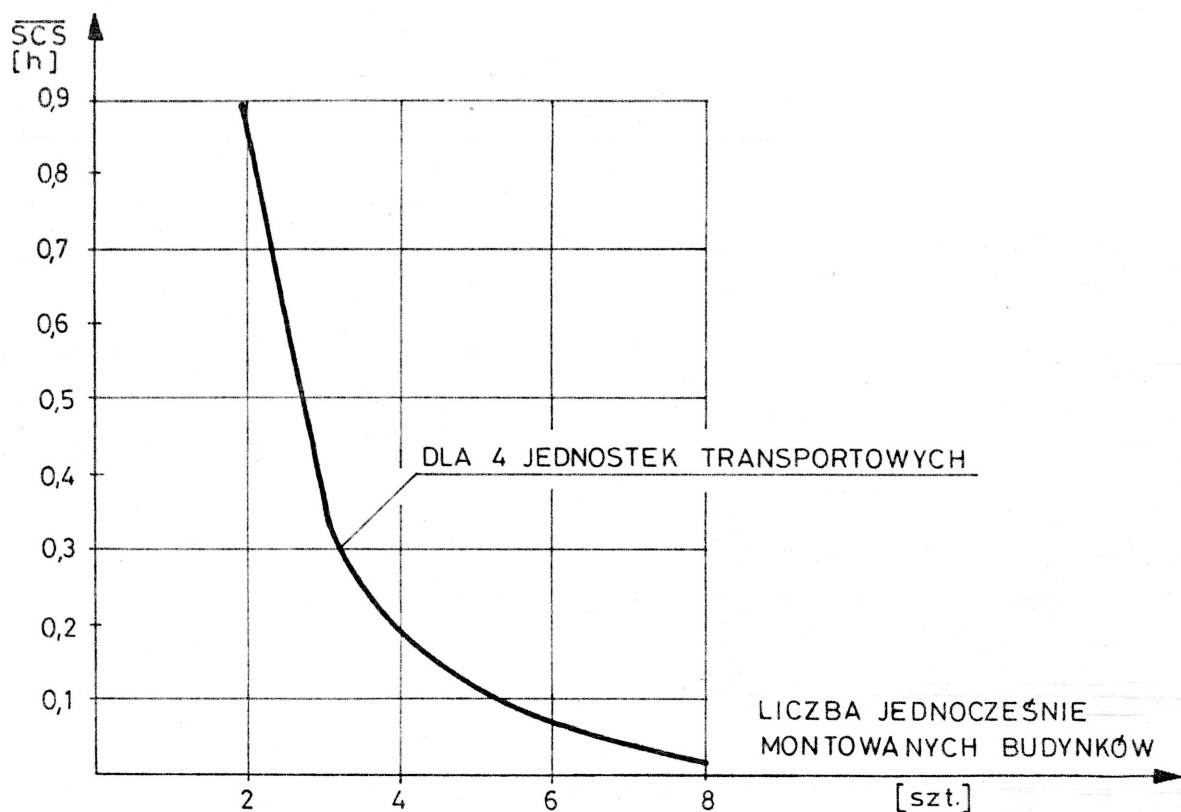
Krzywa b - przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych oraz ilości zmian pracy na poszczególnych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, zapewniającej potrzebną do montażu ilość elementów.

Linia przerywaną zaznaczono prawdopodobny przebieg krzywych

Zatrudnienie stałej liczby jednostek transportowych przy wzrastającej liczbie jednocześnie montowanych budynków prowadzi do zmniejszenia możliwości zaspokojenia potrzeb montażu. Wzrost liczby jednocześnie montowanych budynków wywołuje zwiększenie ilości zamówień na elementy prefabrykowane, napływających do magazynu wyrobów gotowych. Zapewnienie sprawnego montażu wymaga szybkiej realizacji tych zamówień.

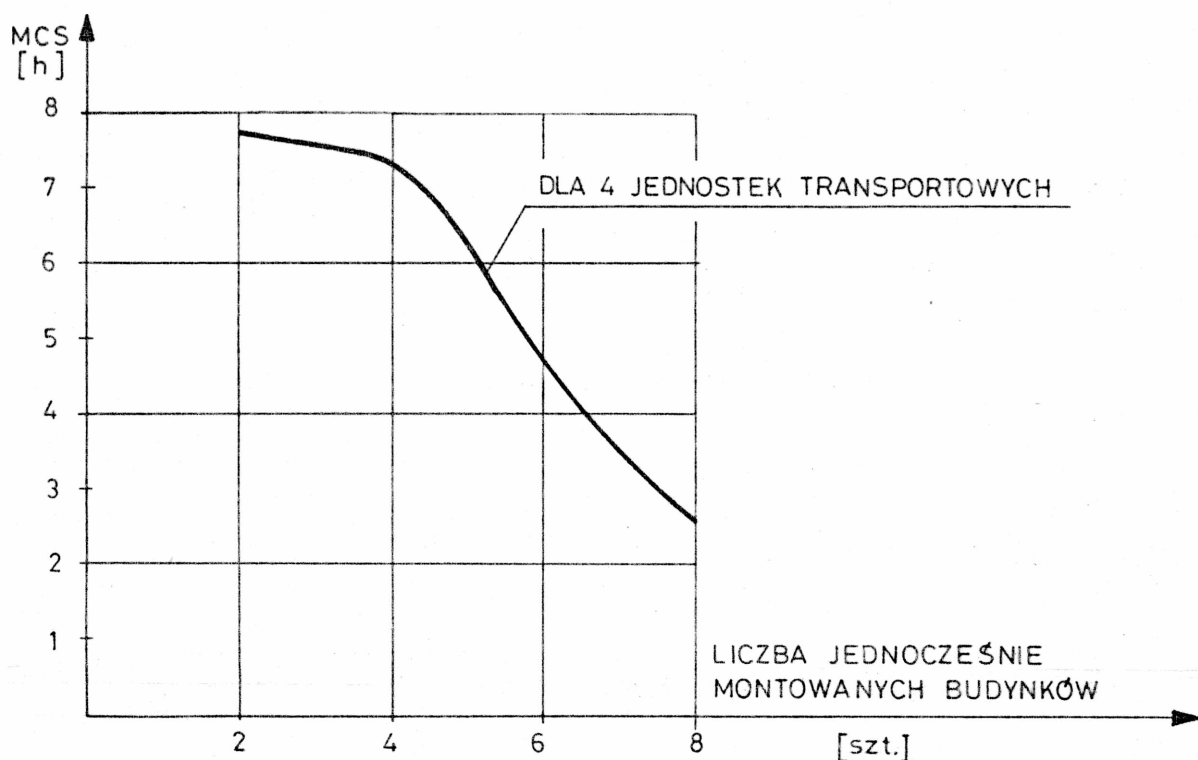


Rys. 5.26. Średnia ilość jednostek transportowych " $\overline{SIS}$ " oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych



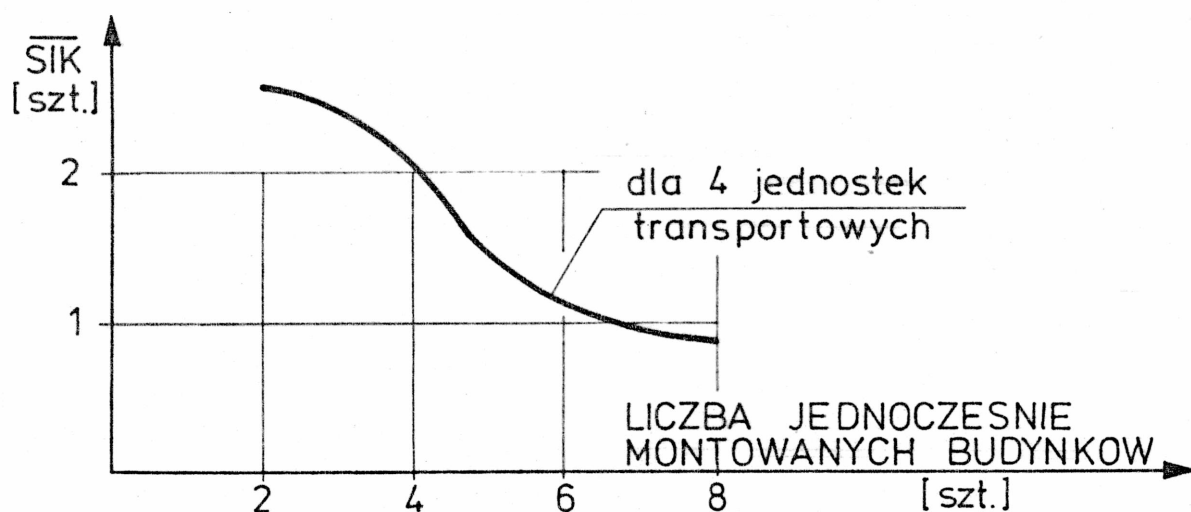
Rys. 5.27. Średni czas oczekiwania jednostek transportowych " $\overline{SCS}$ " w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.

W przypadku zatrudnienia zbyt małej liczby jednostek transportowych zamówienia realizowane są z opóźnieniem. Powoduje to skrócenie czasu oczekiwania na rozładunek przywiezionych na budowę kontenerów oraz skrócenie czasu oczekiwania na wbudowanie przywiezionych na budowę elementów prefabrykowanych. Konsekwencją tego jest również zmniejszenie na realizowanych budowach średniej ilości kontenerów i znajdujących się nich elementów. Potwierdzeniem tego są przedstawione na rysunkach 5.29, 5.30, 5.31 i 5.32 wykresy zmienności średniej ilości oraz średniego czasu przebywania kontenerów i znajdujących się w nich elementów na realizowanych budowach w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków, uzyskane przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych. Wartości przedstawionych charakterystyk maleją wraz z rosnącą liczbą jednocześnie montowanych budynków.



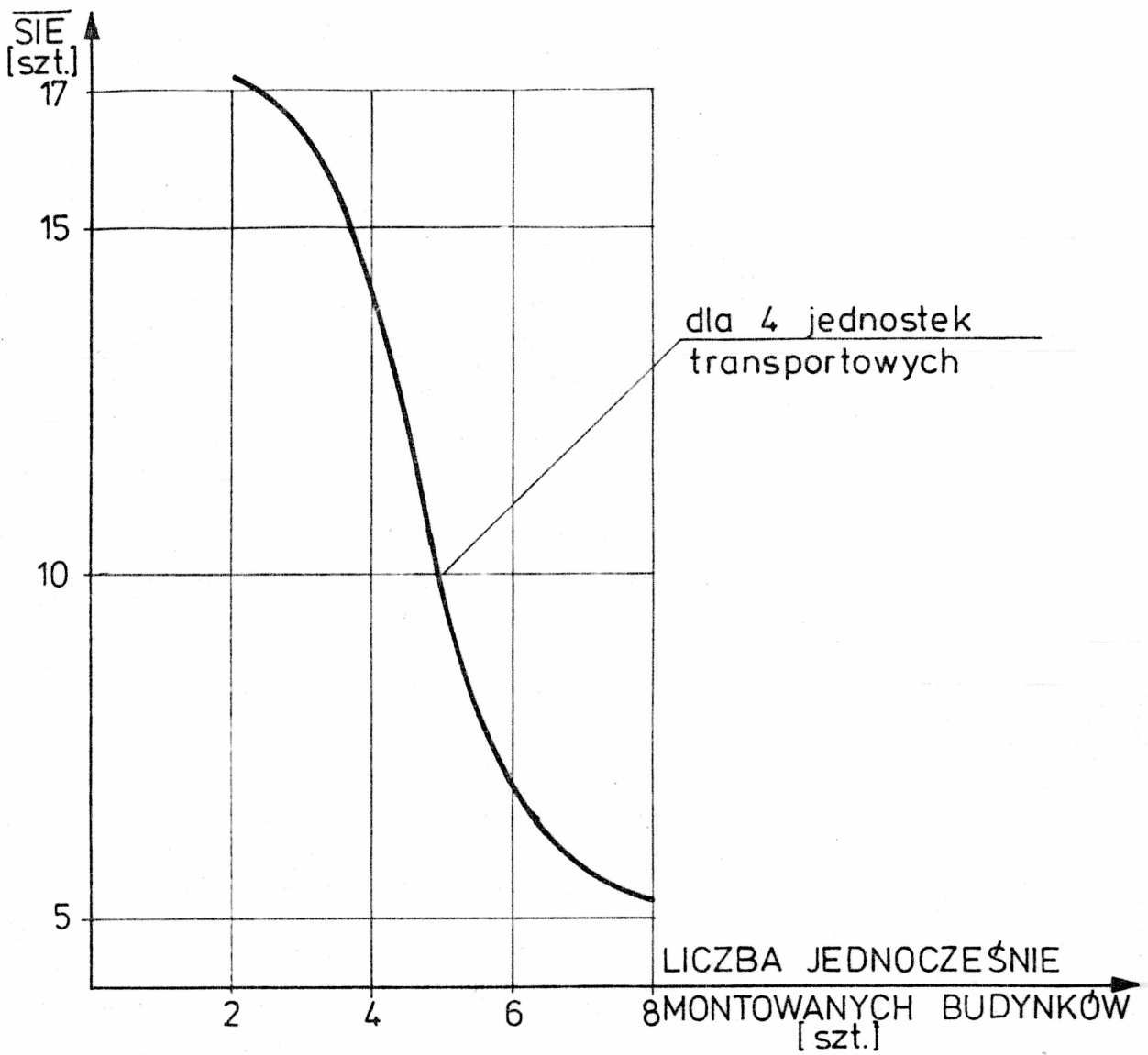
Rys. 5.28. Maksymalny czas oczekiwania jednostek transportowych "MCS" w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.

Na podstawie wyników uzyskanych w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i jednoczesnego montażu dwóch, czterech, sześciu i ośmiu budynków stwierdzono, że wraz ze wzrastającą liczbą jednocześnie montowanych budynków maleje średnia ilość jednostek transportowych oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych na załadunek oraz ich średni i maksymalny czas oczekiwania. Na rysunkach 5.33 i 5.34 przedstawiono w formie wykresów zmianę wartości średniej ilości i średniego czasu przebywania jednostek transportowych w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w zależności od ilości jednocześnie montowanych budynków.

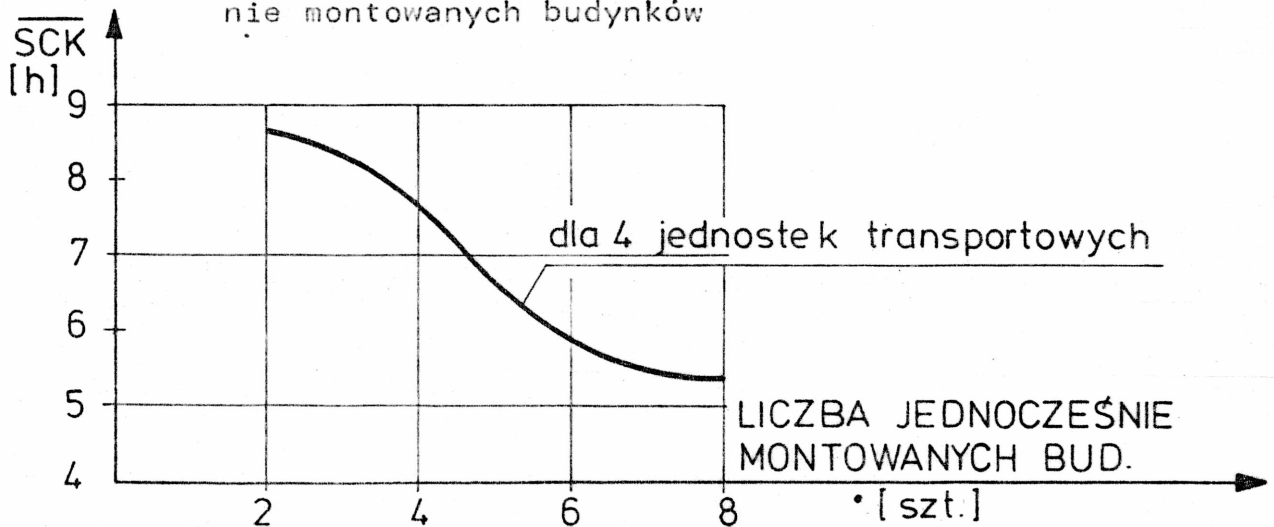


Rys. 5.29. Średnia ilość kontenerów znajdujących się na realizowanych budowach w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.

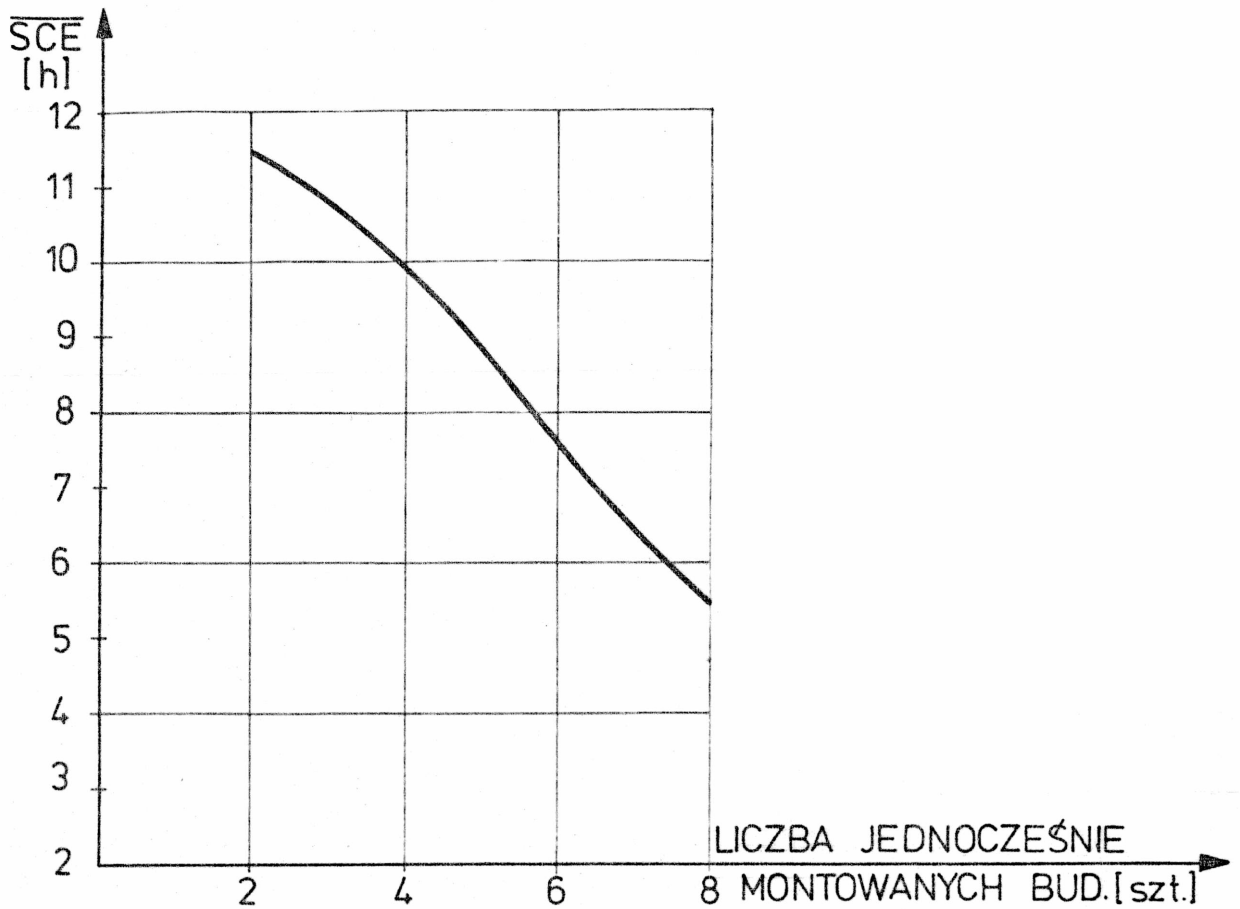
Średnia ilość jednostek transportowych, oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych, osiąga wartość maksymalną /równą 0,905/ w przypadku jednoczesnego montażu dwóch budynków obsługiwanych przez dwie jednostki transportowe. Wraz ze wzrostem liczby jednocześnie montowanych budynków oraz liczby zatrudnionych jednostek transportowych wartość tej charakterystyki maleje /przy jednoczesnym montażu ośmiu budynków osiąga wartość równą 0,276/. Prawdopodobnie przy dalszym wzroście liczby jednocześnie montowanych budynków wykres tej wartości zbliżyłby się asymptotycznie do zera.



