



Prezentacja wprowadzająca do 6 części projektu



„PROJEKT SYSTEMU SSĄCEGO, PROJEKT POZIOMOWANIA PRODUKCJI”

Przedmiot: **LEAN MANUFACTURING**
Kierunek: **ZARZĄDZANIE I INŻYNIERIA PRODUKCJI**
Stopień/Rok: **DRUGI / PIERWSZY**

Opracował: dr inż. Paweł Wojakowski

Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji
Zakład Projektowania Procesów Wytwarzania

Pokój: **C207 B**
Telefon: **12 374 32 61**
e-mail: **pwojakowski@pk.edu.pl**
www: **<http://m65.pk.edu.pl>**

System ssący służy do sterowania realizacją procesu produkcyjnego z poziomu hali produkcyjnej (bez konieczności generowania harmonogramu z poziomu biura).

Narzędziem wykorzystywanym do sterowania realizacją procesu produkcyjnego są **karty kanban**:



Your Logo Here		Kanban Replenishment Card	
Part Number	Description		
Part Number	Description		
Order Qty	U/M	Card 1 of	Container
is Per	Cont of Mea	Card 1 of	Container
Pull From	Supplier		
Pull From	Supplier		
Pull To:	Consuming Operation		
Shelf Location	Consuming Operation		
Card ID	Tracking #		

Najczęściej zastosowanie mają trzy podstawowe typy systemu ssącego:

- System ssący z dwuetapowym obiegiem kart kanban (tzw. kanban dwukartowy),
- System ssący z jednoetapowym obiegiem kart kanban (tzw. kanban jednokartowy),
- System ssący sygnalizacyjny (tzw. kanban sygnalizacyjny).

WSKAZÓWKA

Dwa sąsiadujące ze sobą etapy procesu wytwórczego, które nie mogą być włączone do gniazd z przepływem ciągłym należy połączyć przepływem w systemie ssącym

W przykładzie system ssący można zastosować dla następujących par etapów procesu wytwórczego:

- 1. Montaż finalny <- Obróbka stylu łopaty** (kanban dwukartowy)
- 2. Montaż finalny <- Obróbka ostrza łopaty** (kanban dwukartowy)
- 3. Montaż finalny <- Obróbka rękojeści** (kanban dwukartowy)
- 4. Obróbka ostrza łopaty <- Wykrawanie** (kanban jednokartowy)
- 5. Obróbka rękojeści <- Wykrawanie** (kanban jednokartowy)
- 6. Wykrawanie <- Obróbka wkładki** (kanban jednokartowy)
- 7. Surowce <- Dostawcy** (kanban sygnalizacyjny)

Zastosowanie (jako założenie do projektu):

Dostawa części z etapów przetwarzania do etapów montażowych

Wzór na obliczenie liczby kart kanban/liczby pojemników:

$$LK_j = \left\lceil \frac{d_j \cdot \max\{EPE_P; C_{Pj}\} \cdot x_j}{c_j} \right\rceil$$

gdzie:

j – identyfikator produktu (z rodziny wyrobów)

d_j – zapotrzebowanie na materiał do produktu j w cyklu odnowienia zapasu

EPE_P – wskaźnik elastyczności etapu poprzedzającego

C_{Pj} – cykl odnowienia zapasu jednego pojemnika z materiałem na produkt j przez etap poprzedzający

x_j – współczynnik bezpieczeństwa (większy od 1, stosowany przy opóźnionej reakcji etapu poprzedzającego na potrzebę uzupełnienia materiału w opróżnionych pojemnikach, przyjęto wartość 2)

c_j – wielkość pojemnika z materiałem na produkt j

Wzór na obliczenie wskaźnika cyklu odnowienia zapasu:

$$C_{Pj} = C / TP_P \cdot c_j + t_{TR}$$

gdzie:

C / TP_P – cykl produktu etapu poprzedzającego

t_{TR} – czas transportu pojemnika z etapu poprzedzającego do kolejnego etapu

(ZAŁOŻENIE UPRASZCZAJĄCE: przyjmując $t_{TR} = 1$ [h])

Przykład obliczania wskaźnika cyklu odnowienia zapasu dla dostaw części do gniazda montażu finalnego:

