

# TEORIA OGRANICZEŃ

(*TOC - Theory of Constraints*)

**„Nawet największy głupiec jest w stanie zwiększyć wydajność pracy, jeżeli poświęci na to odpowiednią ilość środków. Prawdziwą sztuką jest zwiększanie efektywności bez dodatkowych inwestycji w nowe urządzenia i technologie”**

Massaki Imai

Imai Massami, *Gemba Kaizen*, MT Biznes, 2006

**Jest to filozofia zarządzania, która kieruje uwagę menedżerów na te obszary, których jest możliwy największy postęp, a więc na tzw. wąskie gardła.**

Autorem „Teorii Ograniczeń” opracowanej w latach 70 ub. stulecia jest izraelski fizyk dr Eli Goldratt. Aktualnie coraz częściej wykorzystuje się ją w dystrybucji, zaopatrzeniu, produkcji, jak też marketingu [1].

[1] Bartłomiej Rodawski, *Zastosowanie teorii ograniczeń w zarządzaniu łańcuchem dostaw*. *Logistyka* 5/2005, s. 19

**Według Teorii Ograniczeń, każde działanie w poszczególnych częściach organizacji musi być oceniane poprzez pryzmat jego wpływu na całość organizacji. Inaczej każde przedsiębiorstwo musi być traktowane jako system połączonych ze sobą procesów.**

Ograniczenie w TOC, to wszystko co ogranicza zdolność systemu do osiagania celu, którym jest między innymi maksymalizacja zysku.

Każde przedsiębiorstwo zawsze posiada przynajmniej jedno ograniczenie; w innym przypadku brak byłoby barier do osiągnięcia nieograniczonych wyników (*zysków*).

Teoria ograniczeń postrzegana jest najczęściej jako:

- ✓ **Filozofia zarządzania organizacją** (*sposób myślenia*), zgodnie z którą chcąc usprawnić działanie danego systemu, menedżer powinien koncentrować się tylko na wybranych obszarach – ograniczeniach. Sposób myślenia ukierunkowanego na dążenie do ciągłego zwiększania efektywności systemu.
- ✓ **Zestaw narzędzi używanych do zarządzania ograniczeniami w przedsiębiorstwie.** Najbardziej znanym narzędziem, które stanowi podwaliny teorii ograniczeń, jest koncepcja harmonogramowania produkcji (OPT – *Optimization Production Technology*), służąca usprawnianiu przepływów materiałów.

**W ramach tej techniki koncepcja bębna – bufora – liny (DBR drum – bufet – rope) sprowadza się do identyfikacji w pierwszej kolejności “wąskich gardeł”.**

Oznacza to, że przepływ jest regulowany harmonogramem wąskiego gardła.

W oparciu o ten harmonogram, pełniący rolę bębna wyznaczającego rytm systemu, tworzone są harmonogramy pracy pozostałych elementów w systemie.

Lina to inaczej system komunikacyjny, który uruchamia przepływ innych elementów, zgodnie z rytmem pracy wąskiego gardła. Podstawowym celem liny jest z jednej strony wyeliminowanie zagrożenia, że wąskie gardło zostanie “zasypane” zapasami, których nie będzie mogło w danym okresie przetworzyć, a z drugiej zapewnienie, że wejście do wąskiego gardła w sposób skoordynowany i możliwie jak najszybszy “przeptyną” z wąskiego gardła do kolejnych elementów - ogniw łańcucha procesu.

Trzecim elementem tej koncepcji jest bufor bezpieczeństwa, którego rolę pełnią zapasy.

Istnieją trzy rodzaje buforów bezpieczeństwa, choć nie każdy musi być utworzony w systemie.

1. **Bufor ograniczenia – występuje przy wąskim gardle.** Są to zapasy dostarczane do wąskiego gardła na pewien czas przed wystąpieniem potrzeby. Można go określić mianem “trochę przed czasem” (*JBT just before time*). Poziom ten ustala się w drodze doskonalenia uwzględniając zmienność procesu oraz zdolność innych elementów systemu (*im mniejsza zmienność procesu przepływu oraz większa zdolność pozostałych elementów w stosunku do wąskiego gardła, tym mniejszy zapas bezpieczeństwa*).
2. **Bufor dostaw – zapasy wyrobów gotowych,** które w każdej chwili mogą być dostarczone odbiorcy jest to odpowiedź na ograniczenia jakie występują na rynku.
3. **Bufor montażowy – występuje w sytuacji,** gdy materiały przechodzące przez wąskie gardło będą potem montowane wspólnie z materiałami nie przechodzącymi przez to ograniczenie. Te pierwsze są często dostarczane wcześniej po to, aby rozpocząć montaż natychmiast, gdy półprodukty opuszczą wąskie gardło.