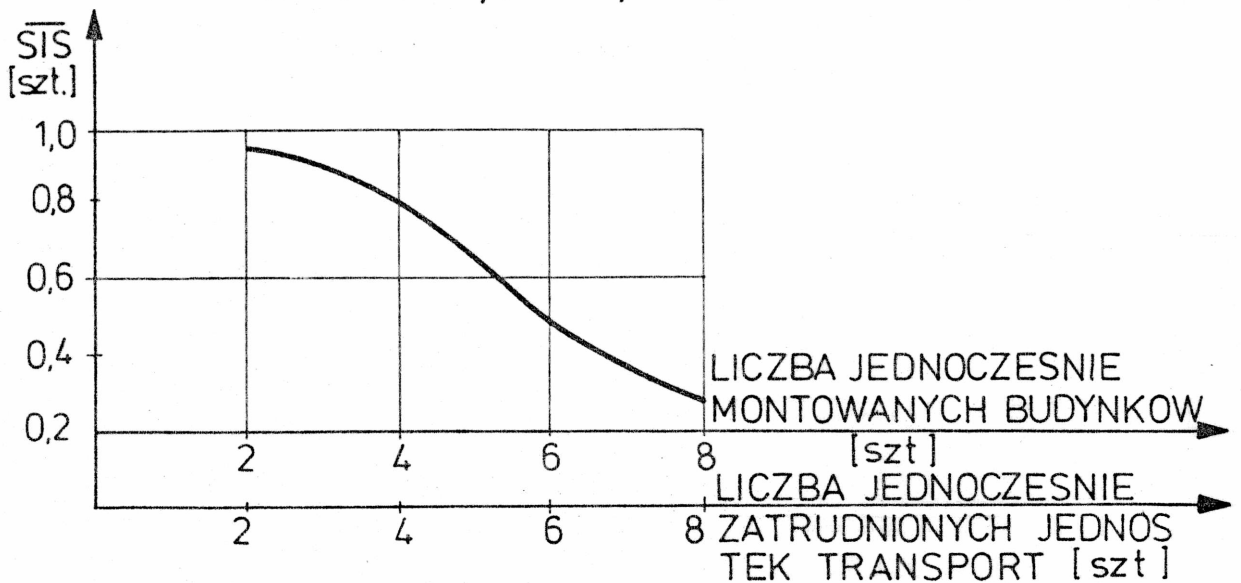
Rys. 5.30. Średnia ilość elementów znajdujących się na realizowanych budowach w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków



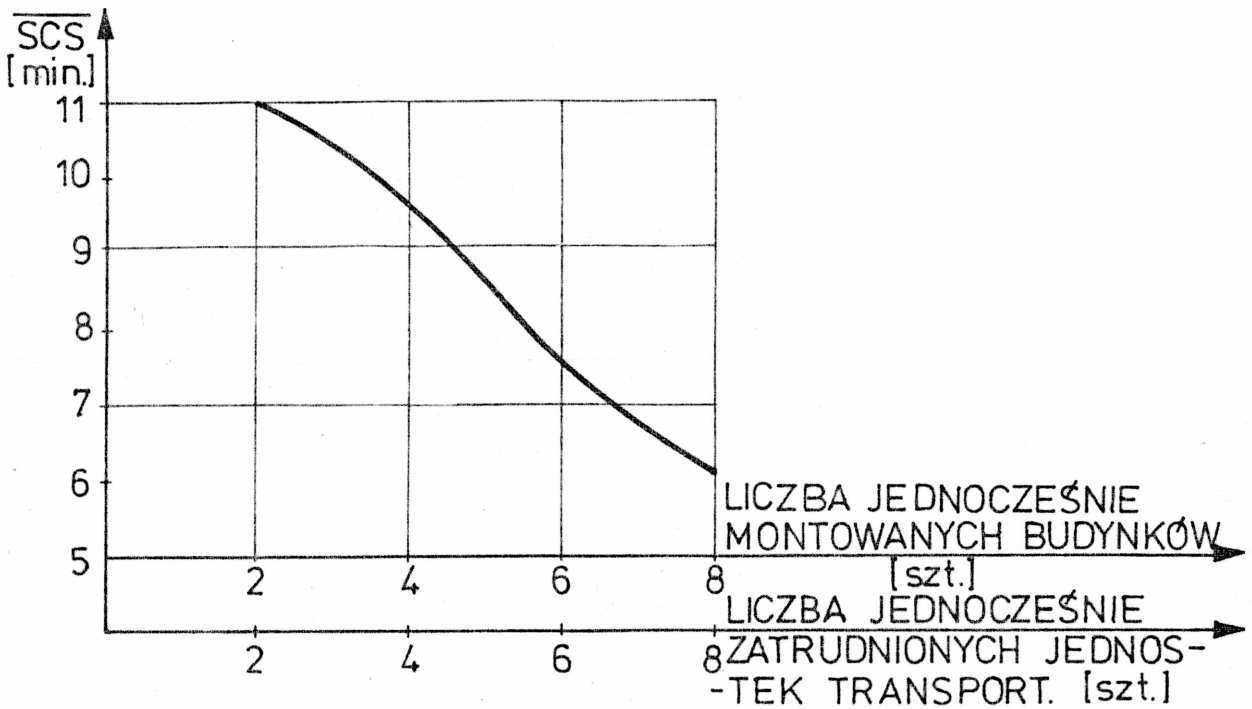
Rys. 5.31. Średni czas przebywania kontenerów na realizowanych budowach w zależności od liczby montowanych budynków.



Rys. 5.32. Średni czas przebywania elementów na realizowanych budowach w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.



Rys. 5.33. Średnia ilość jednostek transportowych oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od ilości jednocześnie montowanych budynków.

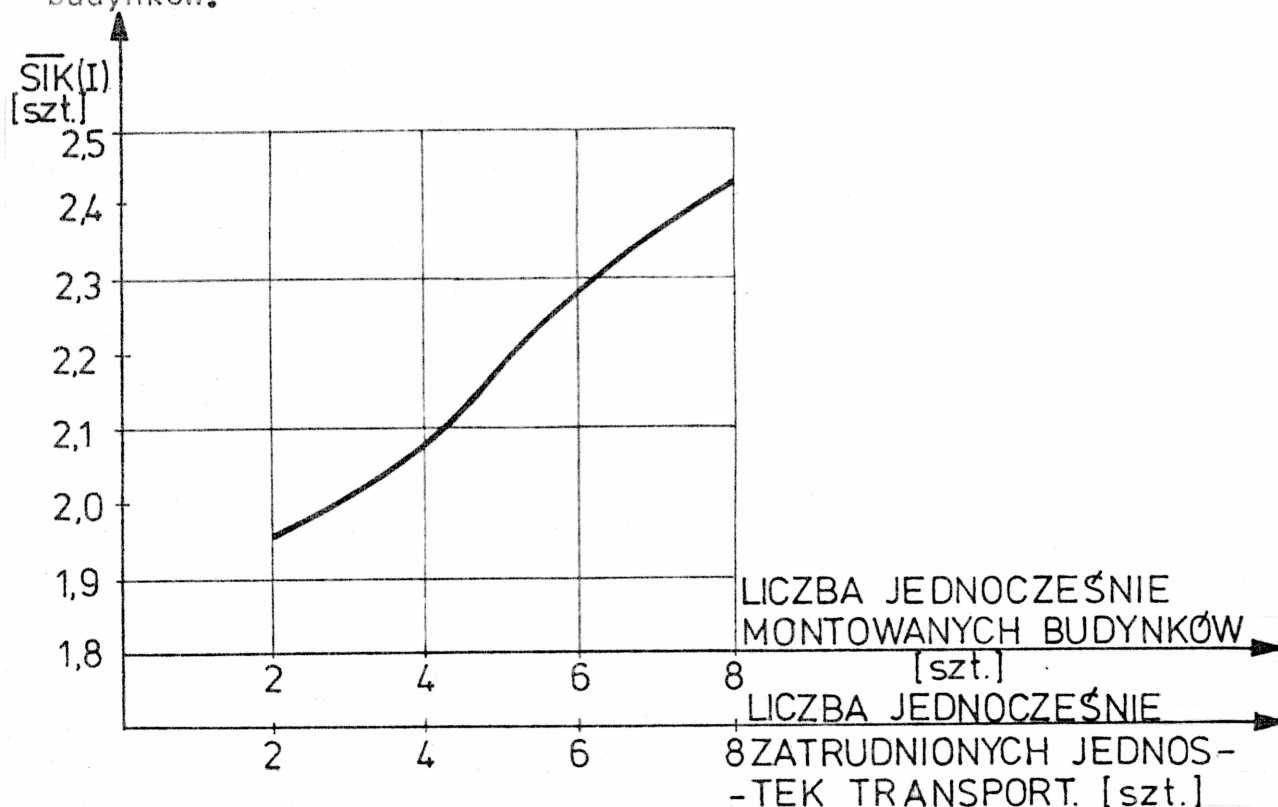


Rys. 5.34. Średni czas oczekiwania jednostek transportowych w kolejce w magazynie wyrobów gotowych w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od ilości jednocześnie montowanych budynków.

Analogicznie, średni czas oczekiwania jednostek transportowych w kolejce w magazynie wyrobów gotowych osiąga wartość maksymalną /równą 11 min, 16 sek./ przy jednoczesnym montażu dwóch budynków i wraz ze wzrostem ich liczby maleje, osiągając wartość minimalną /równą 6 min/ przy jednoczesnym montażu ośmiu budynków. Przy dalszym wzroście liczby jednocześnie montowanych budynków wykres tej wartości zbliżałby się asymptotycznie do zera.

Maksymalna ilość jednostek transportowych oczekujących w kolejce w magazynie wyrobów gotowych nie zależy od liczby jednocześnie montowanych budynków i w każdym przypadku równa jest ona liczbie zatrudnionych jednostek transportowych. Jest to wynikiem przyjęcia określonych warunków początkowych, dotyczących funkcjonowania badanego systemu. Każdorazowo, w magazynie wyrobów gotowych w momencie rozpoczęcia w nim zmiany roboczej znajdują się wszystkie zatrudnione jednostki transportowe, oczekując na realizację zamówień.

W przypadku harmonijnego przebiegu analizowanego procesu stwierdzono również, że wraz ze wzrastającą liczbą jednocześnie montowanych budynków wzrasta średnia ilość oraz średni i maksymalny czas przebywania kontenerów i znajdujących się w nich elementów na realizowanych budowach. Przykładowo, na rysunkach 5.35, 5.36, 5.37, 5.38 przedstawiono wykresy zmienności wartości średniej ilości i średniego czasu przebywania kontenerów i znajdujących się w nich elementów na realizowanych budowach w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.

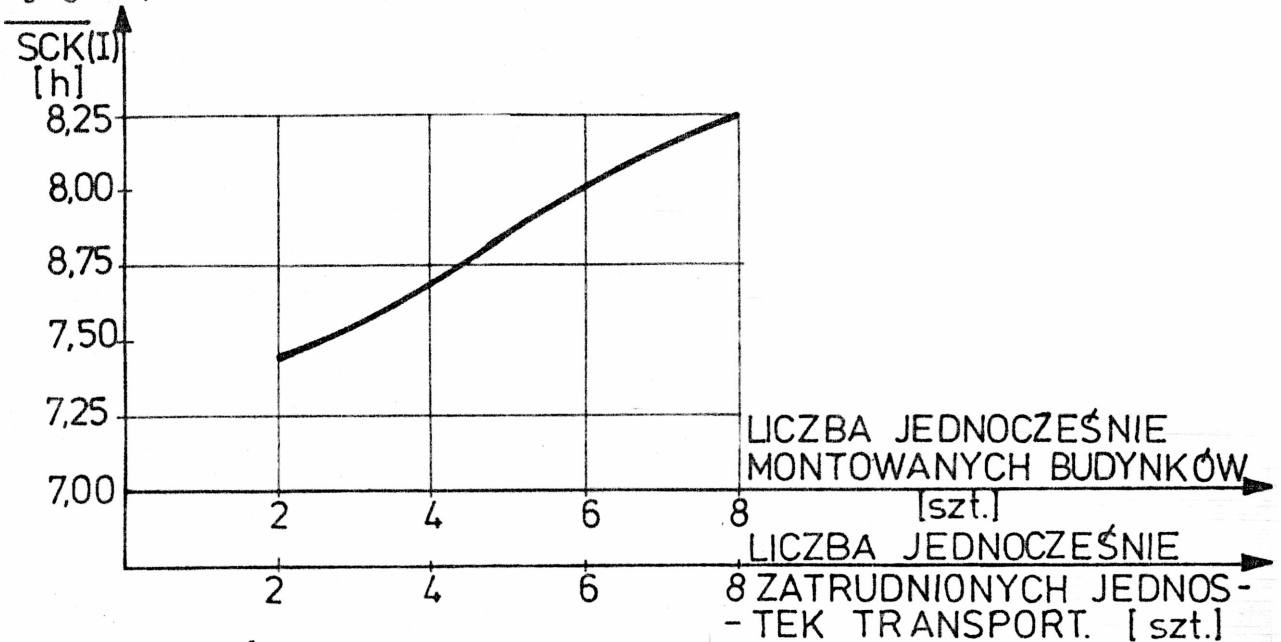


Rys. 5.35. Średnia ilość kontenerów oczekujących na rozładunek na realizowanych budowach w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.

Prawdopodobnie w przypadku dalszego wzrostu liczby jednocześnie montowanych budynków wartości przedstawionych na powyższych wykresach charakterystyk zbliżałyby się asymptotycznie do pewnej określonej granicy.

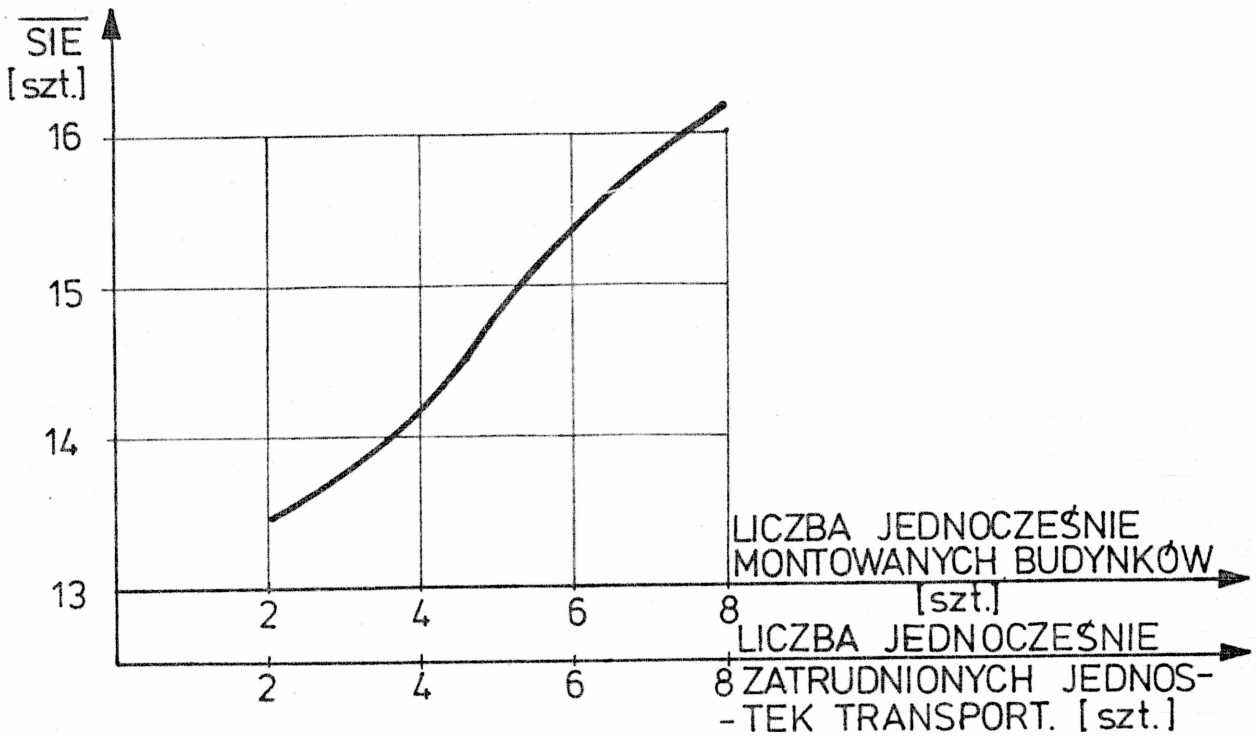
Wzrastające wartości średniej ilości oraz średniego i maksymalnego czasu przebywania kontenerów i elementów na

realizowanych budowach, a także malejące wartości średniej ilości oraz średniego i maksymalnego czasu przebywania zatrudnionych jednostek transportowych w magazynie wyrobów gotowych świadczą o tym, że wraz z rozbudową badanego systemu wzrasta jego sprawność.

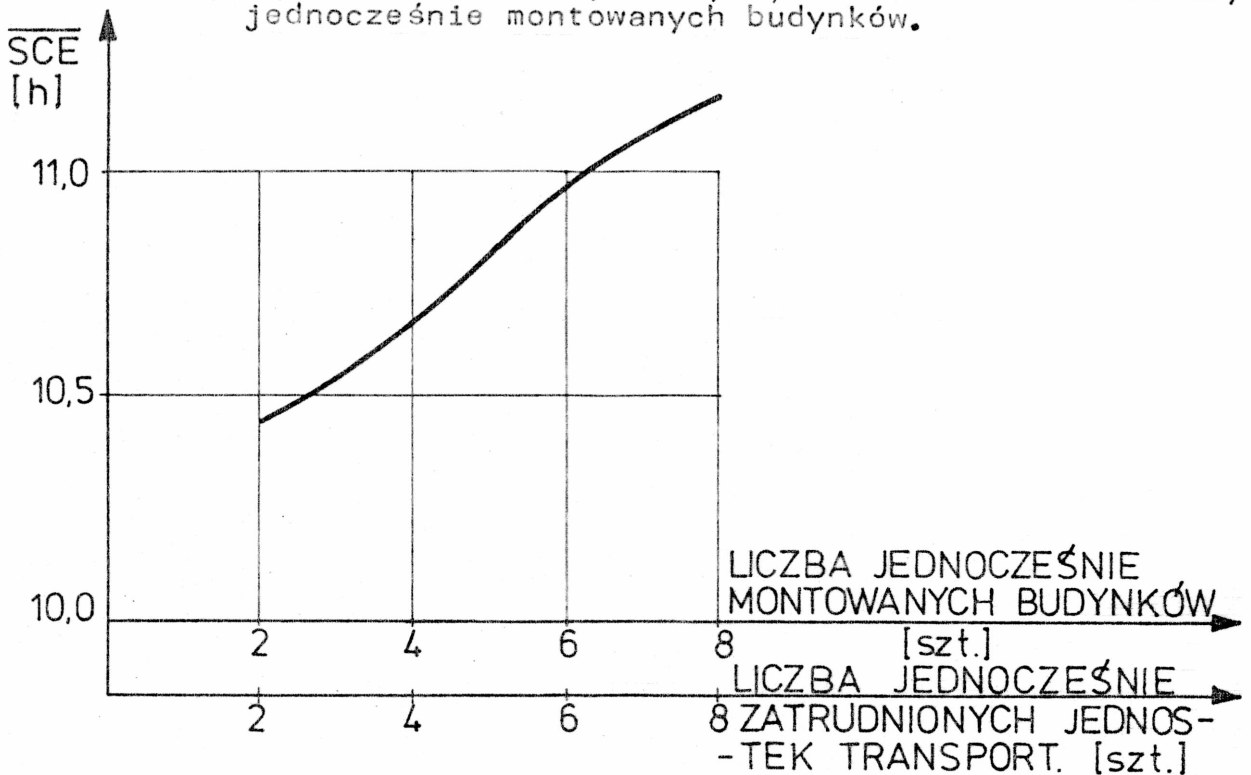


Rys. 5.36. Średni czas oczekiwania kontenerów na rozładunek na realizowanych budowach w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.