Styl łopaty			
Cykl produktu: Obróbka stylu łopaty	C/TP	57.85	[sek/szt]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C _A	120	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C _B	120	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C _C	120	[szt/pojemnik]
Szacowany czas transportu	t _{TR}	60	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób A	C_{PA}	175.70	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób B	C_{PB}	175.70	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób C	C_{PC}	175.70	[min/pojemnik]
Ostrze łopaty			
Cykl produktu: Obróbka stylu łopaty	C/TP	62.8	[sek/szt]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C _A	100	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C _B	100	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C _C	100	[szt/pojemnik]
Szacowany czas transportu	t _{TR}	60	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób A	C_{PA}	164.67	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób B	C_{PB}	164.67	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób C	C_{PC}	164.67	[min/pojemnik]
Rękojeść			
Cykl produktu: Obróbka stylu łopaty	C/TP	40.63	[sek/szt]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C _A	150	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C _B	150	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C _C	150	[szt/pojemnik]
Szacowany czas transportu	t _{TR}	60	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób A	C_{PA}	161.58	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób B	C_{PB}	161.58	[min/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób C	C_{PC}	161.58	[min/pojemnik]

UWAGA: Wielkość pojemnika c_j jest wartością przyjętą

Obliczenie liczby pojemników w obiegu systemu ssącego dwukartowego:

Styl łopaty			
Elastyczność etapu poprzedzającego	EPE_p	0.86	[dz/partia]
Współczynnik bezpieczeństwa	x	2	
Liczba zmian	ZM	3	[zm/dz]
Czas eksploatacji etapu poprzedzającego	E/T	465	[min/zm]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób A	d_A	560	[szt/dz]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób B	d_B	395	[szt/dz]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób C	d_C	320	[szt/dz]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób A	C_{PA}	0.13	[dz/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób B	C_{PB}	0.13	[dz/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób C	C_{PC}	0.13	[dz/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C_A	120	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C_B	120	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C_C	120	[szt/pojemnik]
Liczba pojemników: Wyrób A	LK_A	9	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób B	LK_B	6	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób C	LK_C	5	[pojemników]

UWAGA: Pojemników nie powinno być więcej niż 12 (ZAŁOŻENIE)

Obliczenie liczby pojemników w obiegu systemu ssącego dwukartowego:

Ostrze łopaty			
Elastyczność etapu poprzedzającego	EPE_p	0.91	[dz/partia]
Współczynnik bezpieczeństwa	x	2	
Liczba zmian	ZM	3	[zm/dz]
Czas eksploatacji etapu poprzedzającego	E/T	465	[min/zm]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób A	d_A	560	[szt/dz]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób B	d_B	395	[szt/dz]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób C	d_C	320	[szt/dz]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób A	C_{PA}	0.12	[dz/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób B	C_{PB}	0.12	[dz/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób C	C_{PC}	0.12	[dz/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C_A	100	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C_B	100	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C_C	100	[szt/pojemnik]
Liczba pojemników: Wyrób A	LK_A	11	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób B	LK_B	8	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób C	LK_C	6	[pojemników]

UWAGA: Pojemników nie powinno być więcej niż 12 (ZAŁOŻENIE)

Obliczenie liczby pojemników w obiegu systemu ssącego dwukartowego:

Rękojeść			
Elastyczność etapu poprzedzającego	EPE_p	0.87	[dz/partia]
Współczynnik bezpieczeństwa	x	2	
Liczba zmian	ZM	2	[zm/dz]
Czas eksploatacji etapu poprzedzającego	E/T	465	[min/zm]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób A	d_A	560	[szt/dz]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób B	d_B	395	[szt/dz]
Zapotrzebowanie dzienne: Wyrób C	d_C	320	[szt/dz]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób A	C_{PA}	0.17	[dz/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób B	C_{PB}	0.17	[dz/pojemnik]
Cykl odnowienia zapasu: Wyrób C	C_{PC}	0.17	[dz/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C_A	150	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C_B	150	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C_C	150	[szt/pojemnik]
Liczba pojemników: Wyrób A	LK_A	7	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób B	LK_B	5	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób C	LK_C	4	[pojemników]