Należy zwrócić uwagę, iż oprócz zapasów bezpieczeństwa ochronę przed niepewnością stanowią wolne moce produkcyjne poszczególnych ogniw nie będących wąskimi gardłami, których rytm pracy jest dostosowywany do możliwości ograniczenia.

1. **Większość menedżerów jest przyzwyczajona do myślenia w kategoriach wydajności odcinkowej, menedżerowie w przeważającej większości koncentrują się na zwiększaniu efektywności działu, który im podlega.**
2. **Programy poprawy efektywności działania przedsiębiorstwa dotyczą poszczególnych procesów produkcyjnych. Ich podstawą jest założenie, że jeśli każdy element systemu zostanie usprawniony, to zwiększy się efektywność całego przedsiębiorstwa.**

Takie założenia nie uwzględniają powiązań między poszczególnymi działami i procesami produkcyjnymi.

Często poprawa na poszczególnych odcinkach nie prowadzi do poprawy efektywności przedsiębiorstwa.

Optimum systemu nie jest sumą optimów lokalnych.

Poprawa efektywności części organizacji nie gwarantuje poprawy na szczeblu całego przedsiębiorstwa, ponieważ w ramach systemu istnieją zależności i powiązania między jego poszczególnymi częściami.

**Systemy są podobne do łańcuchów lub sieci łańcuchów a poszczególne części systemu są podobne do ogniw łańcucha.**

Powstaje pytanie:

✓ **co determinuje wydajność całego systemu?**

innymi słowy

✓ **co określa siłę łańcucha?**

**Punktem wyjścia do poprawy efektywności jest odnalezienie najsłabszego ogniwa.**

**Każdy system ma „słabe ogniwo” (ograniczenie), które ostatecznie wyznacza efektywność całej organizacji.**

**Wzmacnianie któregośkolwiek ogniwa poza tym najsłabszym nie wystarczy, by wzmocnić cały łańcuch.**

**Przykład:** Produkcja wyrobu jest realizowana w siedmiu etapach (operacjach), na siedmiu wzajemnie niezamiennych stanowiskach pracy w analizowanym przedsiębiorstwie. Popyt na ten wyrób kształtuje się na poziomie ca 30 sztuk dziennie. Możliwości wykonawcze (przerobu) każdego etapu, stanowiska pracy kształtują się następująco:

Nr etapu, operacji, stanowiska pracy	Dzienna zdolność produkcyjna etapu, stanowiska pracy (szt.)
1.	45
2.	33
3.	28
4.	38
5.	25
6.	40
7.	30

**Jaki jest maksymalny dzienny poziom produkcji ?**

Odpowiedź – tylko 25 sztuk dziennie, ponieważ maksymalna zdolność produkcyjna (moc przerobowa) 5 etapu, 5 stanowiska pracy to tylko 25 sztuk. Bez względu na to, ile będzie przerobione na pozostałych etapach, stanowiskach pracy maksymalny poziom może wynieść tylko 25 sztuk dziennie, czyli poziom określony przez „wąskie gardło”.

### Czy Dział Marketingu będzie przyjmować zamówienia na poziomie 25 sztuk dziennie ?

Jest to mało prawdopodobne z następujących powodów:

- ✓ braku wiedzy co do rozmiaru ograniczeń na poszczególnych etapach, stanowiskach pracy,
- ✓ bariery psychicznej ograniczenia przyjmowania zamówień tylko do poziomu 25 sztuk dziennie.

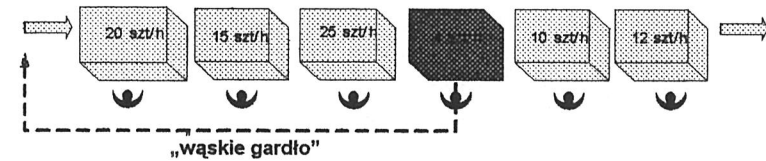
2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

13

Przykład:

### PROCES PRODUKCYJNY



Typowy problem „wąskiego gardła” w procesie produkcyjnym

- ✓ Jedno ze stanowisk, znacznie spowalnia przepływ materiałów i wydłuża przez to cykl produkcyjny.
- ✓ Proces produkcyjny jest ograniczany przez najwolniej pracujące stanowisko „wąskie gardło”.

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

14

Przykład:

- ✓ Równoważenie całego procesu produkcji to dążenie do eliminacji wszelkich zakłóceń w systemie, poprzez działania zmierzające do wyrównania czasów wykonania detali na poszczególnych stanowiskach, w wyniku połączenia niektórych maszyn, w celu wyrównania wielkości asortymentowych.
- ✓ Brak uzasadnienia wytwarzania w szybszym tempie, niż „wąskie gardło” jest w stanie je przyjąć.
- ✓ Luka w odpowiedniej synchronizacji pracy stanowisk to przyczyna nadmiernych zapasów i długiego czasu przejścia przez proces produkcji.
- ✓ „Wąskie gardła” decydują o przepływie produkcji oraz wielkości zapasów w systemie.