Tendencja ta jest wynikiem probabilistycznego charakteru procesów zachodzących w analizowanym systemie. Pomimo rozpoczęcia montażu budynków w tym samym momencie, jednakowych na wszystkich budowach terminach rozpoczęcia i zakończenia zmian roboczych, zamówienia z poszczególnych budów napływają w różnych momentach. Im więcej jest jednocześnie montowanych budynków, tym zamówienia napływają w sposób bardziej równomier-ny. Powoduje to zmniejszenie możliwości przestojów jednostek transportowych w magazynie wyrobów gotowych oraz lepsze zaspokojenie potrzeb montażu.

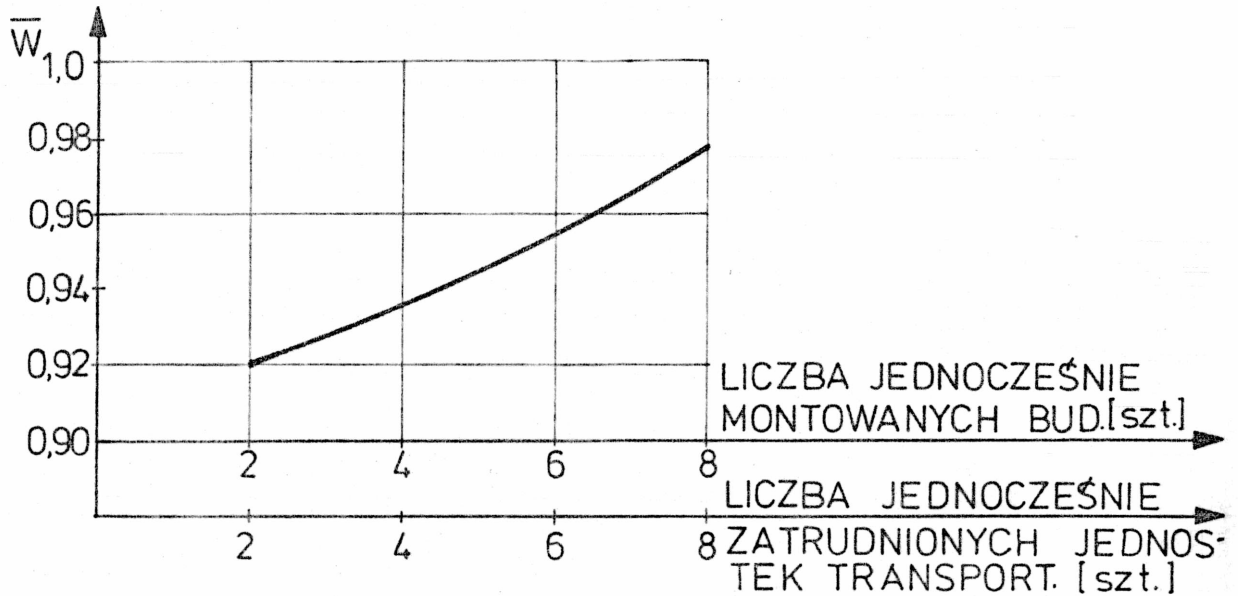


Rys. 5.37. Średnia ilość elementów oczekujących na montaż na realizowanych budowach w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.

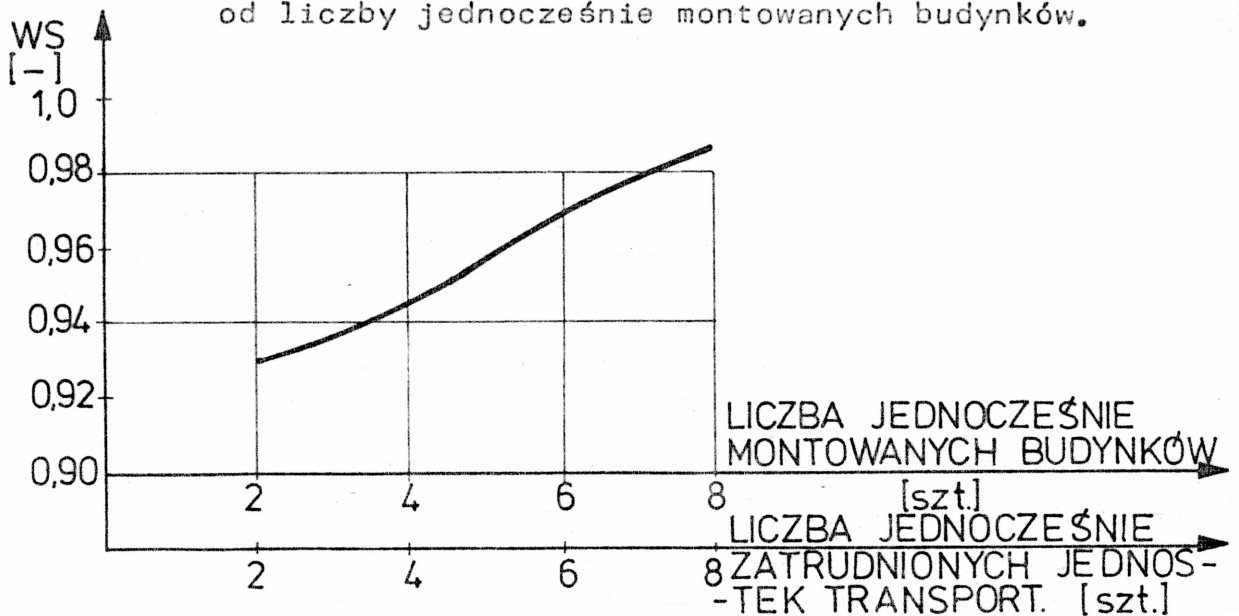


Rys. 5.38. Średni czas oczekiwania elementów prefabrykowanych na montaż na realizowanych budowach w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.

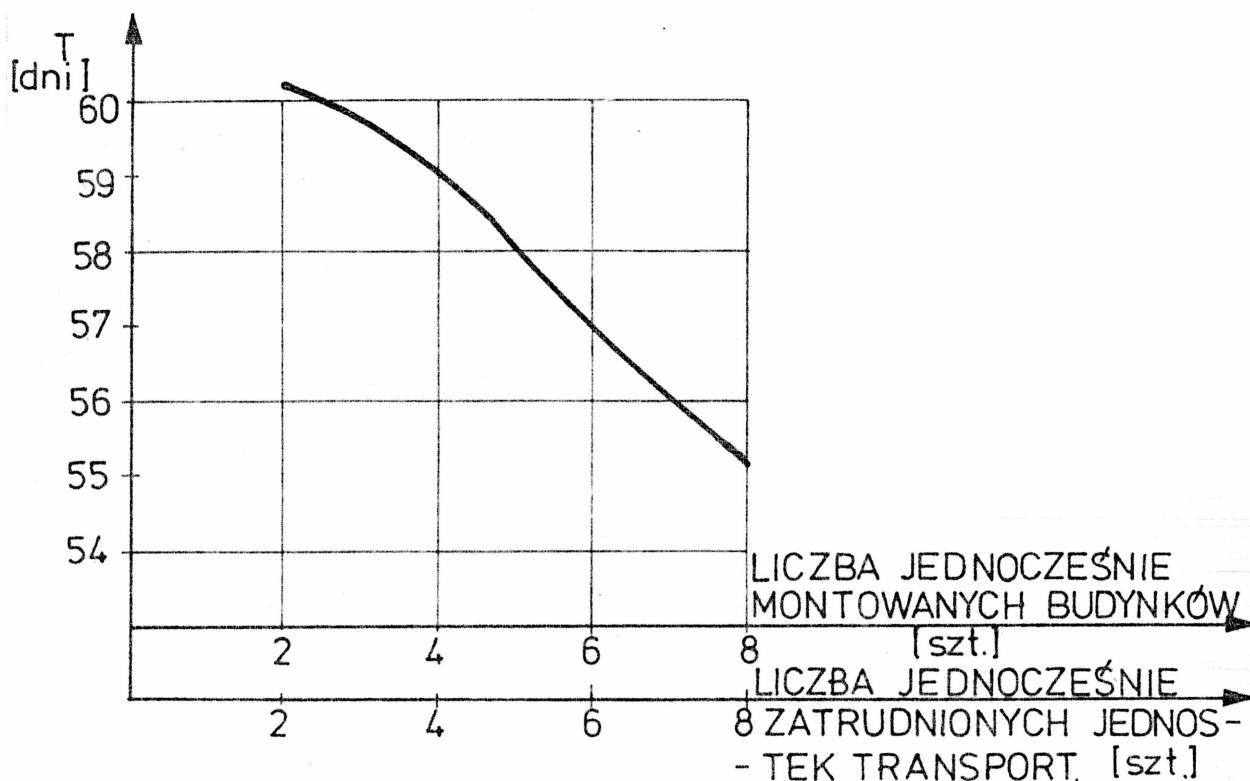
Potwierdzeniem tego stwierdzenia są wykresy kształtowania się współczynników wykorzystania środków technicznych, przedstawione na rysunkach 5.39, 5.40 oraz wykres czasu realizacji montażu budynków, przedstawiony na rysunku 5.41.



Rys. 5.39. Współczynnik wykorzystania żurawi w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.



Rys. 5.40. Współczynnik wykorzystania jednostek transportowych w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.



Rys. 5.41. Wykres zmiany czasu montażu budynków w przypadku harmonijnego przebiegu procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych, w zależności od liczby jednocześnie montowanych budynków.

Wartości współczynników wykorzystania środków technicznych rosną wraz z rosnącą liczbą jednocześnie montowanych budynków, natomiast czas montażu maleje wraz z rosnącą liczbą jednocześnie montowanych budynków, zbliżając się asymptotycznie do pewnej określonej granicy.

WNIOSKI KOŃCOWE

Badania symulacyjne przeprowadzone przy przyjętych założeniach pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- W przypadku jednoczesnego montażu dwóch budynków jednozmianowa wydajność linii produkcji płyt stropowych jest zbyt niska w stosunku do potrzeb montażu, natomiast wydajności pozostałych linii są zbyt wysokie. Sprawny przebieg procesu transportu i montażu elementów prefabrykowanych został zapewniony dzięki odpowiednio dużej liczbie płyt stropowych, znajdujących się w magazynie wyrobów gotowych w chwili rozpoczęcia procesu kompleksowego.
- W przypadku jednoczesnego montażu dwóch budynków o większej liczbie kondygnacji, niż to przyjęto w założeniach celem zapewnienia ciągłości montażu, należałoby okresowo organizować pracę dwuzmianową na linii produkcji płyt stropowych. Na pozostałych liniach produkcyjnych mogą natomiast wystąpić zahamowania w produkcji z powodu przepełnienia magazynu wyrobów gotowych. Zatrudnienie dwóch jednostek transportowych do obsługi realizowanych budynków jest wystarczające dla zapewnienia ciągłości procesu montażu.
- W celu zapewnienia harmonijnego przebiegu procesu produkcji transportu i montażu czterech budynków należy na linii produkcji płyt stropowych organizować pracę dwuzmianową. Na linii produkcji elementów ścian zewnętrznych należy organizować pracę w sposób ciągły na jednej zmianie oraz okresowo na drugiej zmianie. W przypadku linii produkcji elementów przestrzennych należałoby organizować okresową pracę jednozmianową, natomiast dla pozostałych linii ciągłą pracę jednozmianową. Przy takim założeniu, dotyczącym produkcji elementów prefabrykowanych na poszczególnych liniach produkcyjnych oraz przy równoczesnym wykorzystaniu czterech jednostek transportowych do obsługi montowanych budynków zostanie zapewniona harmonizacja przebiegu procesu.

- Ciągły montaż sześciu budynków zostanie zapewniony wtedy, gdy praca na linii produkcji płyt stropowych odbywać się będzie w sposób ciągły na dwie zmiany oraz okresowo na trzeciej zmianie. W przypadku linii produkcji elementów przestrzennych należałoby organizować okresową pracę jednozmianową, natomiast na pozostałych liniach ciągłą pracę jednozmianową oraz okresowo na drugiej zmianie. Zaproponowana organizacja pracy linii produkcyjnych oraz zatrudnienie sześciu jednostek transportowych zapewni harmonijny przebieg procesu produkcji, transportu i montażu sześciu budynków.
- Ciągły montaż ośmiu budynków zostanie zapewniony wówczas, gdy praca na linii produkcji płyt stropowych odbywać się będzie na trzy zmiany, praca na linii produkcji elementów przestrzennych odbywać się będzie na jedną zmianę, natomiast praca na pozostałych liniach odbywać się będzie na dwie zmiany. W przypadku równoczesnego montażu ośmiu budynków o większej liczbie kondygnacji, niż to przyjęto w założeniach celem zapewniania ciągłości montażu, należałoby dodatkowo na linii produkcji elementów ścian zewnętrznych organizować pracę okresowo na trzeciej zmianie. Przy takiej organizacji pracy na liniach produkcyjnych oraz przy równoczesnym wykorzystaniu ośmiu środków transportowych nie będzie występować zjawisko hamowania produkcji z powodu przepełnienia magazynu wyrobów gotowych oraz hamowania montażu z uwagi na brak elementów.
- Sprawny przebieg procesu montażu budynków zostanie zapewniony wówczas, gdy obok każdego montowanego budynku znajdować się będą trzy stanowiska kontenerowe.
- Sprawność przebiegu procesu budowlanego, jakim jest produkcja, transport i montaż elementów prefabrykowanych, zależy od wydajności poszczególnych jego ogniw i determinowana jest wydajnością ogniwa najsłabszego. Uwzględnienie losowości w przebiegu badanego procesu pozwala na jego realną ocenę. Harmonijny przebieg procesu wymaga wzajemnego dostosowania wydajności poszczególnych procesów cząstkowych, wchodzących w jego skład.

- Zwiększenie liczby jednocześnie montowanych budynków wymaga wzrostu produkcji oraz liczby zatrudnionych jednostek transportowych. Wzrost ten powinien mieć, w miarę możliwości, charakter intensywny, polegający na zwiększeniu wydajności zmianowej poszczególnych linii. Dopiero po wykorzystaniu możliwości intensywnego rozwoju produkcji jej dalszy wzrost powinien mieć charakter ekstensywny, polegający na organizacji pracy wielozmianowej na poszczególnych liniach produkcyjnych lub na budowie dodatkowych linii produkcyjnych. Ekstensywny wzrost polegający na zwiększeniu liczby jednocześnie montowanych budynków, liczby jednocześnie zatrudnionych jednostek transportowych oraz zwiększeniu produkcji wytwórni prefabrykatów powoduje również intensywny wzrost produkcji. Wraz z ekstensywną rozbudową wzrasta sprawność transportu, której konsekwencją jest wzrost sprawności montażu oraz skrócenie czasu jego realizacji.

R e k a p i t u l u j ą c zastosowanie opracowanego w pracy modelu symulacyjnego pozwala na:

- pełną harmonizację złożonego procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych z uwzględnieniem probabilistycznego jego charakteru,
- poprawę efektywności procesu poprzez możliwość eliminacji czasów oczekiwania elementów prefabrykowanych i środków transportowych,
- uzyskanie parametrów modelowanego procesu, które stanowią podstawę do właściwego zaprojektowania wytwórni prefabrykatów, doboru środków transportowych i organizacji procesu montażu,
- sterowanie przebiegiem całości procesu dzięki możliwości wprowadzenia na bieżąco do komputera danych rzeczywistych /dotyczących strumieni zgłoszeń i czasów obsługi/ i otrzymania realnych wyników.

SPIS LITERATURY

- [1] Banks J., Carson J.S.: Discrete-event system simulation. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1984.
- [2] Banyś K., Cichoracki J.: Transport kontenerowy prefabrykatów w budownictwie mieszkaniowym. Arkady, Warszawa, 1981.
- [3] Bąbiński Cz.: Elementy nauki o projektowaniu. WNT, Warszawa, 1972.
- [4] Beisswenger K.: Zur Ermittlung von Arbeitszeiten im Baubetrieb und deren Verwendung bei Simulationsmodellen. Baumaschine Bautechnik, z. 8, 1978.
- [5] Berszakiewicz B., Berszakiewicz J.: Wyznaczanie zdolności podstawowych procesów produkcyjnych w wytwórniach prefabrykatów budownictwa mieszkaniowego. Praca doktorska, Warszawa, 1981.
- [6] Bielajew J.K., Gniedienko B.W., Usakow I.A.: O razvitii teorii massovogo obsluzivanija i teorii nadieznosti w SSSR. Tiech. Kibiern. 5/1977.
- [7] Biernacki J.: Probabilistyczna ocena wydajności złożonych szeregowych procesów produkcyjnych nie posiadających magazynowania międzyoperacyjnego. Polit. Krak., Zeszyt Naukowy nr 7, Kraków, 1976.
- [8] Bizon J., Staszak F., Stefański A.: Próba określenia niektórych parametrów produkcji potokowej elementów prefabrykowanych. XXII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1976.
- [9] Bizon J.: Analiza rytmiczności procesów produkcji prefabrykatów żelbetowych. Praca doktorska, Poznań 1979.
- [10] Bizon J., Wpływ zakłóceń na zdolność produkcyjną wytwórni prefabrykatów. Przegląd Budowlany, 8-9/1981.
- [11] Borovkov A.A.: Asimptoticeskie metody v teorii massovogo obsluzivanija. Moskva, Nauka, 1980.
- [12] Borucka E.: Metodyka badania i oceny niezawodności systemów produkcyjnego na przykładzie prefabrykacji betonowej. Praca doktorska, Poznań, 1982.

- [13] Bremaud P.: Point processes and queues martingale dynamics. New York, Springer, 1981.
- [14] Buslenko V.V.: Avtomatizacija imitacionnogo modelirovanija sloznych sistem. Moskva, Nauka, 1977.
- [15] Carr R.I.: Simulation of construction project duration. Journ. of the Constr. Divis., ASCE, 1979, t. 105.
- [16] Cieszyński K.: Procesy przemysłowe w budownictwie mieszkaniowym, Arkady, Warszawa, 1980.
- [17] Cieszyński K. i inni: Przemysłowa produkcja prefabrykatów - procesy pomocnicze. PWN, Warszawa, 1983.
- [18] Ciołek R.: Ocena i kierunki rozwoju do 2000 roku w dziedzinie technologii i organizacji budownictwa. Przegląd Budowlany, 3-4/1986.
- [19] Cohen J.W., Boxma O.J.: Boundary value problems in queueing system analysis. Amsterdam, North-Holland Publ. Comp. 1983.
- [20] Cyunel B.: Metody statystyczne badania wydajności eksploatacyjnej maszyn załadunkowo-wyładowczych. Czasopismo Techniczne, 2B/1965.
- [21] Cyunel B.: Zagadnienie planowania ilości rezerwowych środków mechanizacji w oparciu o rachunek prawdopodobieństwa. Czasopismo Techniczne, 7/B-5/, 1965.
- [22] Cyunel B., Konopka B.: Analiza procesów produkcyjnych w świetle teorii masowej obsługi. Mat. XXI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1975.
- [23] Cyunel B., Konopka R.: Analiza niezawodności pracy zestawów maszynowych w budownictwie. XXVI Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i KN PZITB, Krynica, 1980.
- [24] Cyunel B., Konopka R.: Metody synchronizacji złożonych procesów produkcyjnych w budownictwie. XXXI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1985.
- [25] Czapliński K., Mrozowicz J.: Wskaźnik sprawności technologicznej jako miernik oceny procesu montażu. XIII Konferencja Problemowa w Kołobrzegu, Gdańsk - Kołobrzeg, 1976.
- [26] Czapliński K., Mrozowicz J.: Modelowanie procesów montażu przy zastosowaniu teorii masowej obsługi. Przegląd Budowlany, 2/1977.