UWAGA: Pojemników nie powinno być więcej niż 12 (ZAŁOŻENIE)

Zastosowanie (jako założenie do projektu):

Dostawa części pomiędzy etapami w podprocesach wytwórczych gdy etap procesu ma ograniczony dostępny czas pracy (nie jest dedykowany do produkcji rodziny wyrobów)

Wzór na obliczenie liczby kart kanban/liczby pojemników:

$$LK_j = \left\lceil \frac{d_j}{c_j \cdot OEE_p} \right\rceil$$

gdzie:

j – identyfikator produktu (z rodziny wyrobów)

d_j – zapotrzebowanie na materiał do produktu j w cyklu odnowienia zapasu

c_j – wielkość pojemnika z materiałem na produkt j

OEE_p – wskaźnik efektywności czasu pracy etapu poprzedzającego

UWAGA 1: W przykładzie etap wykrawania ma ograniczony dostępny czas pracy wynoszący 1 dzień w tygodniu. Etapy wymieniające materiał z tym etapem będą działały w systemie ssącym jednokartowym

UWAGA 2: Warunkiem koniecznym jest aby pełna rotacja rodziny wyrobów wystąpiła w dostępnym czasie pracy etapu, dlatego w przypadku dostępnego czasu pracy wynoszącego 1 dzień w tygodniu $EPE_p \leq 1$ dzień/partia

Obliczenie liczby pojemników w obiegu systemu ssącego jednokartowego gdy etapem poprzedzającym jest wykrawanie:

Obróbka ostrza łopaty <- Wykrawanie			
Elastyczność etapu poprzedzającego	EPE _p	0.23	[dz/partia]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób A	d _A	2800	[szt/tydz]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób B	d _B	1975	[szt/tydz]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób C	d _C	1600	[szt/tydz]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C _A	200	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C _B	200	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C _C	200	[szt/pojemnik]
Efektywność etapu poprzedzającego	OEE _p	70	[%}
Liczba pojemników: Wyrób A	LK_A	20	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób B	LK_B	15	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób C	LK_C	12	[pojemników]
Obróbka rękojeści <- Wykrawanie			
Elastyczność etapu poprzedzającego	EPE _p	0.23	[dz/partia]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób A	d _A	5600	[szt/tydz]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób B	d _B	3950	[szt/tydz]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób C	d _C	3200	[szt/tydz]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C _A	300	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C _B	300	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C _C	300	[szt/pojemnik]
Efektywność etapu poprzedzającego	OEE _p	70	[%}
Liczba pojemników: Wyrób A	LK_A	27	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób B	LK_B	19	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób C	LK_C	16	[pojemników]

Warunek spełniony
bo $EPE_p < 1$

Wielkości pojemników przyjęte
(w systemie jednokartowym nie ma
ograniczenia liczby pojemników)

Obliczenie liczby pojemników w obiegu systemu ssącego jednokartowego gdy etapem następującym jest wykrawanie:

Wykrawanie <- Obróbka wkładki			
Elastyczność etapu poprzedzającego	EPE_p	2.89	[dz/partia]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób A	AWD_A	2800	[szt/tydz]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób B	AWD_B	1975	[szt/tydz]
Zapotrzebowanie tygodniowe: Wyrób C	AWD_C	1600	[szt/tydz]
Wielkość pojemnika: Wyrób A	C_A	400	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób B	C_B	400	[szt/pojemnik]
Wielkość pojemnika: Wyrób C	C_C	400	[szt/pojemnik]
Efektywność etapu poprzedzającego	OEE_p	56%	[%}
Liczba pojemników: Wyrób A	LK_A	13	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób B	LK_B	9	[pojemników]
Liczba pojemników: Wyrób C	LK_C	8	[pojemników]

Warunek spełniony
bo $EPE_p < 5$

UWAGA:

Warunkiem koniecznym jest aby pełna rotacja rodziny wyrobów wystąpiła w dostępnym czasie pracy etapu, dlatego w przypadku etapu poprzedzającego, w którym maszyny są zadedykowane do produkcji rodziny wyrobów $EPE_p \leq 5$ dni/partia