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

15

Przykład:

- ✓ Wielkość zapasów produkcji w toku jest funkcją ilości pracy wymaganej do pełnego, ciągłego obciążania „wąskiego gardła”.
- ✓ Należy utrzymać ciągły przepływ materiałów, części, zespołów przez „wąskie gardło”, a nie na zapewnieniu pełnego obciążenia pracą wszystkich stanowisk pracy.
- ✓ Poziom wykorzystania zasobów niekrytycznych powinien odpowiadać zapotrzebowaniu na zasoby krytyczne.
- ✓ Wielkość partii transportowej nie musi koniecznie równać się z wielkością partii produkcyjnej.
- ✓ Wykonywanie produkcji w układzie równoległym lub szeregowo – równoległym, wpływa w sposób znaczący na skrócenie cyklu produkcyjnego wykonania wyrobu,

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

16

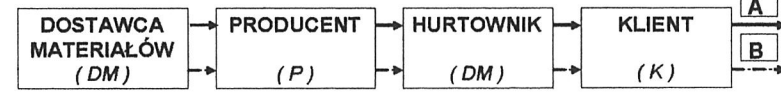
Przykład:

- ✓ Nie należy ustalać jednakowej wielkości partii produkcyjnych dla wszystkich pozostałych faz procesu produkcyjnego.

Wymienione wyżej działania umożliwiają:

- skrócenie cyklu produkcyjnego wykonania wyrobu,
- uzyskanie ciągłego przepływu produkcji przez stanowiska,
- racjonalny poziom zapasów,
- synchronizację obciążeń stanowisk pracy.

Przykład. Model łańcucha dostaw składa się z czterech ogniw (punktów konsumpcji) i dostarcza dwa produkty.



Produkt A —————>

Produkt B - - - - ->

Dzienne zdolności poszczególnych ogniw (punktów konsumpcji) i całego łańcucha dostaw

Rodzaj produktu	Dostawca	Producent	Hurtownik	Klient	Łańcuch dostaw
Produkt „A”	50	10	30	100	10
Produkt „B”	50	20	30	100	20

Wąskie gardło

**Wąskim gardłem w systemie są zdolności producenta, które determinują zatem zdolności całego**

**łańcucha dostaw do dostarczania w ciągu jednego**

**dnia**

**10 produktów „A” lub 20 produktów „B”,**

**bądź też ich następujących kombinacji.**

	Produkt „A”		Produkt „B”	
	Liczba (sztuk)	Czas wykonania (min)	Liczba (sztuk)	Czas wykonania (min)
1.	9	432	2	48
2.	8	384	4	96
3.	7	336	6	144
4.	6	288	8	192
5.	5	240	10	240
6.	4	192	12	288
7.	3	144	14	336
8.	2	96	16	384
9.	1	48	18	432

Źródło: opracowanie własne na podstawie Bartłomiej Rodawski, *Zastosowanie teorii ograniczeń w zarządzaniu łańcuchem dostaw*. Logistyka 1/2006 s.21

**Przykład:** Centrum dystrybucji obsługuje proces gromadzenia towarów od producentów, krótkoterminowego składowania, kompletacji, pakowania i wysyłki do klientów. Organizacja pracy – jedna zmiana 8 godzin. Proces pracy podzielony jest na trzy fazy.

1. Kompletacja towarów zgodnie z zamówieniem klienta (realizowana na 3 podajnikach do kompletacji),
2. Etykietowanie poszczególnych towarów i całego ładunku (realizowane za pomocą 2 urządzeń etykietujących z uwzględnieniem wydruku etykiet),
3. Pakowanie ładunków i odstawienie do strefy wydań (realizowane na 1 maszynie foliującej i taśmującej ładunek). [1]

[ 1] Bogusław Śliwczyński, *Controlling w zarządzaniu logistyką*. Wyższa Szkoła Logistyki. Poznań 2007, s. 318

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

21

Wyszczególnienie	Rodzaj działań w strefie kompletacji		
	kompletacja	etykietowanie	pakowanie
Liczba maszyn (szt.)	3	2	1
Wydajność (produkt na minutę na 1 maszynę)	2	5	8
Łączna wydajność stanowisk (produkt na minutę)	6	10	8
Zmianowa wydajność stanowisk (produkt na zmianę – 480 min)	2 880	4 800	3 840
Wydajność rzeczywista – efektywna stanowisk – przestoje, awarie, braki materiału (produkt na zmianę)	2 450	4 000	3 200

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

22

**Rzeczywista wielkość obsługi ładunku to 2 450 produktów na zmianę, co skutkuje bieżącym poziomem wykorzystania stanowisk:**

Nazwa stanowiska		Wykorzystanie %
Maszyny etykietujące	2 450 / 4 000	61,25
Maszyna pakująca	2 450 / 3 200	76,56

1. Działania ukierunkowane na pełne wykorzystanie maszyn kompletujących będą się przyczyniać do tworzenia zapasów.
2. Działania operacyjne powinny być ukierunkowane na poprawę rzeczywistej wydajności urządzeń do kompletacji.