- [27] Czapliński K., Mrozowicz J., Szczepaniak R.: Wspomagane projektowanie masowych procesów technologicznych w budownictwie. Mat. I Konf. pt. "Metody i środki projektowania automatycznego", Instytut Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1977.
- [28] Czapliński K., Mrozowicz J., Szczepaniak R.: Komputerowo wspomagane projektowanie masowych robót ziemnych. Mat. II Konf. pt. "Metody i środki projektowania automatycznego", Politechnika Warszawska, Warszawa, 1979.
- [29] Czapliński K., Mrozowicz J.: Zur Modellierung von Montageprozessen mit Hilfe der Warteschlangentheorie. Bauingenieur 54, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1979, Heft 7.
- [30] Czapliński K., Mrozowicz J., Musiał W.: Podstawy metodologii projektowania w budownictwie. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1980.
- [31] Czapliński K., Mrozowicz J.: Realizacja obiektów budowlanych. Podstawy teoretyczne. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1982.
- [32] Dyżewski A.: Technologia i organizacja budowy. Arkady, Warszawa, 1971.
- [33] Filipowicz B.: Wybrane metody i modele analizy systemów obsługi masowej. Zastosowania praktyczne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1979.
- [34] Franke E., Günther L.: Stochastische Mehrproduktlagerung mit Nebenbedingungen. IV Intern. Kongr. Industr. Bauen, Leipzig, HfB, 1972.
- [35] Gehbauer F.: Neue Methoden zur Leistungsberechnung von komplexen Transportprozessen im Erdbau. Baumaschine Bautechnik, 6/1974.
- [36] Gołotov C.N., Aramian J.K.: Organizacija kontejnernovo i pakietnovo obsluzivanija v stroitelstve. I.S. Kiev: Budivelnik, 2/1982.
- [37] Gordon G.: Symulacja systemów. WNT, Warszawa, 1974.
- [38] Gusakov A.A.: Modelirovanije i primenenije vycislitelnoj techniki v stroitelnom proizvodstwie. Strojizdat, Moskva, 1979.

- [39] Hall A.D.: Podstawy techniki systemów. Ogólne zasady projektowania. PWN, Warszawa, 1966.
- [40] Habr J., Veprek J.: Systemowa analiza i synteza. PWE, Warszawa, 1976.
- [41] Hellwig Z.: Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN, Warszawa, 1970.
- [42] Hoła B., Mrozowicz J.: Symulacja komputerowa procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych. Prace Instytutu Mechanizacji Budownictwa. Problemy mechanizacji budownictwa, Warszawa, 3/ 1984.
- [43] Hoła B., Mrozowicz J.: Badania doświadczalne procesów produkcji transportu i montażu, jako podstawa budowy prawidłowego programu symulacyjnego. Prace Instytutu Mechanizacji budownictwa, z. Problemy mechanizacji budownictwa. Warszawa 4/1985.
- [44] Hoła B., Mrozowicz J.: Badanie symulacyjne procesu produkcji, transportu i montażu elementów prefabrykowanych. XXXII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1986.
- [45] Ignaczewski M.: Badania rozkładów czasu pracy stanowisk linii produkcyjnej. Zeszyty Naukowe Polit. Pozn. Bud. Łąd. z. 19, 1974.
- [46] Instrukcja obliczania i bilansowania zdolności produkcyjnej w przemyśle betonów. Zjednoczenie Przemysłu Betonów, CEBET, Warszawa, 1977.
- [47] Jabłonskij A.A., Ilin N.J.: Modelirovanije kompleksno-mechanizirovannyh processov proizvodstva SMR s ucetam verojatnostnyh uslovij stroitelno-proizvodstva. CNIPIASS, 32/1981.
- [48] Jasiczak J.: Modelowanie pojemności składowisk elementów w zakładach prefabrykacji w warunkach deterministyczno-probabilistycznych. Mat. XXVII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1981.
- [49] Jasiczak J.: Kształtowanie pojemności składowisk gotowej produkcji w zakładach prefabrykacji betonowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Poznań, 12/1985.
- [50] Jaworski K.M.: Projektowanie realizacji budowy według kryterium niezawodności. Teoria i metoda, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1980.

- [51] Jaworski K.M.: Optymalizacja wielkości placów składowych w budownictwie. Przegląd Budowlany, 3/1984.
- [52] Jaworski K.M., Orłowski Z.: Matematyczne metody projektowania robót ziemnych. Wyd. Polit. Białostockiej, Białystok, 1985.
- [53] Kamiński S.: Optymalizacja zaplecza budownictwa. Teoria i metoda. Prace naukowe Polit. Warszawskiej, Budownictwo, z. 79, Warszawa, 1983.
- [54] Kapliński O.: Optymalizacja doboru ciągów technologicznych w procesie montażu "z kół" budynków prefabrykowanych z elementów wielkowymiarowych" Polit. Poznańska, Praca doktorska, Poznań, 1971.
- [55] Kapliński O.: Optymalizacja ciągu montażowego składowisko-transport-montaż, X Konferencja Problemowa, Gdańsk-Kołobrzeg, 1973.
- [56] Kapliński O.: Projektowanie przestrzeni magazynowej w warunkach nierównomiernego losowego pobytu. Mat. Konf. TNOiK i GOGM nt. Aktualne problemy usprawniania gospodarki magazynowej, Poznań-Katowice, 1973.
- [57] Kapliński O.: Próba określenia wielkości składowiska przy wytwórni dla zapewnienia ciągłości montażu z kół. Problemy Rozwoju Budownictwa, z. 1/1973.
- [58] Kapliński O., Skarżyński A.: Wybrane Metody matematyczne w organizacji i planowaniu budowy. Wydawnictwo Polit. Poznańskiej, Poznań, 1973.
- [59] Kapliński O.: Zastosowanie teorii kolejek do optymalizacji ciągu technologicznego, Przegląd Statyst, 4/1974.
- [60] Kapliński O.: Symulacja cyklicznych procesów budowlanych. XXVI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1976.
- [61] Kapliński O.: Próba zastosowania teorii niezawodności do oceny procesu montażu budynków prefabrykowanych. XIX Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1976.
- [62] Kapliński O.: Harmonizacja cyklicznych procesów budowlanych w ujęciu stochastycznym. Polit. Poznańska, Rozprawy, Nr 91, Poznań, 1978.
- [63] Kapliński O., Dałotow A.W.: Pewien model sterowania procesami transportu i montażu elementów budowlanych. Mat. Konfer. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1977.

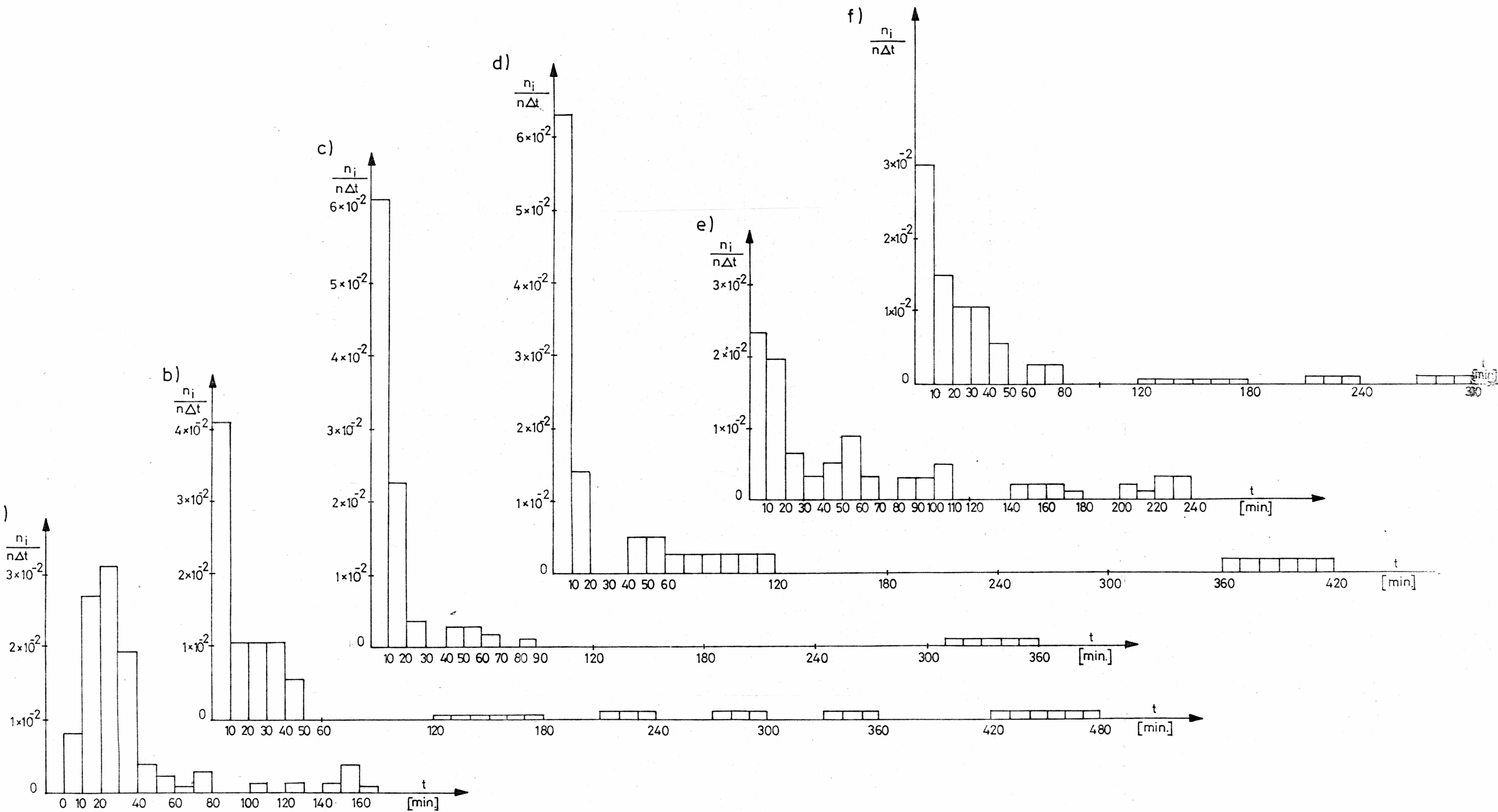
- [64] Kapliński O.: Die Harmonisierung der Bauprozesse unter der Stochastischen Bedingungen. Berichte VIII, IKM, Weimar, 1978, Band 1.
- [65] Kapliński O.: Wpływ zmienności czasu pracy na wydajność cyklicznych ciągów technologicznych. XXV Jubileuszowa Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1979.
- [66] Kapliński O., Borucka E., Borucki A.: Modelowanie imitacyjne złożonych procesów produkcyjnych w budownictwie. Problemy Rozw. Budownictwa, 1/1985.
- [67] Kapliński O., Meszek W.: Die Harmonisierung der Bauprozessen unter den Unbestimmtheitsbedingungen, Materiały VII MKO Halle, 1982, t. 2b.
- [68] Kluz T. i inni: Budownictwo betonowe tom VII - Zagadnienia ogólne prefabrykacji. Warszawa, Arkady, 1972.
- [69] Klir G.J.: Trends in general Systems Theory. J. Willey and Sons, New York, 1978.
- [70] Kołton A.: Projektowanie mechanizacji procesów cyklicznych w budownictwie w świetle teorii masowej obsługi. Czasopismo Techniczne, z. 9-13/1970.
- [71] Kołton A.: Probabilistyczne modele oceny wydajności maszyn budowlanych i ich zespołów. Polit. Krakowska, Kraków, 1972.
- [72] Kondratowicz L.: Modelowanie symulacyjne systemów. WNT, Warszawa, 1978.
- [73] Kulikov J., Rezvych V.: Ispolzovanie imitacionnogo modelirovanija pri Vormirovanii plana orgtechmieroprijatii stroitelnoj organizacii. Reverativnaja informacija. Promyslennoe i zilisnoje grazdanskoje stroitelstvo. Serija 1, Moskva, 1983.
- [74] Lipaev V.V.: Raspredelenie resursov v vycislitelnych sistemach. Moskva, Statistika, 1979.
- [75] Martin F.F.: Wstęp do modelowania cyfrowego. PWN, Warszawa, 1976.
- [76] Międzyński A., Sobótka A.: Koncepcja metody projektowania zmechanizowanych procesów produkcyjnych. metodą symulacji. Przegląd Budowlany, 8/1978.

- [77] Międzyński A., Sobótka A.: Koncepcja metody projektowania pracy rytmicznej w budownictwie metodą symulacji. XXXI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITSB, Krynica, 1982.
- [78] Michajłow V.S., Tovcenko V.I.: Automatyzacija razrabotki organizacyjno-technologiceskich variantov rozviedeniija zdaniij. Stroitelstvo i Architektura, 2/1982.
- [79] Mindur L.: Transport, element wiążący poszczególne fazy procesu produkcyjnego budownictwa. Przegląd Budowlany, 5/1975.
- [80] Mindur L.: Metody optymalizacyjne w rozwiązywaniu zadań transportowych budownictwa. Przegląd Budowlany, 4/1977.
- [81] Morgan Byron J.T.: Elements of simulation. London, Chapman and Hall, 1984.
- [82] Mrozowicz J.: Próba modelowania procesu montażu na podstawie badań doświadczalnych wybranego systemu budownictwa mieszkaniowego. Praca doktorska, Polit. Wr., Wrocław 1974.
- [83] Mrozowicz J.: Identyfikacja procesów montażu budynków mieszkalnych jako systemu masowej obsługi. Prace Naukowe Inst. Bud. P. Wr. z. 27, Wrocław, 1978.
- [84] Mrozowicz J.: Modelowanie wielokanałowych systemów masowej obsługi w budownictwie. Mat. II Konferencji pt. "Metody i środki projektowania automatycznego". Instytut Podstaw Budowy Maszyn Polit. Warszawskiej, Warszawa, 1979.
- [85] Mrozowicz J.: Modelowanie symulacyjne cyklicznych procesów budowlanych. XXVIII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITSB, Krynica, 1979.
- [86] Murtazin V., Babajeva L.: Rascet ritmicnosti proizvodstviennogo processa na predprijatijach krupnopanelnovo domostrojenija. Promyslennoje i Zilisno-grazdanskoje stroitelstvo. S.I., W.I., Moskva, 1982.
- [87] Partnov O.: Primienienije imitacionnogo modelirovanija v operativnoj upravlenii stroitelstvom. Reverativnaja informacija. Promyslennoje i zilisno-grazdanskoje stroitelstvo. W. 1, Moskva, 1982.
- [88] Panwalker S.S., Iskander W.: A survey of scheduling rules. Operations Research, 1/1977.
- [89] Pełka B.: Zarys ekonomiki i organizacji przemysłowych procesów produkcyjnych, PWE, Warszawa, 1974.

- [90] Pawiński J.: Fab-ryki Domów - likwidować czy ochraniać. Inwestycje i Budownictwo, 2/1984.
- [91] Perkowski P.: Technika symulacji cyfrowej. WNR, Warszawa, 1980.
- [92] Peterson J.L.: Petrinets. Computing Surveys, 3/1977.
- [93] Piórecki St.: Badanie czasu pracy i wpływu jego dyspersji na wydajność produkcji w budownictwie. Polit. Poznańska, Poznań, 1973.
- [94] PN-75/B-06250. Beton zwykły.
- [95] Ptuskin A.S., Cułkov A.K.: Modelirovanije processov projektirovanija strojgenplana. CNIPIASS, 32/1982.
- [96] Rowiński L.: Organizacja procesów budowlanych, PWN, Warszawa, 1979.
- [97] Rowiński L.: Organizacja produkcji budowlanej. Arkady, Warszawa, 1982.
- [98] Schafer W., Gubalke W.: Optimale Zusammensetzung von Maschinensystemen mit Hilfe von stochastischer Simulation. IV Intern. Kongr. Industrial Bauen, HfB, Leipzig, 1973.
- [99] Scheuch F. Paletten für den Transport von Sonderelementen im Vohnungsbau. Bauinformation, Jg 28H, 1985.
- [100] Shannoh R.E., Systems simulation. The art and science 1975 by Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.
- [101] Smirnow N.W., Dunin-Brokowski I.W.: Krótki kurs statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych. PWN, Warszawa, 1966.
- [102] Sobotka A.: Analiza wydajności środków mechanizacji w budownictwie metodą symulacji. Praca doktorska, Polit. Warszawska, Warszawa, 1980.
- [103] Szelejewski A.: Propozycja metody wyznaczania zdolności wytwórczej linii produkcyjnych betonowych elementów wielkopłytowych. Konferencja Naukowa Jednostek Jednoimiennych, Warszawa-Jadwisin, 1983.
- [104] Szvidenko W.U., Jabłoński A.A.: O rozcotie potrebnosti podviznovo sostava pri montazhe zdaniy z transportnykh sredstv. Mechanizacija Streitelstva, 5/1972.

- [105] Szycher A.W.: Organizowanie transportu technologicznego w budownictwie wielkopłytowym metodą symulacji. Praca doktorska, Inst. Org. i Zarządz. Polit. Wrocławskiej, Wrocław 1976.
- [106] Temesvari J.: A kontenerizacio helezete az eptoiarban, Epitesiigyi Szemle, 2/1982.
- [107] Wasilewska H.: Rozwój techniki, a efektywność w budownictwie mieszkaniowym. Inwestycje i Budownictwo, 2/1984.
- [108] Watorski J., Więckowski A.: Optymalizacja planowania dostaw elementów prefabrykowanych. XXII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1976.
- [109] Więckowski A.: Planowanie zapasu prefabrykatów na budowie XX Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1979.
- [110] Więckowski A.: Ocena efektywności układów produkcyjnych transport-zapasz-montaż w systemowym budownictwie mieszkaniowym. Praca doktorska. Kraków, 1980.
- [111] Woodhead R.W., Halpin W.D.: Design of Construction and Process Operations. J. Willey and Sons, New York, 1976.
- [112] Wytyczne stosowania i obróbki cieplnej betonu zwykłego w warunkach fabrycznej produkcji prefabrykatów. Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Betonów, CEBET, Warszawa, 1972.
- [113] Wytyczne produkcji betonowych i żelbetowych prefabrykatów budowlanych z gorącej mieszanki betonowej. Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Betonów, CEBET, Warszawa, 1973.
- [114] Van der Veen B.: Wstęp do teorii badań operacyjnych. PWN, Warszawa, 1970.
- [115] Zajączkowska T.: Programowanie powierzchni zapasów zaplecza budownictwa dla losowych wielkości składowych zapasów. XX Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1974.
- [116] Zieliński R.: Metody Monte Carlo. WNT, Warszawa, 1970.
- [117] Zwierzchowska Z.: Wpływ metod organizacji procesu produkcyjnego na zagospodarowanie przestrzenne wytwórni prefabrykatów betonowych. Praca doktorska, Wrocław, 1982.