Obliczenie liczby pojemników w obiegu systemu ssącego sygnalizacyjnego pomiędzy systemem produkcyjnym a jego dostawcami:

Wzór na obliczenie liczby pojemników/rolek:

$$LK_s = \left[\frac{I^{RM}_{R-s} \cdot x_s}{c_s} \right]$$

gdzie:

s – identyfikator surowca

I^{RM}_{R-s} – zapas rotujący surowca s




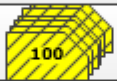





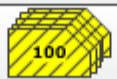

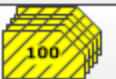
x_s – współczynnik bezpieczeństwa (przyjęto wartość 3)

c_s – wielkość pojemnika z surowcem s

Obliczenie liczby pojemników/rolek w obiegu łańcucha dostaw:

Obliczenie liczby pojemników w obiegu systemu ssącego: Dostawy części do systemu produkcyjnego			
Parametr	Symbol	Wynik	Jednostka
Belki jesionowe			
Zapasy rotujący belek jesionowych	I^{RM}_R	3187.5	[szt/0.5tyg]
Współczynnik bezpieczeństwa	x	3	
Przyjęta wielkość pojemnika	c	100	[szt/pojemnik]
Liczba pojemników	LK	96	[pojemników]
Blacha			
Zapasy rotujący blach	I^{RM}_R	19125	[szt/tydz]
Współczynnik bezpieczeństwa	x	3	
Przyjęta wielkość rolki	c	1000	[szt/rolkę]
Liczba rolek	LK_A	58	[rolek]

Dla działu zaopatrzenia należy zaprojektować system ssący, w którym wykorzystuje się karty kanban zamówieniowe. Dodatkowo należy zaprojektować tablicę dostaw surowców:

TABLICA DOSTAW											
W-5	PONIEDZIAŁEK	WTOREK	ŚRODA	CZWARTEK	PIĄTEK	W-6	PONIEDZIAŁEK	WTOREK	ŚRODA	CZWARTEK	PIĄTEK
Blacha						Blacha					
Belki						Belki					
W-7	PONIEDZIAŁEK	WTOREK	ŚRODA	CZWARTEK	PIĄTEK	W-8	PONIEDZIAŁEK	WTOREK	ŚRODA	CZWARTEK	PIĄTEK
Blacha						Blacha					
Belki						Belki					

W analizowanym przykładzie zaprojektowano tablicę dostaw w układzie dziennym. Zakładając, że dostawa trwa jeden dzień od chwili złożenia zamówienia do chwili jej przyjazdu do magazynu surowców, na dzień przed dostawą materiałów sporządza się zamówienie na ilość wskazaną przez zgromadzone karty kanban w odpowiednim polu tablicy (np. w tygodniu 5 w czwartek należy uruchomić zamówienie na blachę w ilości 4 rolek bo 4 karty kanban znajduje się w polu tablicy dostaw).

Zamówienia dostaw oznacza się żółtymi kartami kanban.

Poziomowanie produkcji polega na przekazywaniu harmonogramu zamówień w jedno miejsce systemu produkcyjnego. Miejsce takie nazywa się **stymulatorem**. Najlepiej, gdy stymulatorem staje się etap procesu wytwórczego zlokalizowany w dole strumienia wartości.

Poziomowanie produkcji w stymulatorze daje najlepsze rezultaty, gdy stymulator nie wymaga długotrwałych przezbrojeń lub gdy przezbrojeń nie ma wcale. Wówczas harmonogram zamówień dostosowuje się do czasu taktu i wielkości pojemników z wyrobami gotowymi wysyłanymi do klienta.