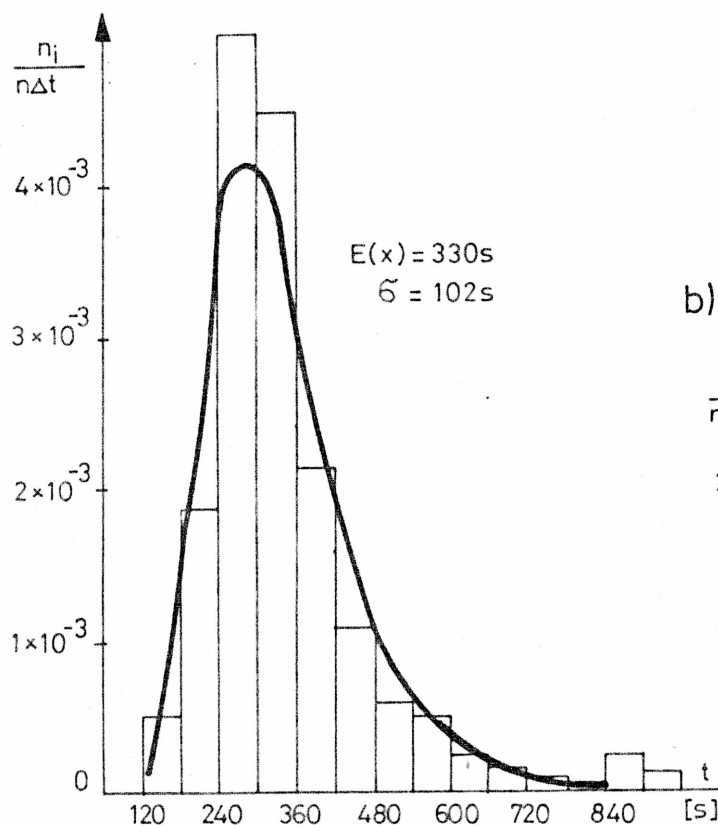
Z A Ł A C Z N I K



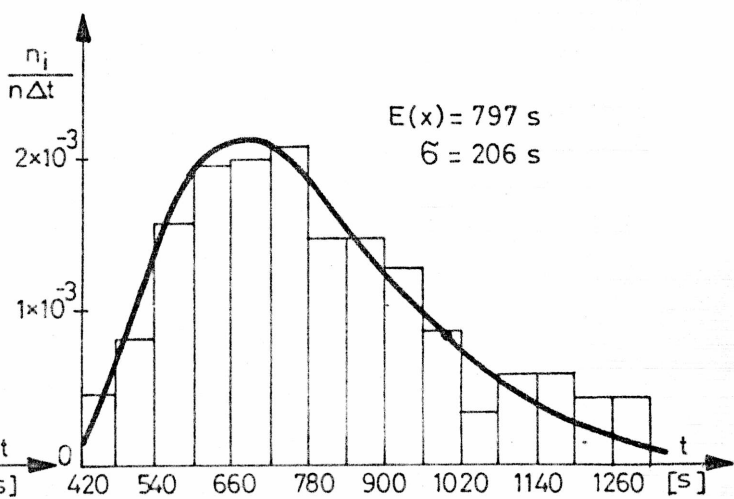
Rys. Z.1. Histogramy odstępów czasów między kolejnymi rozformowaniami
a/ płyt stropowych, b/ ścian wewnętrznych nośnych, c/ ścianek kolankowych,
d/ elementów przestrzennych, e/ elementów uzupełniających, f/ ścian zewnętrznych.

a)

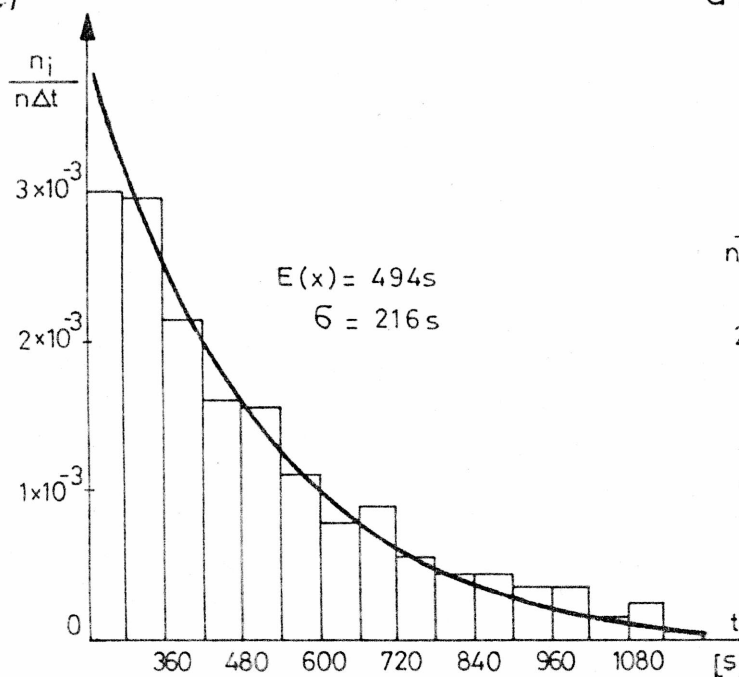
- 156 -



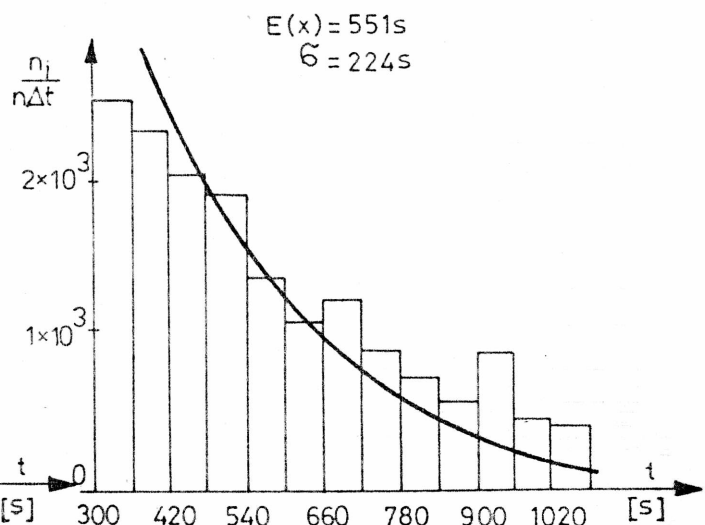
b)



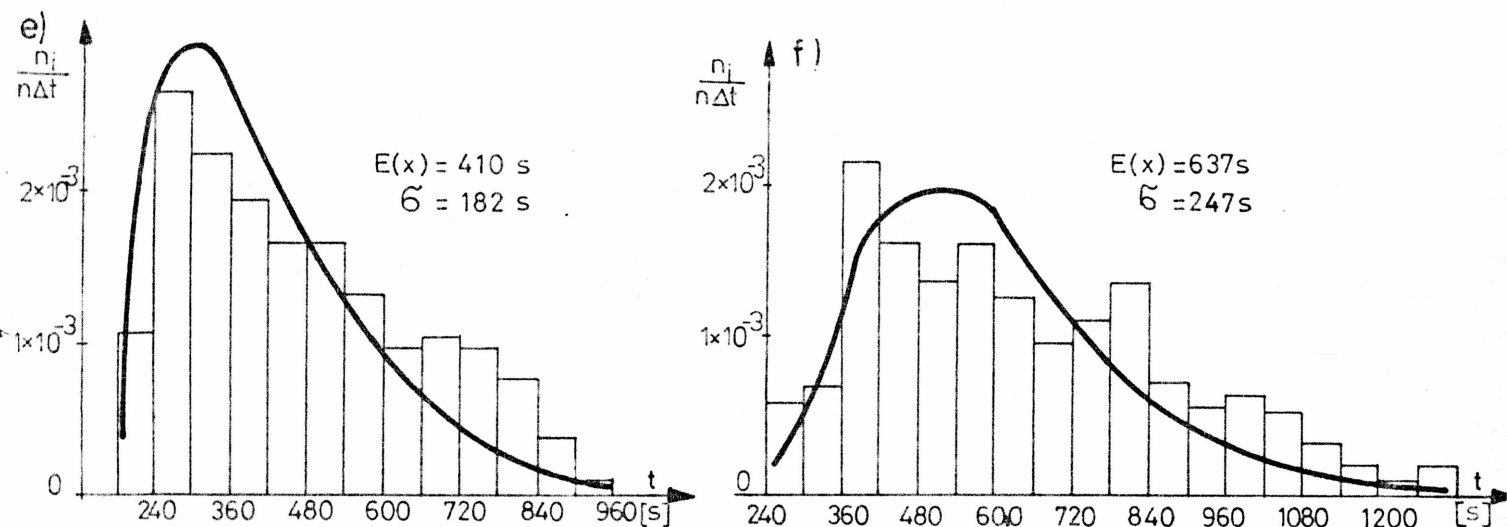
c)



d)

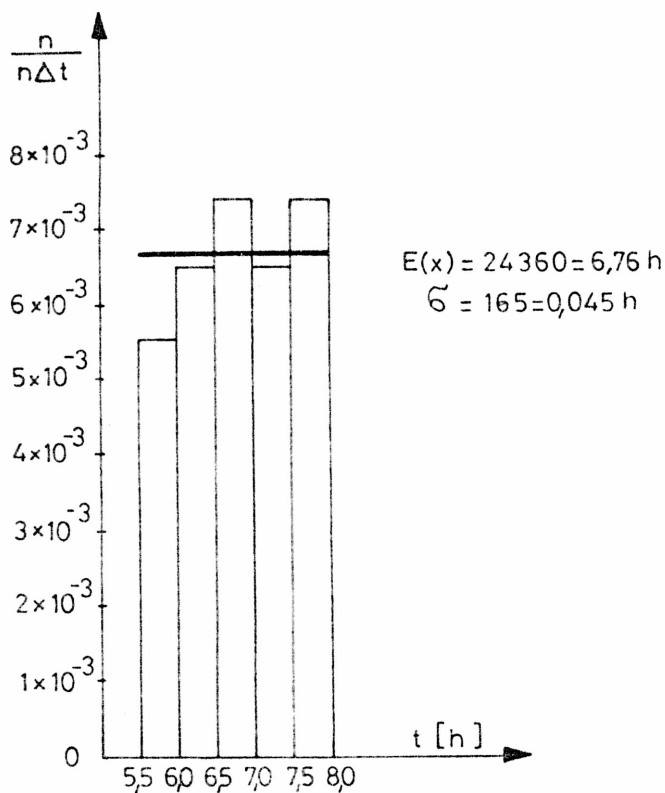


Rys. Z.2. Histogramy czasów montażu elementów prefabrykowanych aproksymowane funkcją gęstości rozkładów Erlanga:
a/ płyty stropowe - $k=4$, b/ ściany wewnętrzne nośne $k=3$, c/ ścianki kolankowe $k=1$ /rozkład wykładniczy/, d/ elementy przestrzenne $k=1$ /rozkład wykładniczy/.



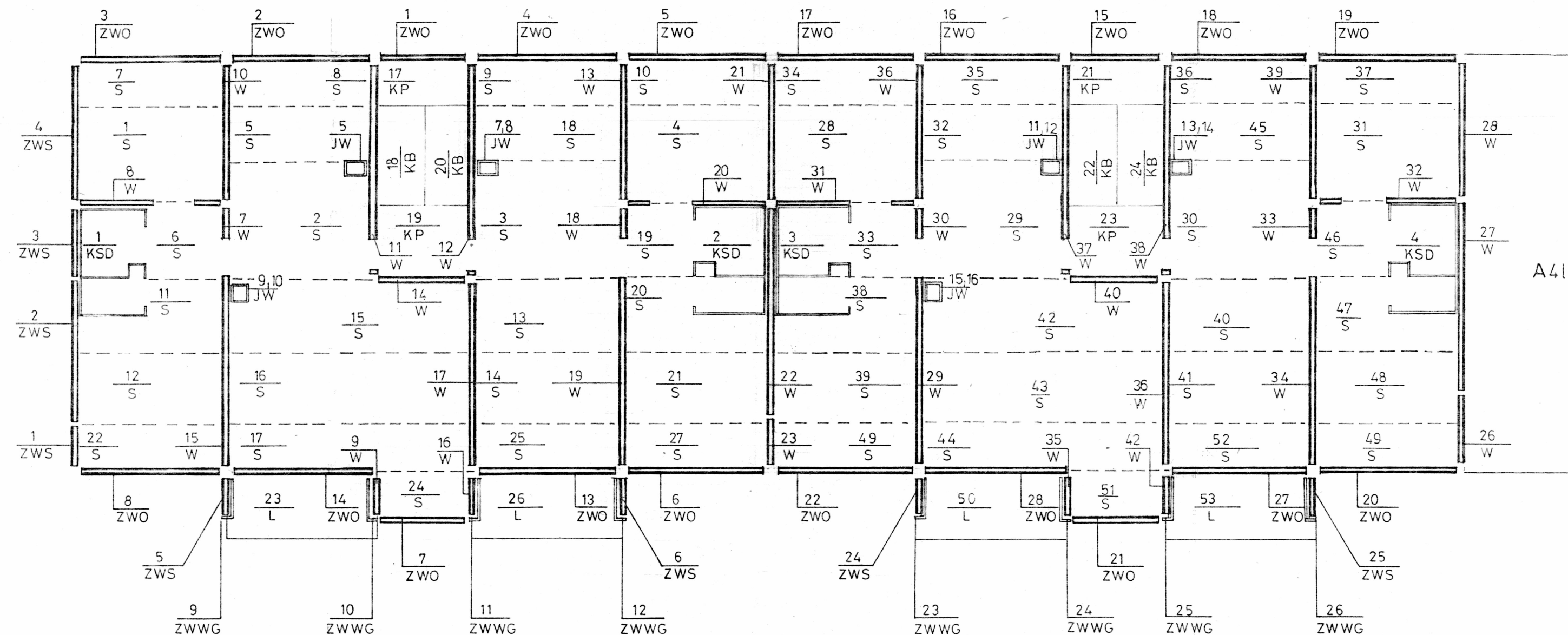
Rys. Z.3. Histogramy czasów montażu elementów prefabrykowanych, aproksymowane funkcją gęstości rozkładów Erlanga:

a/ elementy uzupełniające $k=2$, b/ ściany zewnętrzne $k=3$



Rys. Z.4. Histogram czasu trwania wykonania połączeń między elementami prefabrykowanymi aproksymowany funkcją gęstości rozkładu równomiernego.

$$f(t) = \begin{cases} 6,8 \cdot 10^{-3} & \text{dla } 5,5 \leq t \leq 8 \\ 0 & \text{dla } t < 5,5 \text{ i } t > 8 \end{cases}$$



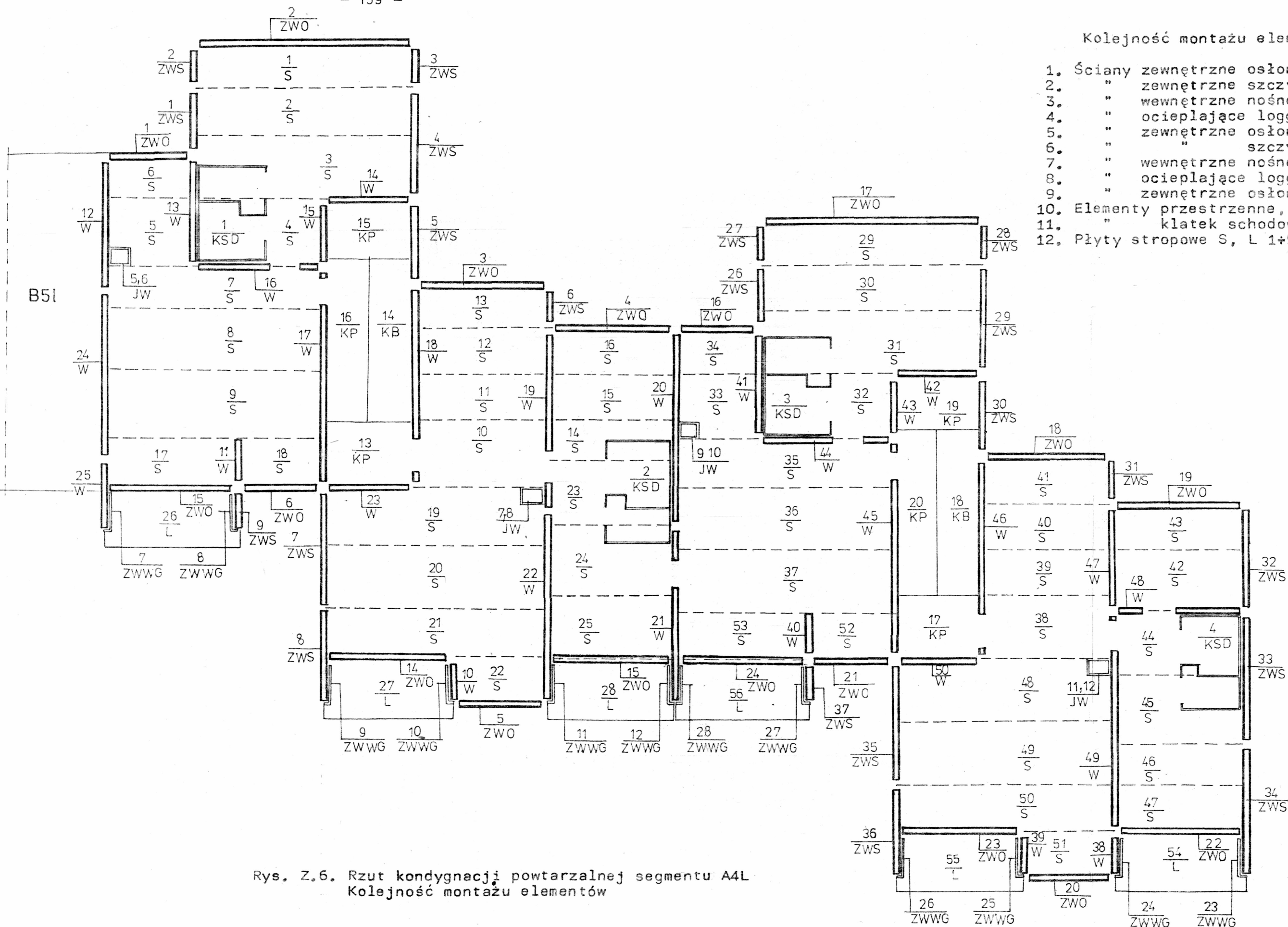
Kolejność montażu elementów

- | | |
|---|---|
| 1. Ściany zewnętrzne, osłonowe, ZWO - 1÷8 | 7. Ściany wewnętrzne nośne, W - 26÷42 |
| 2. " " , szczytowe, ZWS - 1÷6 | 8. " ocieplające loggie, ZWWG - 28÷26 |
| 3. " wewnętrzne, nośne, W - 7÷23 | 9. " zewnętrzne osłonowe, ZWO - 27÷28 |
| 4. " ocieplające loggie, ZWWG - 9÷12 | 10. Elementy przestrzenne, KDS, JW - 1÷16 |
| 5. " zewnętrzne osłonowe, ZWO - 13÷22 | 11. " klatek schodowych, KP, KB - 17÷24 |
| 6. " " szczytowe ZWS - 24÷25 | 12. Płyty stropowe, S, L-1-53 |

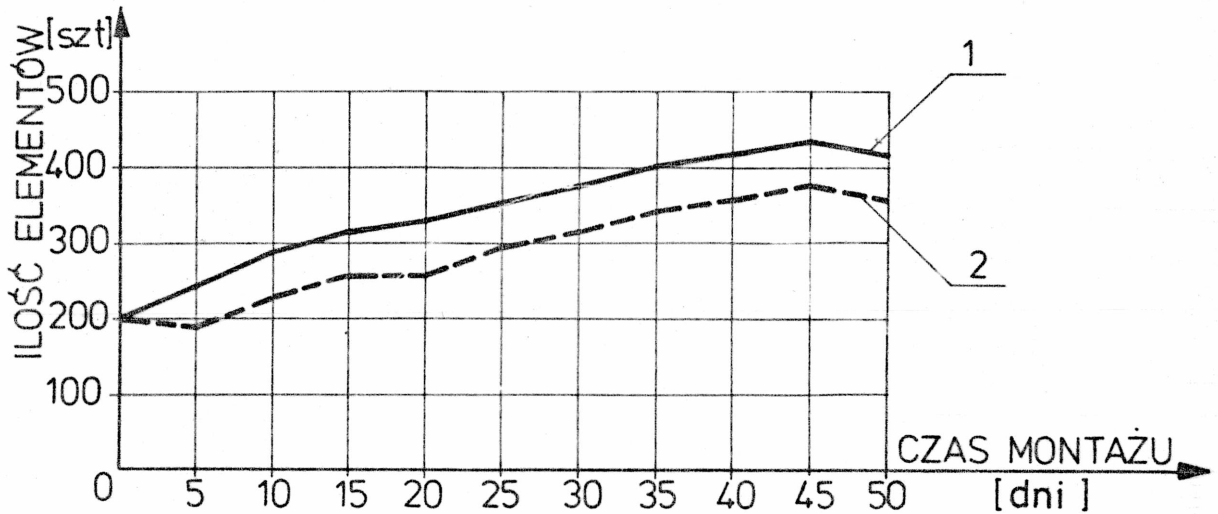
Rys. Z.5. Rzut kondygnacji powtarzalnej segmentu B5L
Kolejność montażu elementów.

Kolejność montażu elementów

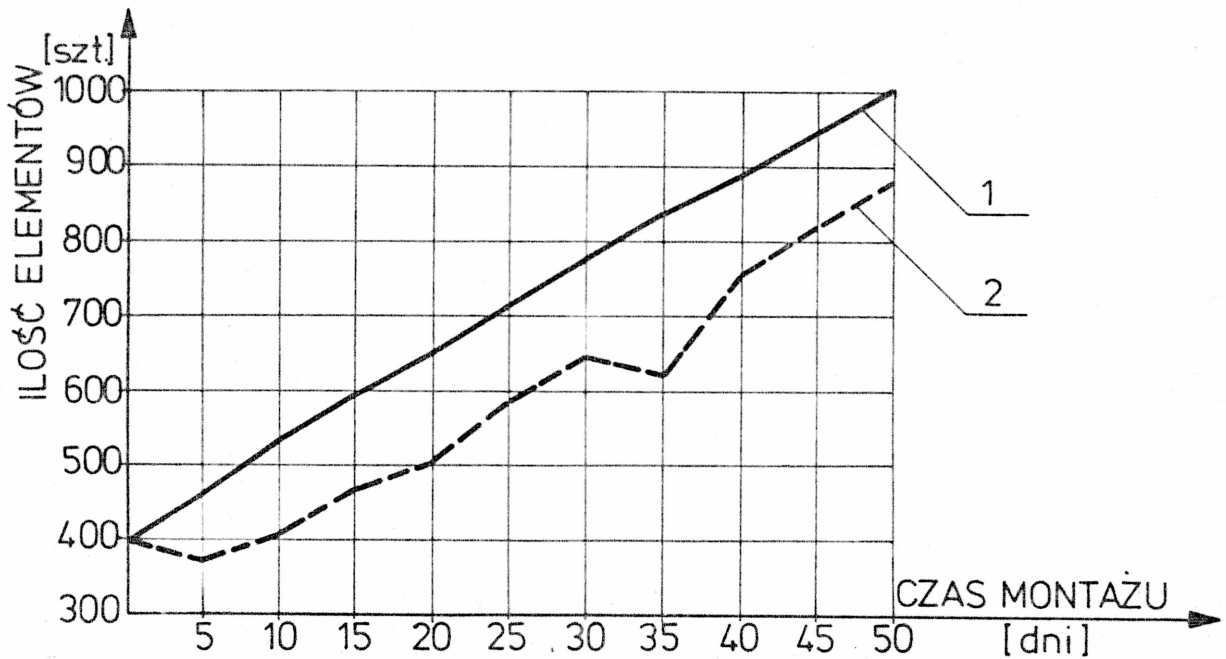
1. Ściany zewnętrzne osłonowe, ZWO - 1+6
2. " zewnętrzne szczytowe, ZWS - 1+9
3. " wewnętrzne nośne, W - 10+25
4. " ocieplające loggie, ZWWG - 9+12
5. " zewnętrzne osłonowe, ZWO - 13+21
6. " " szczytowe, ZWS - 26+37
7. " wewnętrzne nośne, W - 38+50
8. " ocieplające loggie, ZWWG - 22+28
9. " zewnętrzne osłonowe, ZWO - 22+24
10. Elementy przestrzenne, KDS, JW, - 1+12
11. " klatek schodowych, KP, KB - 13+20
12. Płyty stropowe S, L 1+56



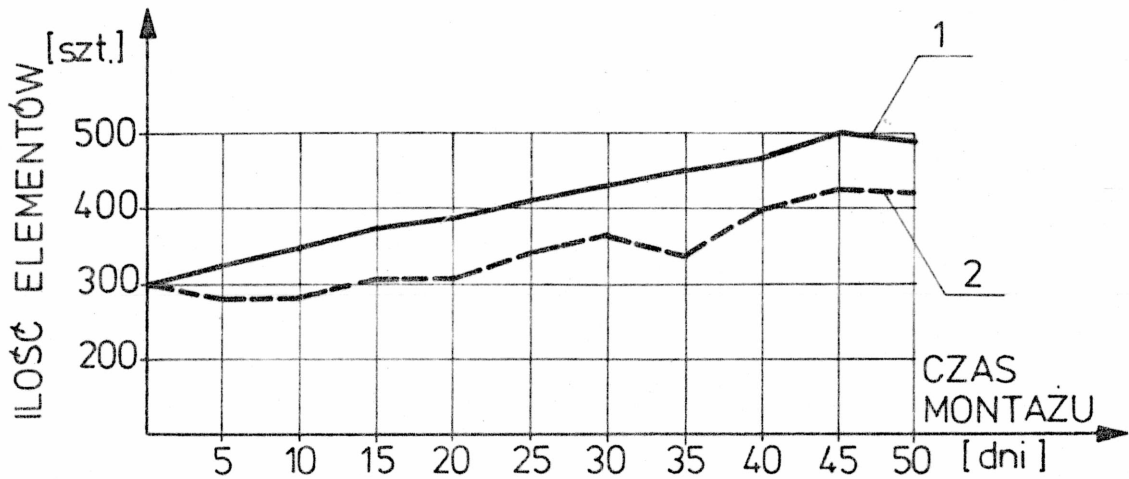
Rys. Z.6. Rzut kondygnacji powtarzalnej segmentu A4L
Kolejność montażu elementów



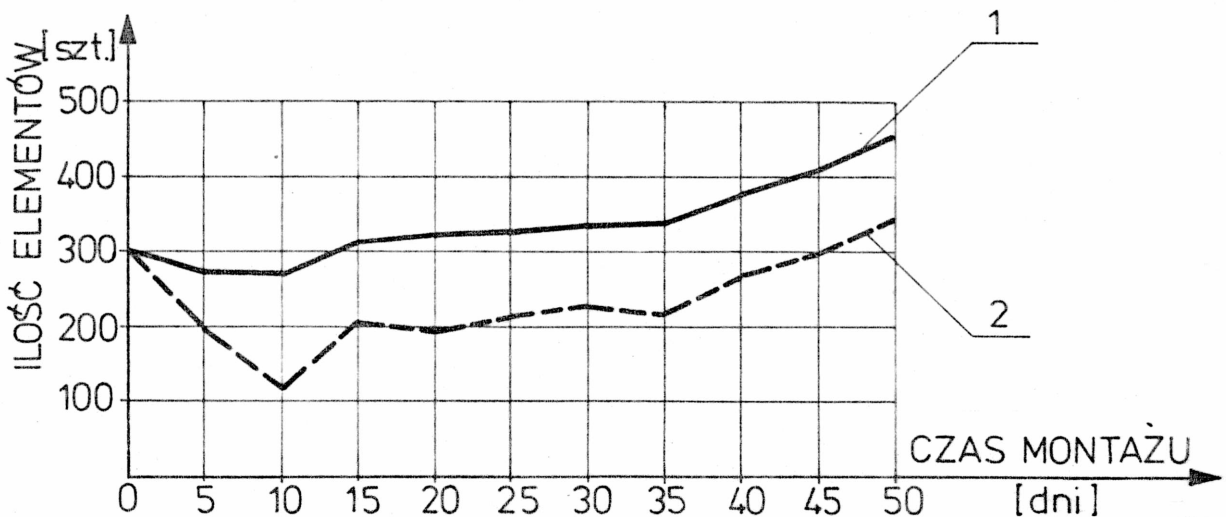
Rys. Z.7. Przebieg zmiany ilości ścianek kolankowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość ścianek kolankowych.
 Krzywa 2 - ilość ścianek kolankowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



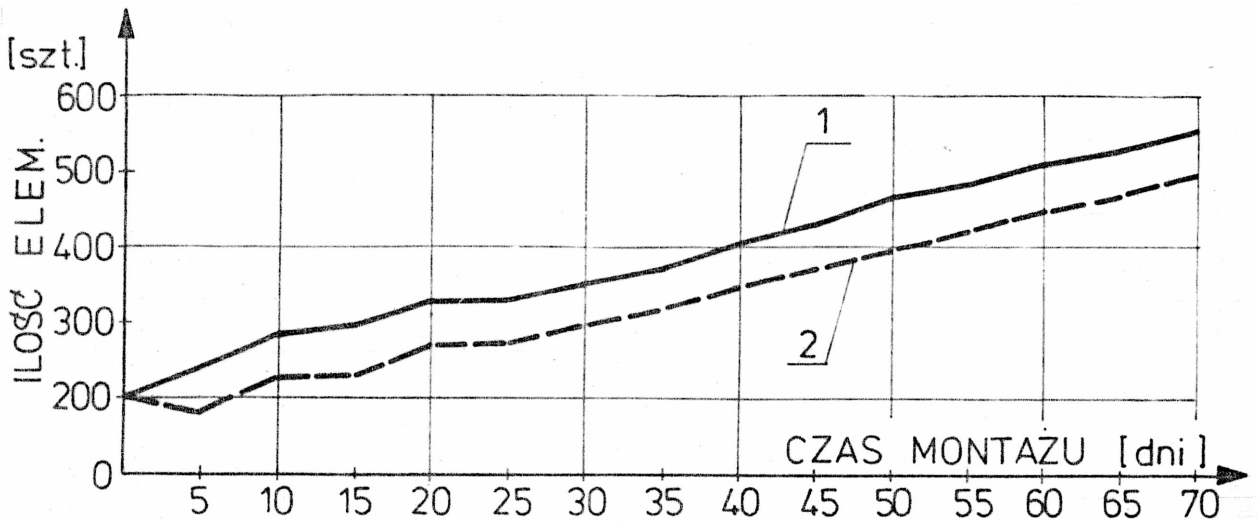
Rys. Z.8. Przebieg zmiany ilości elementów przestrzennych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość elementów przestrzennych.
 Krzywa 2 - ilość elementów przestrzennych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



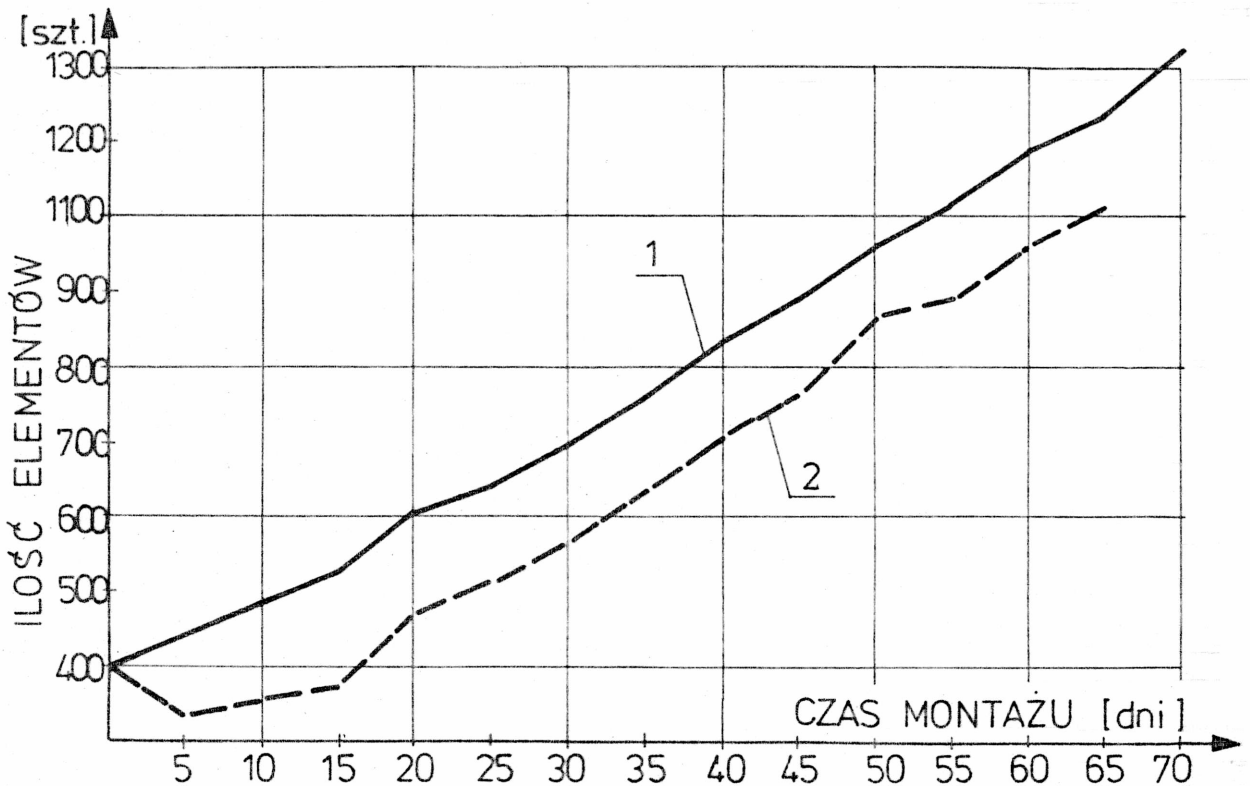
Rys. Z.9. Przebieg zmiany ilości elementów uzupełniających w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość elementów uzupełniających.
Krzywa 2 - ilość elementów uzupełniających, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



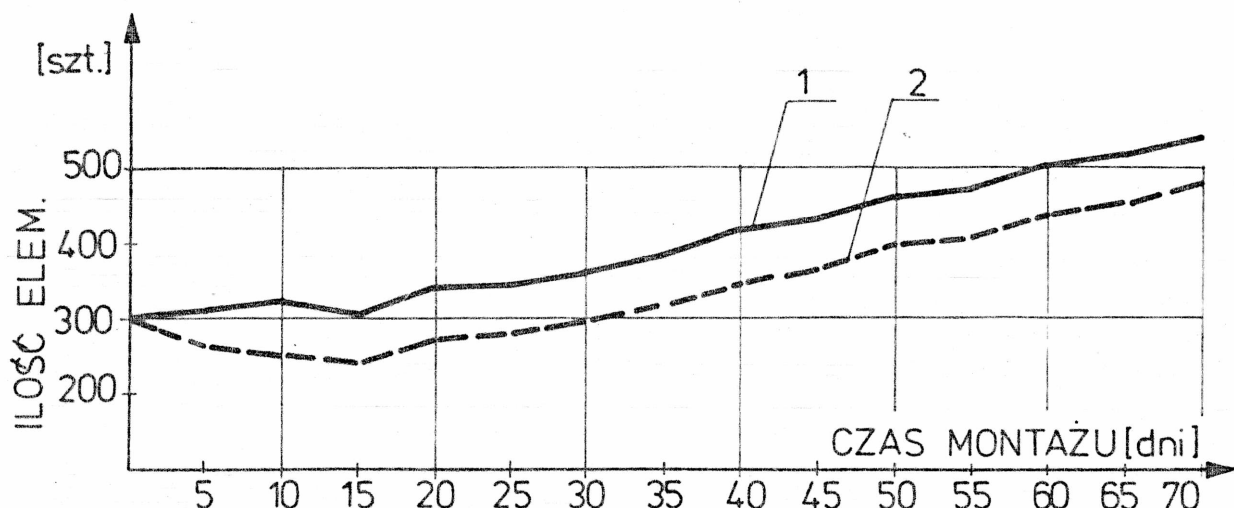
Rys. Z.10. Przebieg zmiany ilości ścian osłonowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu dwóch budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścian osłonowych.
Krzywa 2 - ilość ścian osłonowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



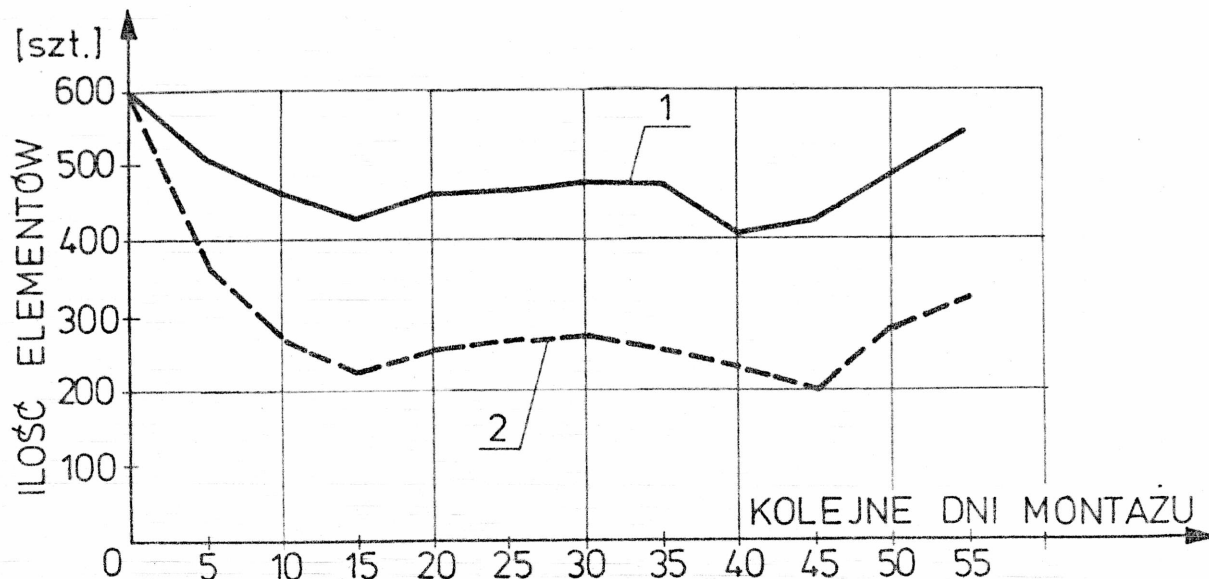
Rys. Z.11. Przebieg zmiany ilości ścianek kolankowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość ścianek kolankowych.
 Krzywa 2 - ilość ścianek kolankowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



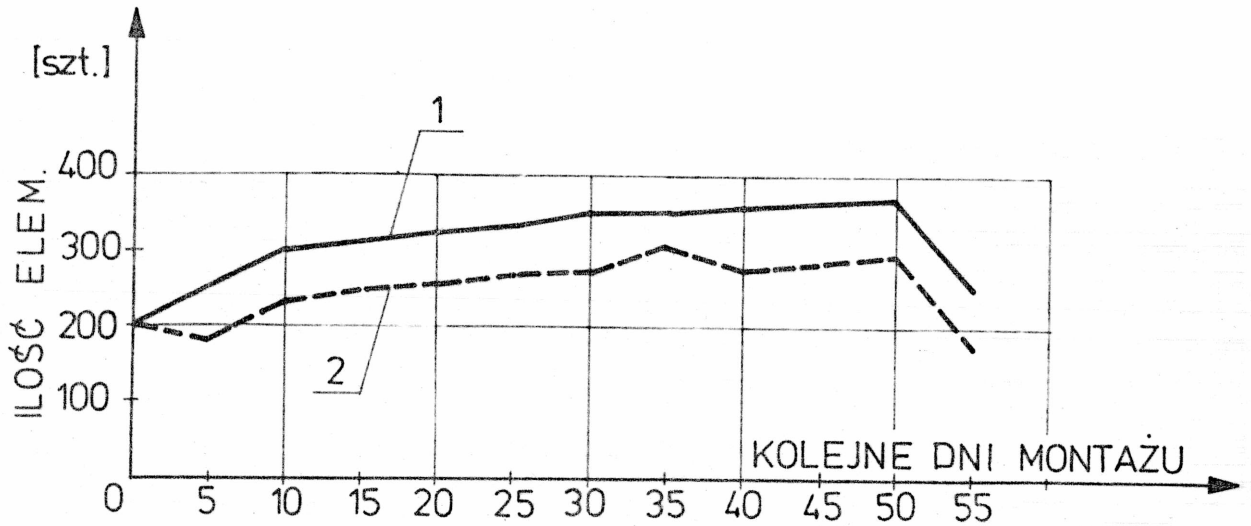
Rys. Z.12. Przebieg zmiany ilości elementów przestrzennych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość elementów przestrzennych.
 Krzywa 2 - ilość elementów przestrzennych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