Harmonogram zamówień układa się według przyjętej **podziałki sterowania produkcją**, obliczanej ze wzoru:

$$p_j = n_j \cdot T_{Kj} \cdot c_j$$

gdzie:

T_{Kj} – czas taktu określony dla wyrobu gotowego j

c_j – wielkość pojemnika z wyrobem gotowym j

n_j – wielokrotność pojemnika z wyrobem gotowym j

W przykładzie przyjęto, że stymulatorem będzie gniazdo montażu finalnego. Do niego będzie kierowany harmonogram zamówień w sposób poziomowany. Narzędziem poziomowania produkcji jest tzw. **skrzynka poziomowania** (jap. **HEIJUNKA**)

Obliczenie czasu taktu dla każdego wyrobu z rodziny wyrobów:

$$T_{KA} = \frac{930 - 120}{560} \approx 1.4 \text{ min} \quad T_{KB} = \frac{930 - 120}{395} \approx 2 \text{ min} \quad T_{KC} = \frac{930 - 120}{320} \approx 2.5 \text{ min}$$

To jest czas oczekiwania zlecenia na wysyłkę $ob_{p-owy} = 2 \text{ h}$

Obliczenie czasu wytworzenia pojemnika z wyrobami gotowymi wysyłanymi do klienta (w przykładzie wielkość pojemnika wynosi $c_j = 10 \text{ sztuk}$):

$$T_{POJA} = 1.4 \cdot 10 = 14 \text{ min} \quad T_{POJB} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ min} \quad T_{POJC} = 2.5 \cdot 10 = 25 \text{ min}$$

UWAGA

Aby podziałka sterowania produkcją reprezentowała poziom zamówień każdego wyrobu w rodzinie wyrobów wymagane jest zmodyfikowanie wartości czasów wytworzenia jednego pojemnika na każdy typ wyrobu tak aby czasy te stanowiły wielokrotność (zawsze w dół, granica dolna C/TP):

- Typ A: 14 minut -> **$T_{POJA} = 10 \text{ minut}$** -> korekta taktu $T_{KA} = 1 \text{ min/szt} = 60 \text{ sek/szt}$
- Typ B: 20 minut -> pozostaje **$T_{POJB} = 20 \text{ minut}$**
- Typ C: 25 minut -> **$T_{POJC} = 20 \text{ minut}$** -> korekta taktu $T_{KC} = 2 \text{ min/szt} = 120 \text{ sek/szt}$

Najmniejsza wspólna wielokrotność dla rodziny wyrobów wynosi 20 minut co daje wartość wielokrotności na poszczególne wyroby:

- Typ A: $n_A = 2$
- Typ B: $n_A = 1$
- Typ C: $n_A = 1$

Sprawdzenie poprawności obliczeniowej podziałki w skrzynce poziomowania produkcji (dla każdego wyrobu ma wynosić tyle samo):

$$p_A = 2 \cdot 1 \cdot 10 = 20 \text{ min}$$

$$p_B = 1 \cdot 2 \cdot 10 = 20 \text{ min}$$

$$p_C = 1 \cdot 2 \cdot 10 = 20 \text{ min}$$

Obliczenie rzeczywistej liczby sztuk produkowanych w jednej podziałce:

$$N = \frac{60 \cdot p_j}{C/TP} = \frac{60 \cdot 20}{24.26} = 49.46 \text{ sztuk}$$

Przyjęto produkcję **40 sztuk/podziałkę** czyli **4 pojemniki/podziałkę**

Wygląd skrzynki poziomowania produkcji:

- Zmiana 1:

Tablica zleceń produkcyjnych rodziny wyrobów łopat

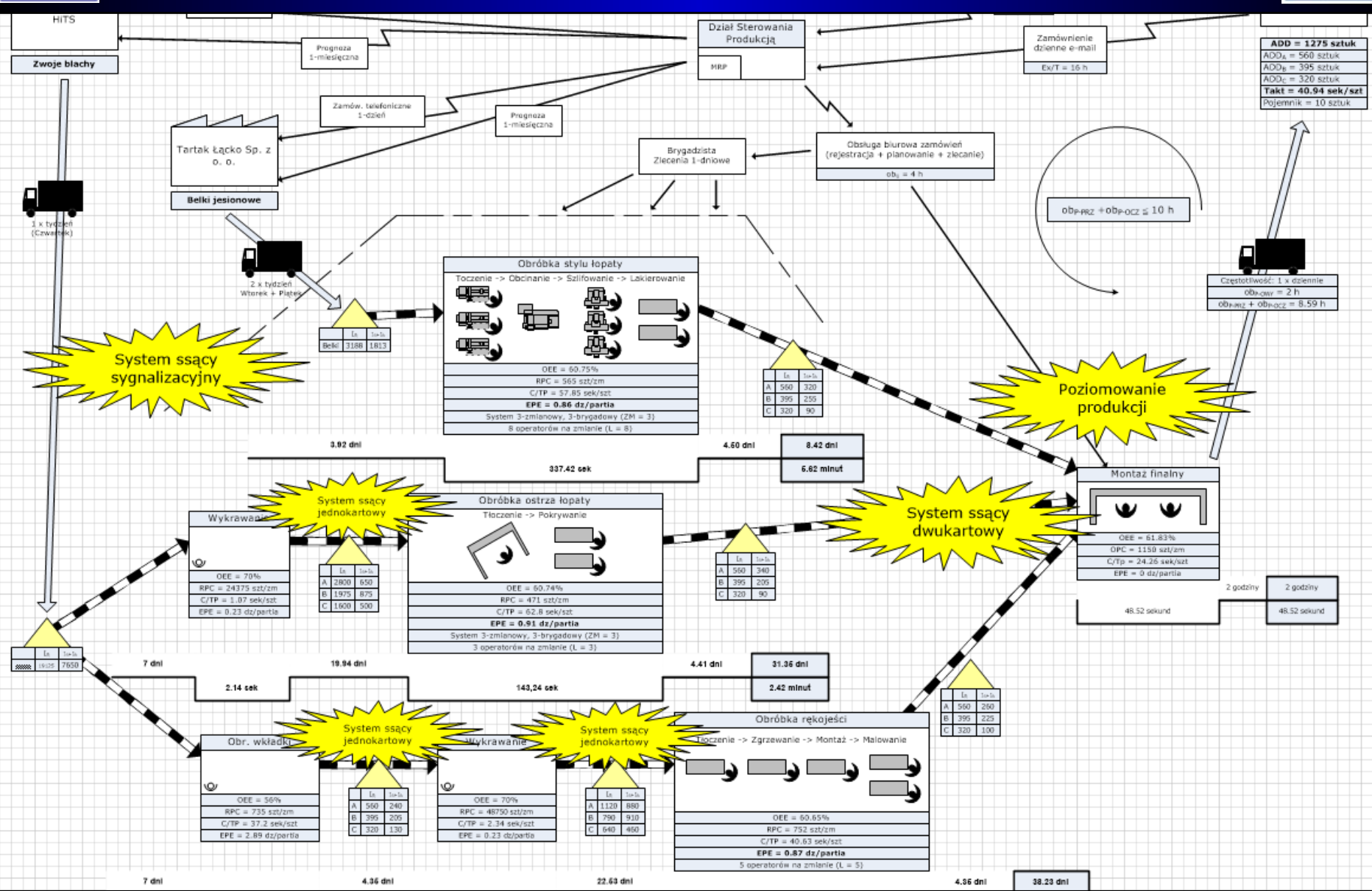
Zmiana 1	6:00	6:20	6:40	7:00	7:20	7:40	8:00	8:20	8:40	9:00	9:20	9:40	10:00	10:20	10:40	11:00	11:20	11:40	12:00	12:20	12:40	13:00	13:20	13:40
Zmiana 2	15:00	15:20	15:40	16:00	16:20	16:40	17:00	17:20	17:40	18:00	18:20	18:40	19:00	19:20	19:40	20:00	20:20	20:40	21:00	21:20	21:40	22:00	22:20	22:40
typ A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40										
typ B															40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
typ C																								