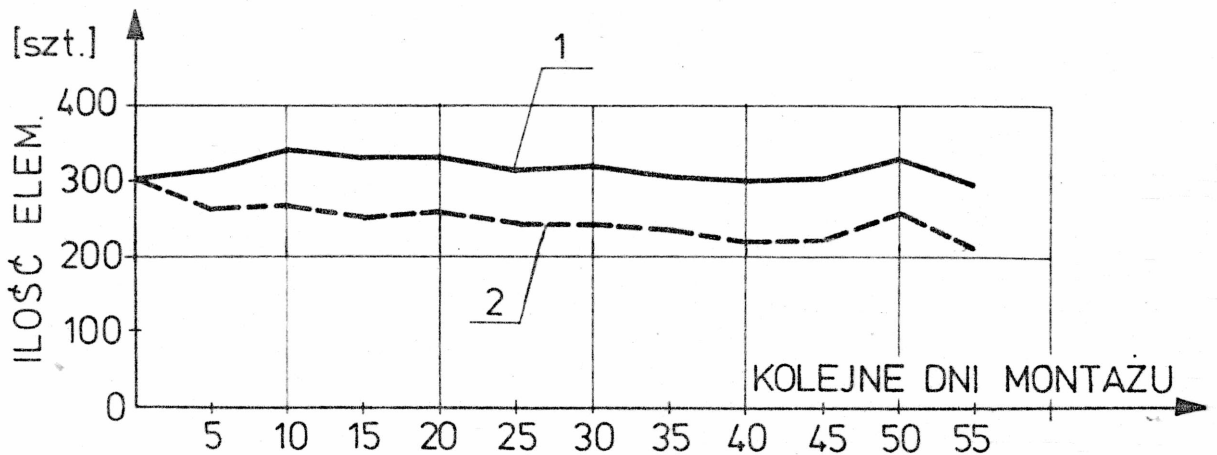
Rys. Z.13. Przebieg zmiany ilości elementów uzupełniających w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu jednoczesnej pracy na wszystkich liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość elementów uzupełniających.
 Krzywa 2 - ilość elementów uzupełniających, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



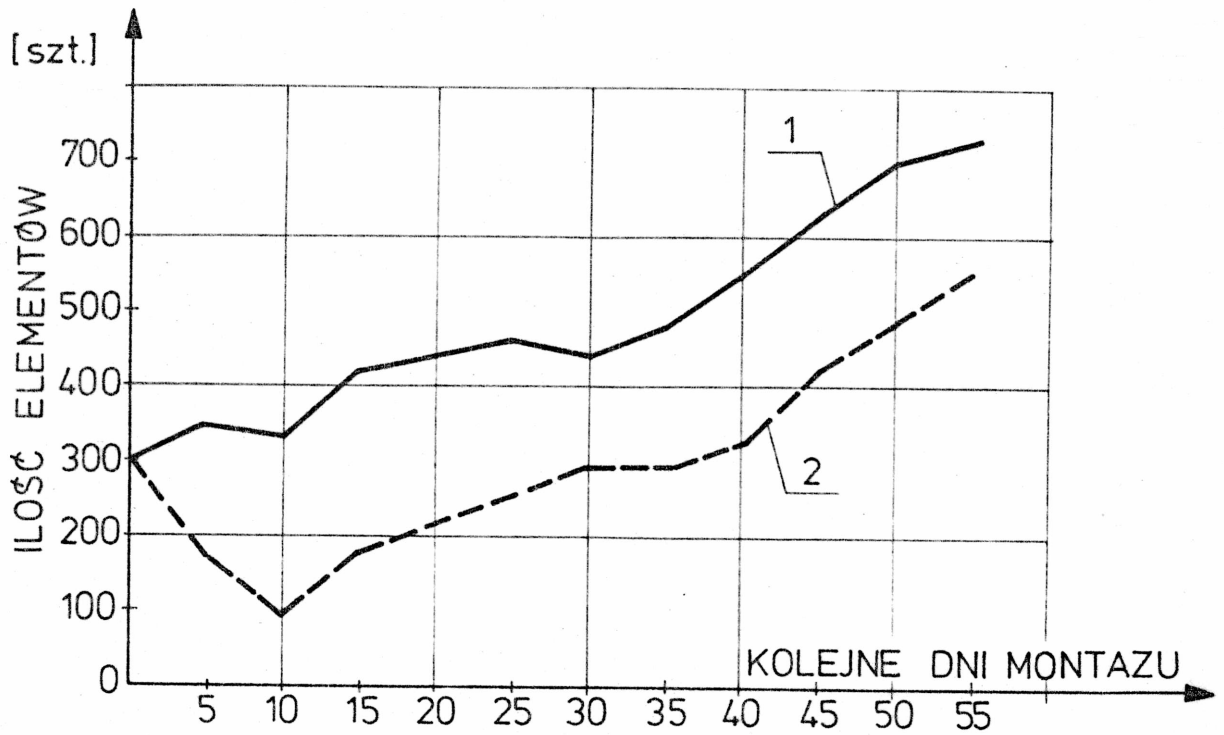
Rys. Z.14. Przebieg zmiany ilości ścian wewnętrznych nośnych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu pracy dwuzmianowej na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz jednoczesnej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość ścian wewnętrznych nośnych.
 Krzywa 2 - ilość ścian wewnętrznych nośnych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



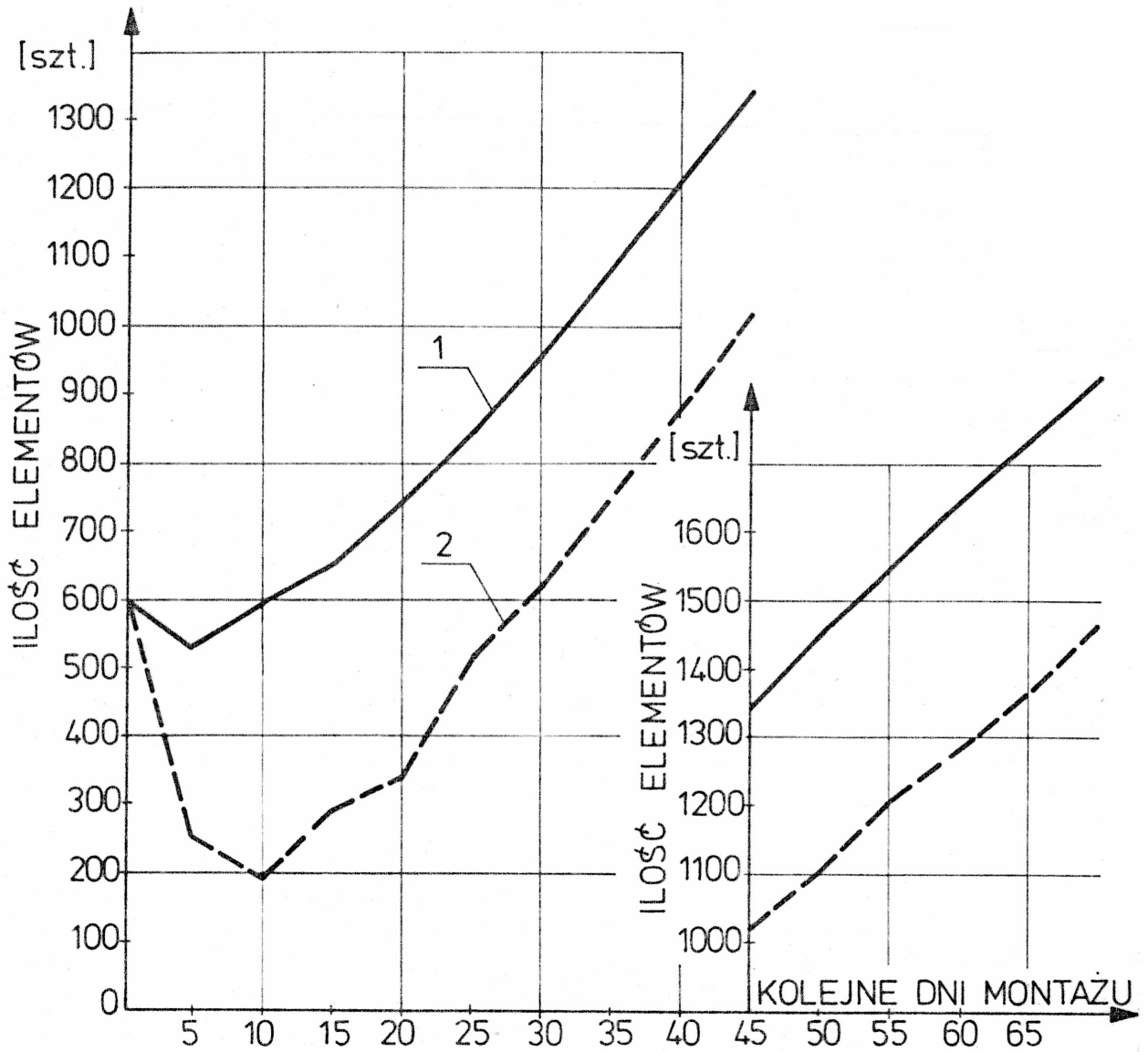
Rys. Z.15. Przebieg zmiany ilości ścianek kolankowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu pracy dwuzmianowej na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz jednozmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścianek kolankowych.
Krzywa 2 - ilość ścianek kolankowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



Rys. Z.16. Przebieg zmiany ilości elementów uzupełniających w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu pracy dwuzmianowej na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz jednozmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość elementów uzupełniających,
Krzywa 2 - ilość elementów uzupełniających, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



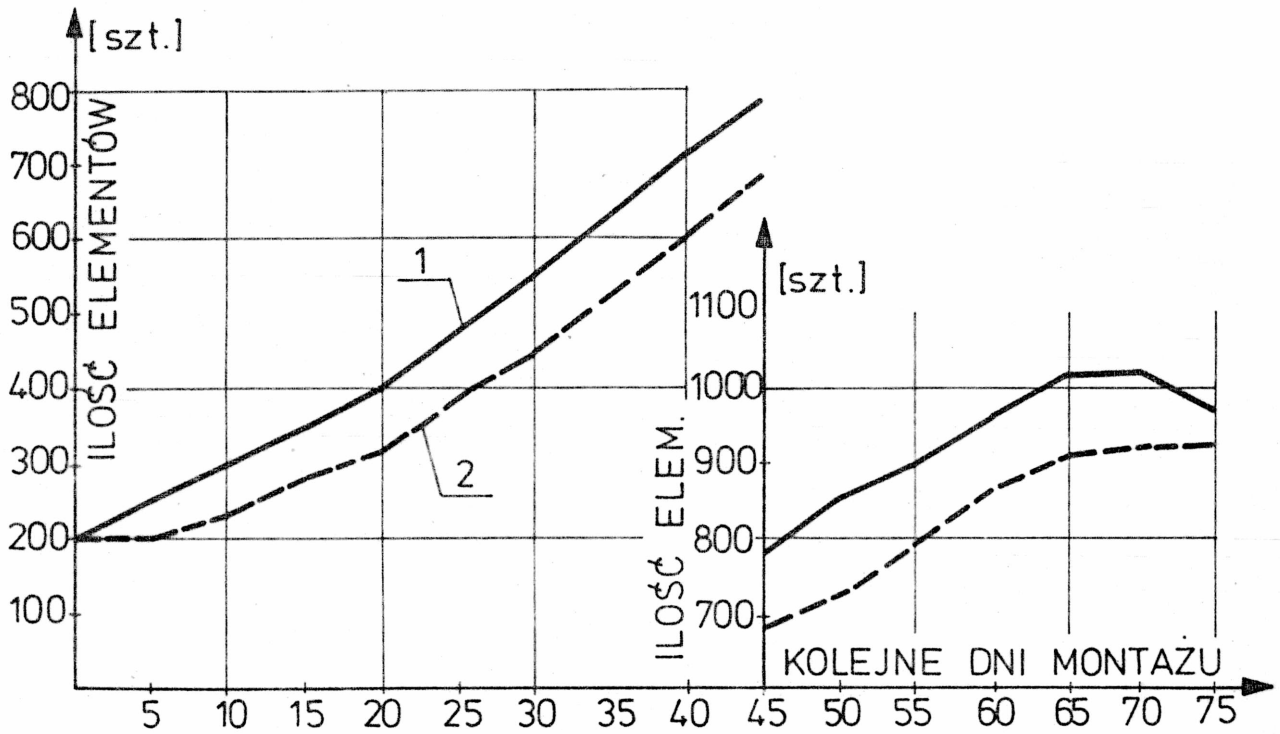
Rys. Z.17. Przebieg zmiany ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu czterech budynków, przy założeniu pracy dwuzmianowej na linii produkcji płyt stropowych i ścian zewnętrznych oraz jednozmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu czterech jednostek transportowych. Krzywa 1 - całkowita ilość ścian zewnętrznych. Krzywa 2 - ilość ścian zewnętrznych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



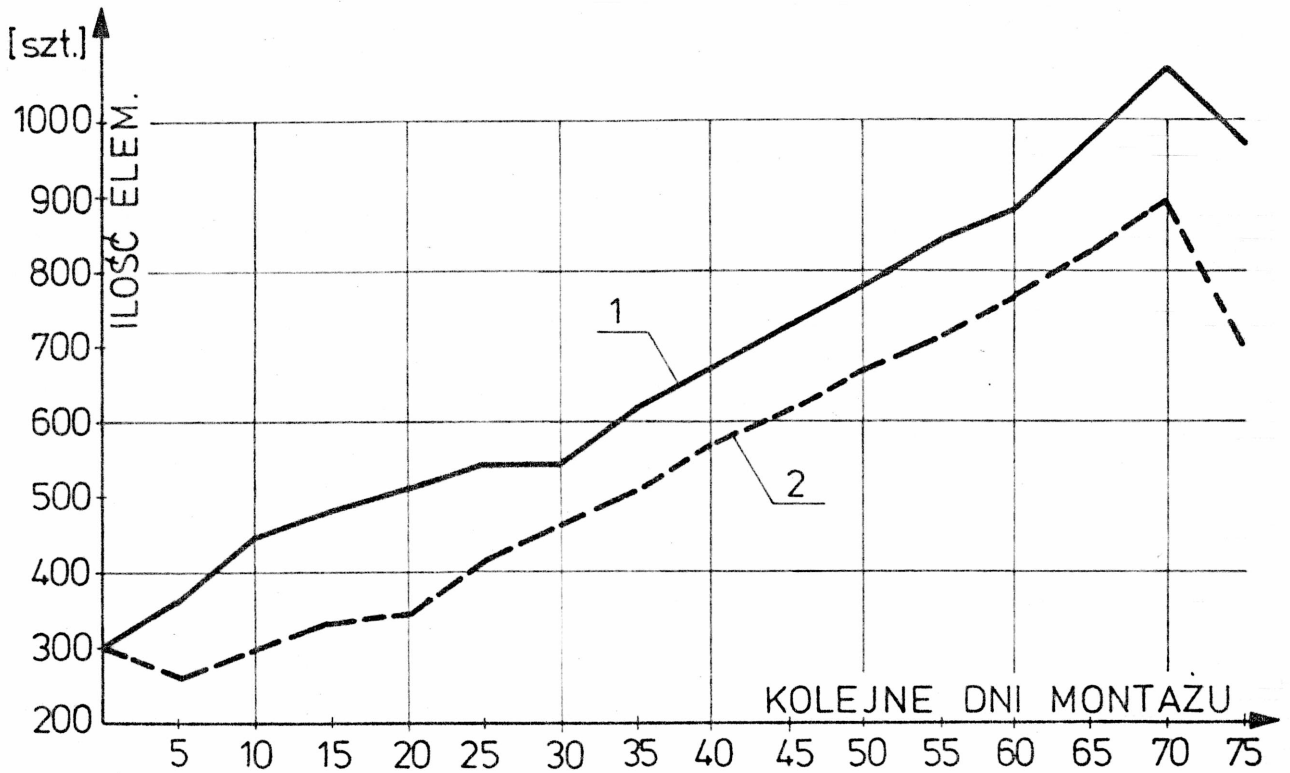
Rys. Z.18. Przebieg zmiany ilości ścian wewnętrznych nośnych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych, dwuzmianowej pracy na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.

Krzywa 1 - całkowita ilość ścian wewnętrznych nośnych.

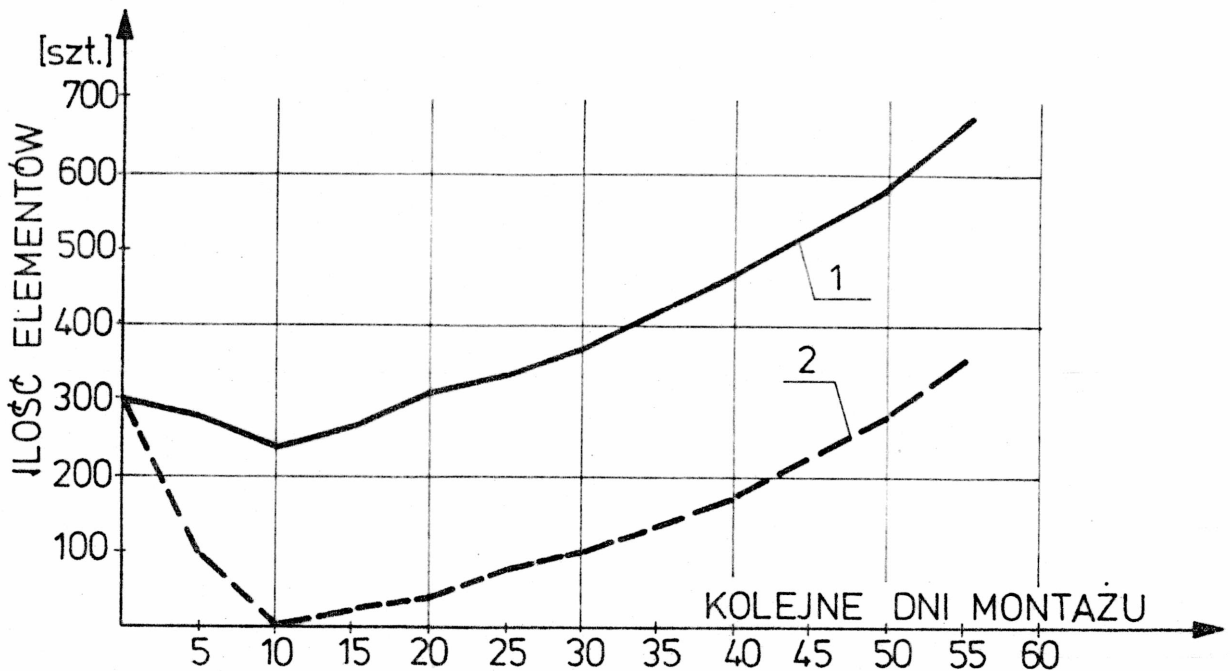
Krzywa 2 - ilość ścian wewnętrznych nośnych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



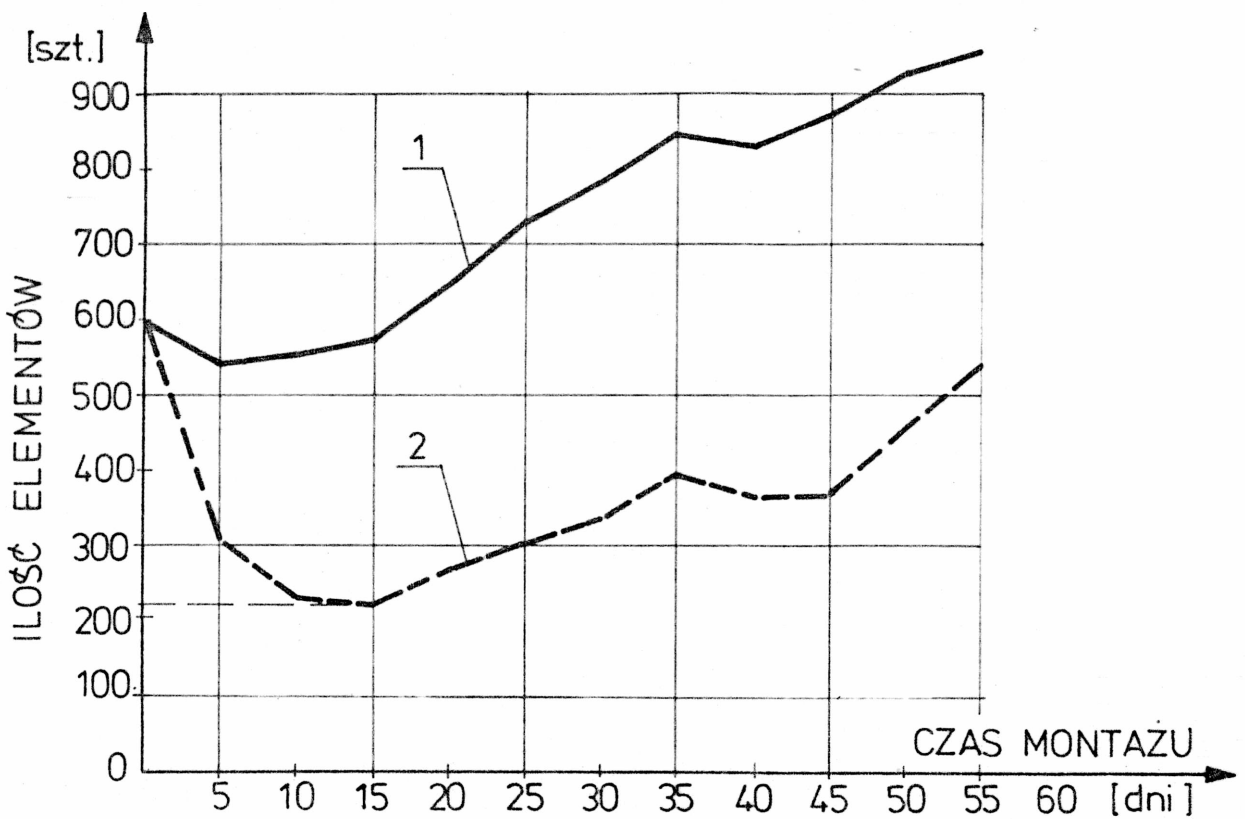
Rys. Z.19. Przebieg zmiany ilości ścianek kolankowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych, dwuzmianowej pracy na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścianek kolankowych.
Krzywa 2 - ilość ścianek kolankowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



Rys. Z.20. Przebieg zmiany ilości elementów uzupełniających w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych, dwuzmianowej pracy na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych. Krzywa 1 - całkowita ilość elementów przestrzennych. Krzywa 2 - ilość elementów przestrzennych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



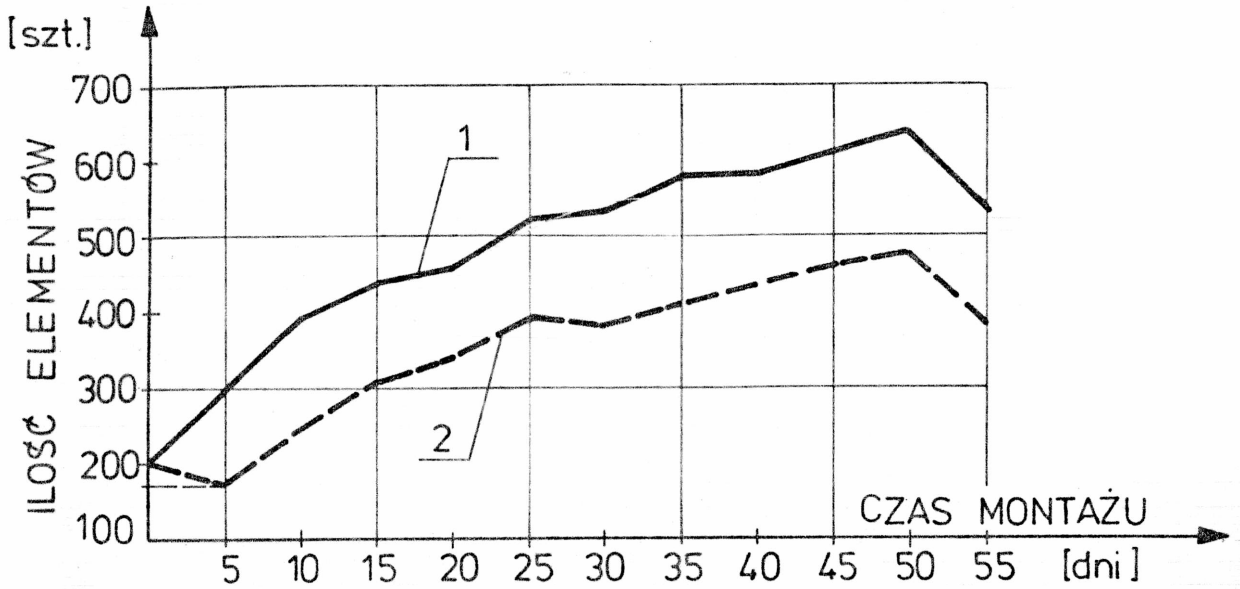
Rys. Z.21. Przebieg zmiany ilości ścian zewnętrznych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu jednozmianowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych, dwuzmianowej pracy na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów oraz zatrudnieniu czterech jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścian zewnętrznych.
Krzywa 2 - ilość ścian zewnętrznych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



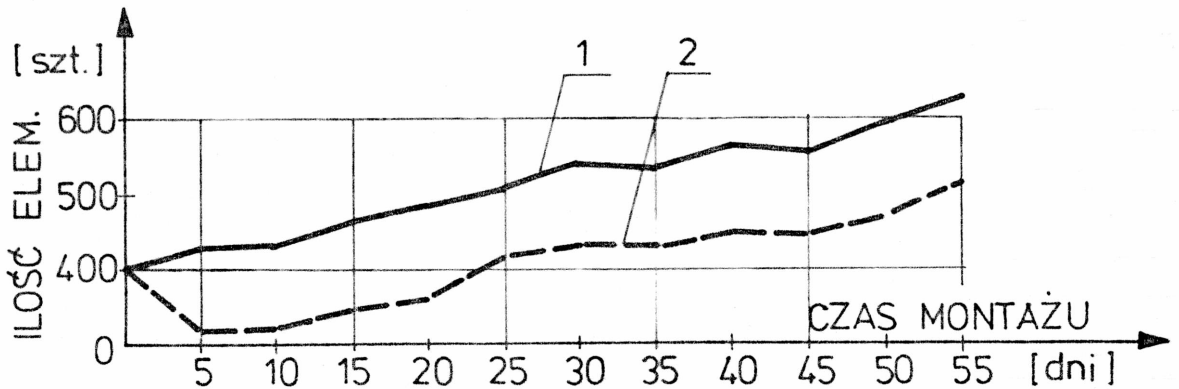
Rys. Z.22. Przebieg zmiany ilości ścian wewnętrznych nośnych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych.

Krzywa 1 - całkowita ilość ścian wewnętrznych nośnych.

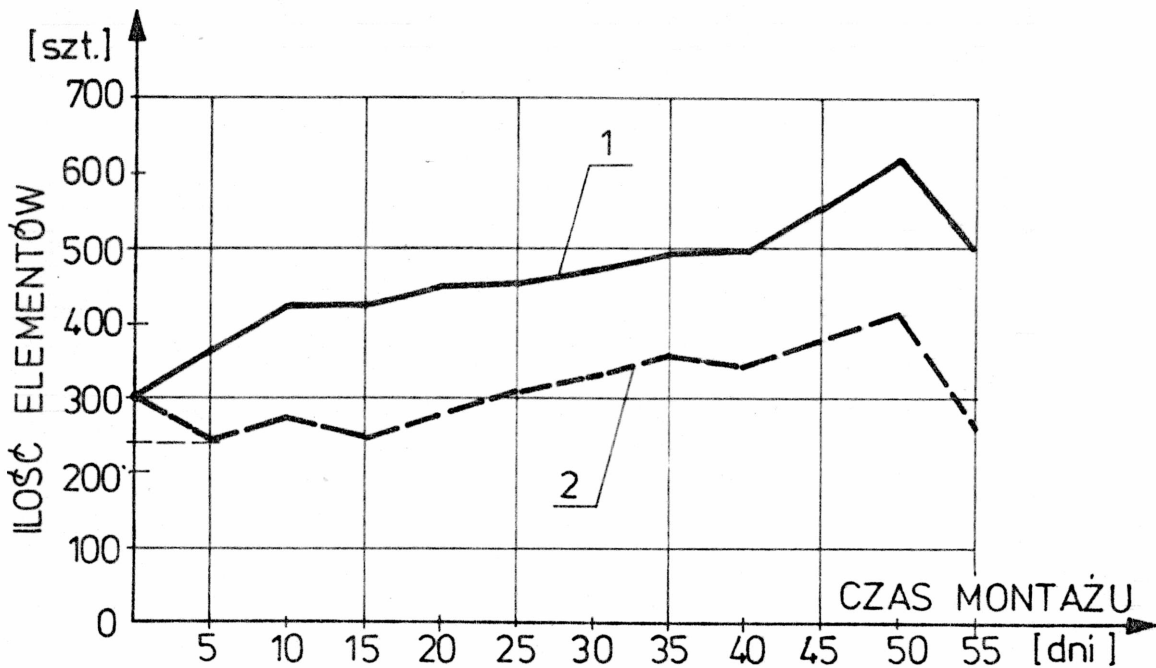
Krzywa 2 - ilość ścian wewnętrznych nośnych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



Rys. Z.23. Przebieg zmiany ilości ścianek kolankowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji płyt stropowych, jednozmicianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmicianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość ścianek kolankowych.
Krzywa 2 - ilość ścianek kolankowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



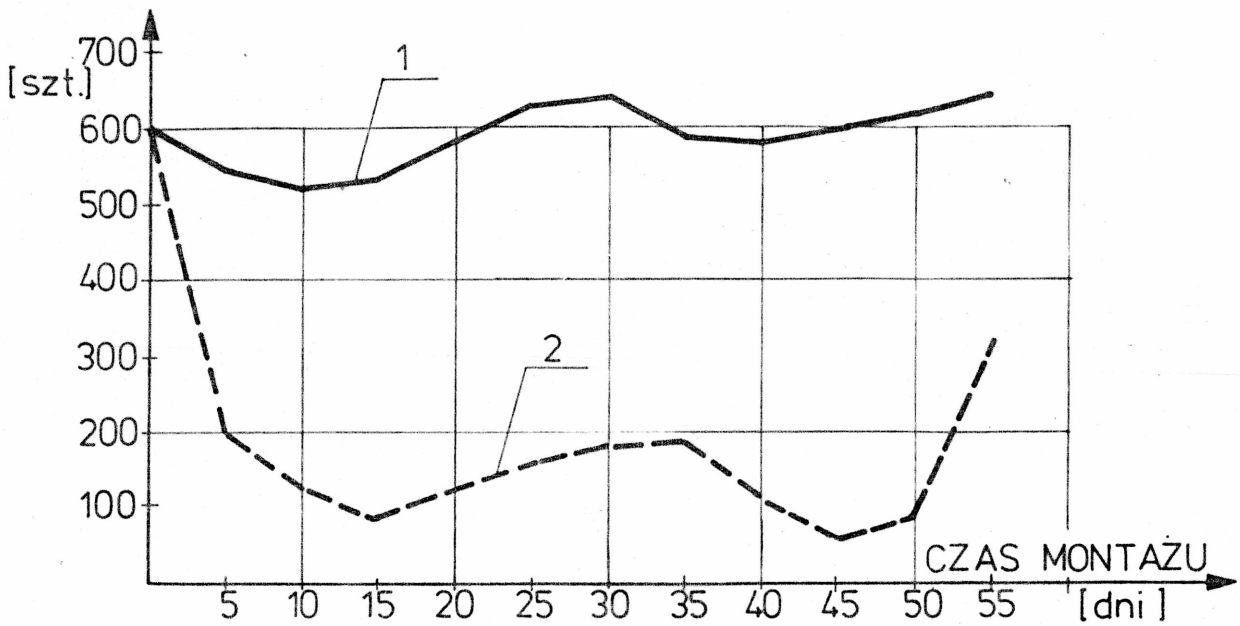
Rys. Z.24. Przebieg zmiany ilości elementów przestrzennych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmicianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych.
Krzywa 1 - całkowita ilość elementów przestrzennych.
Krzywa 2 - ilość elementów przestrzennych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



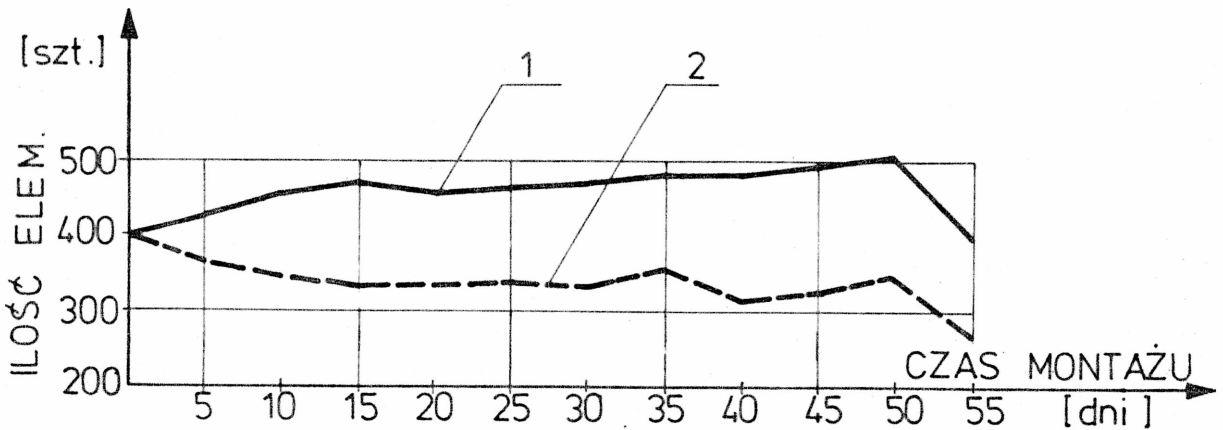
Rys. Z.25. Przebieg zmiany ilości elementów uzupełniających w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu sześciu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów przy zatrudnieniu sześciu jednostek transportowych.

Krzywa 1 - całkowita ilość elementów uzupełniających.

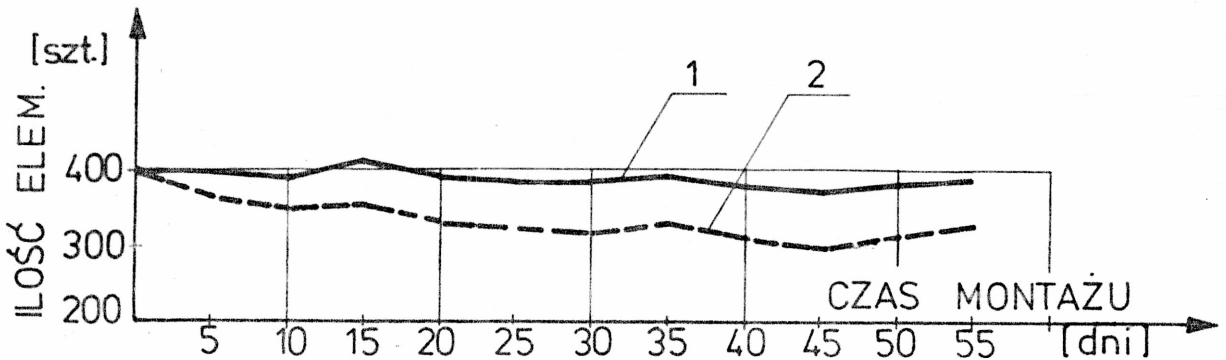
Krzywa 2 - ilość elementów uzupełniających, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



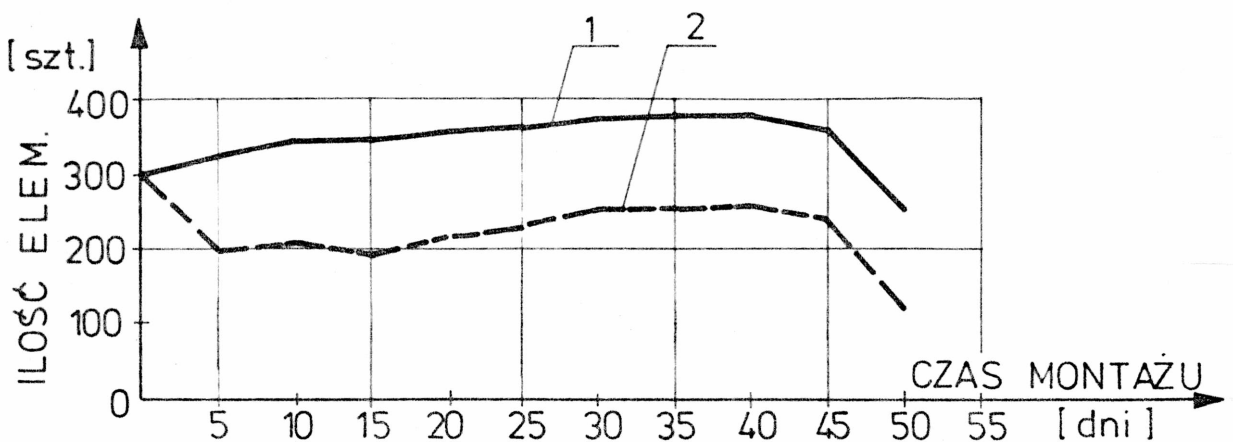
Rys. Z.26. Przebieg zmiany ilości ścian wewnętrznych nośnych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu ośmiu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji stropów, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość ścian wewnętrznych nośnych.
 Krzywa 2 - ilość ścian wewnętrznych nośnych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



Rys. Z.27. Przebieg zmiany ilości ścianek kolankowych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu ośmiu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji stropów, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość ścianek kolankowych,
 Krzywa 2 - ilość ścianek kolankowych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



Rys. Z.28. Przebieg zmiany ilości elementów przestrzennych w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu ośmiu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji stropów, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość elementów przestrzennych.
 Krzywa 2 - ilość elementów przestrzennych, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.



Rys. Z.29. Przebieg zmiany ilości elementów uzupełniających w magazynie wyrobów gotowych w trakcie trwania jednoczesnego montażu ośmiu budynków, przy założeniu trzymianowej pracy na linii produkcji stropów, jednozmianowej na linii produkcji elementów przestrzennych oraz dwuzmianowej na pozostałych liniach produkcyjnych wytwórni prefabrykatów, przy zatrudnieniu ośmiu jednostek transportowych.
 Krzywa 1 - całkowita ilość elementów uzupełniających
 Krzywa 2 - ilość elementów uzupełniających, które osiągnęły wymaganą wytrzymałość transportową.