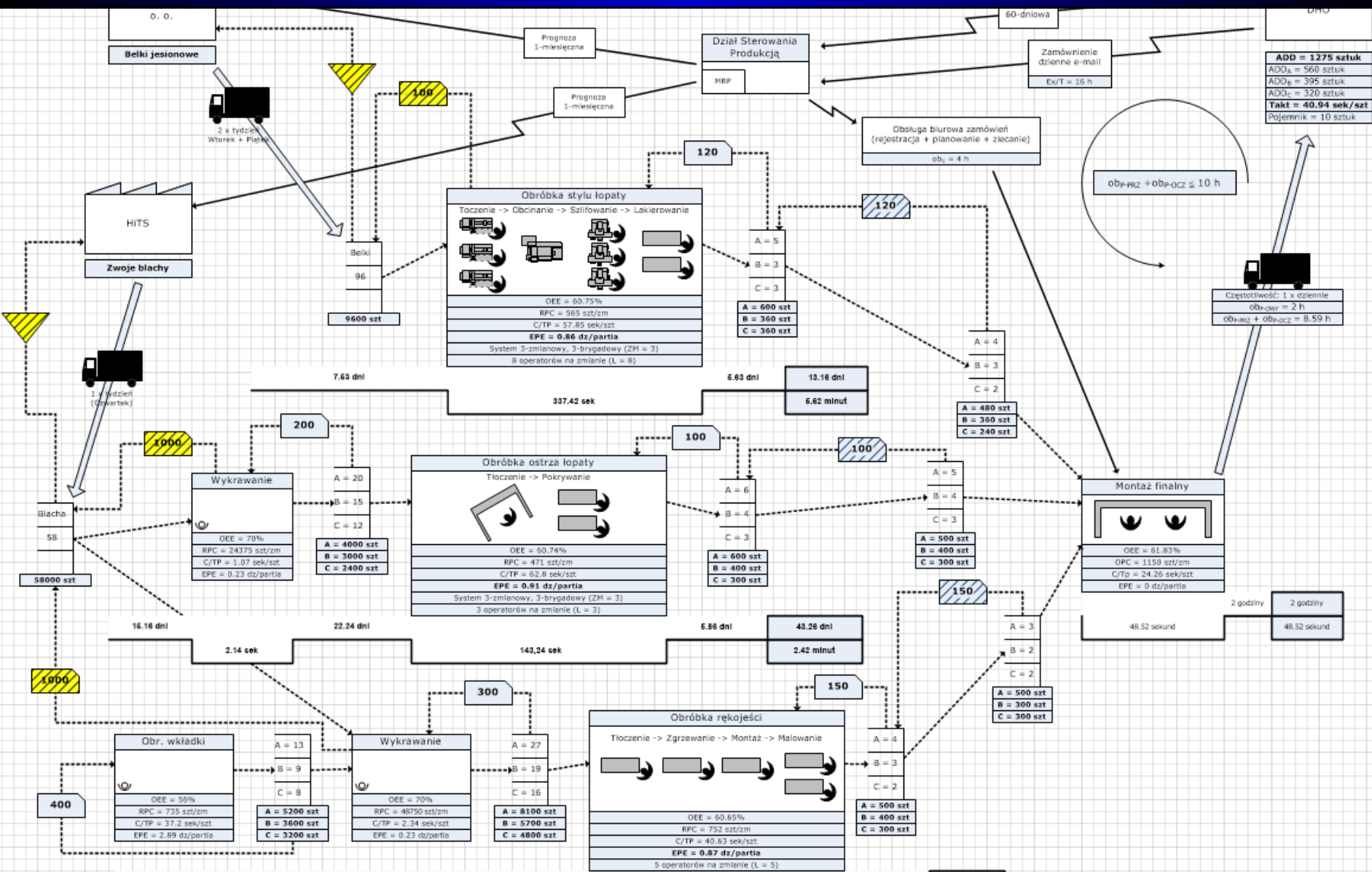
- Zmiana 2:

Tablica zleceń produkcyjnych rodziny wyrobów łopat

Zmiana 1	6:00	6:20	6:40	7:00	7:20	7:40	8:00	8:20	8:40	9:00	9:20	9:40	10:00	10:20	10:40	11:00	11:20	11:40	12:00	12:20	12:40	13:00	13:20	13:40
Zmiana 2	15:00	15:20	15:40	16:00	16:20	16:40	17:00	17:20	17:40	18:00	18:20	18:40	19:00	19:20	19:40	20:00	20:20	20:40	21:00	21:20	21:40	22:00	22:20	22:40
typ A																								
typ B																								
typ C	40	40	40	40	40	40	40	40																

Mapa stanu PRZED







Koniec wprowadzenia do części 6 projektu