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

23

**Przykład:** Przedsiębiorstwo wytwarza i potrafi dostarczyć wiele produktów, na które oczekują klienci. Istnieją ograniczenia w dysponowanych zdolnościach produkcyjnych. [ 2]

**Które produkty przedsiębiorstwo powinno wybrać ?**

**Jaka jest zyskowność poszczególnych produktów ?**

**Jak maksymalizować zysk przy ograniczeniach produkcyjnych ?**

[ 2] Bogusław Śliwczyński, *Controlling w zarządzaniu logistyką*. Wyższa Szkoła Logistyki. Poznań 2007, s. 320

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

24

TEORIA OGRANICZEŃ		
Wyszczególnienie	Produkt typ1.	Produkt typ 2.
Cena sprzedaży (zł)	<b>85</b>	<b>120</b>
Koszty zmienne, w tym: (zł)	<b>65</b>	<b>92</b>
- materiały	38	56
- robocizna	20	24
- koszty zmienne wydziałowe	7	12
Marża jednostkowa produktu (zł)	<b>20</b>	<b>28</b>
Jednostkowy czas produkcji (godz.)	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>
Marża na godzinę produkcji (zł)	<b>80</b>	<b>56</b>
Dostępny czas pracy w skali miesiąca (godz.)	<b>650</b>	<b>650</b>
Marża w skali miesiąca (zł)	<b>52 000</b>	<b>36 400</b>

**Rozwiązaniem jest marża pokrycia na jednostkę czasu**

2011-03-17    Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski    25

TEORIA OGRANICZEŃ			
<b>Przykład:</b> Przedsiębiorstwo produkuje trzy wyroby na dwóch równoległych liniach produkcyjnych. Dostępny czas pracy w skali miesiąca dla dwóch równoległych linii produkcyjnych, przy pracy w systemie ciągłym na trzy zmiany robocze oraz w weekendy obliczono na 1 300 godz. / miesiąc.			
Wyszczególnienie	Wyrób 1	Wyrób 2	Wyrób 3
Popyt ( <i>portfel zamówień</i> )	<b>2 000</b>	<b>1 800</b>	<b>1 200</b>
Marża jednostkowa / miejsce w rankingu	20,- / III	25,- / II	32,- / I
Czas pracy przy wykonaniu jednego wyrobu	15 min. / 0,25 h 4 wyroby na godz.	20 min. / 0,333 h 3 wyroby na godz.	30 min. / 0,5 h 2 wyroby na godz.
Marża na godz. / miejsce w rankingu	80,- / I	75,- / II	64,- / III
Wymagany czas pracy do zaspokojenia popytu rynkowego (godz.)	<b>500</b>	<b>600</b>	<b>600</b>

2011-03-17    Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski    26

TEORIA OGRANICZEŃ		
<b>Program produkcji dla pokrycia miesięcznego popytu wymaga 1 700 godz. Pracy maszyn i urządzeń dla 2 równoległych linii produkcyjnych. Przedsiębiorstwo może zadysponować tylko 1 300 godz.</b>		
Rodzaj wyrobu	Czas pracy (godz.)	Marża (zł)
Wyrób 1.	2 000 szt. x 0,25 = 500	2 000 szt. x 20,- = 40 000
Wyrób 2.	1 800 szt. x 0,333 = 600	1 800 szt. x 25,- = 45 000
Wyrób 3.	400 szt. x 0,50 = 200	400 szt. x 32,- = 12 800
<b>R a z e m</b>	<b>1 300</b>	<b>97 800</b>

**Każdy inny plan realizacji popytu, będzie mniej korzystny dla przedsiębiorstwa**

2011-03-17    Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski    27

TEORIA OGRANICZEŃ		
<b>Plan produkcji z poziomu Działu Handlowego (<i>Działu Sprzedaży</i>), kierujący się marżą jednostkową, a nie marżą na jednostkę czasu</b>		
Rodzaj wyrobu	Czas pracy (godz.)	Marża (zł)
Wyrób 3.	2 000 szt. x 0,50 = 600	1 200 szt. x 32,- = 38 400
Wyrób 2.	1 800 szt. x 0,333 = 600	1 800 szt. x 25,- = 45 000
Wyrób 1.	400 szt. x 0,25 = 100	400 szt. x 20,- = 8 000
<b>R a z e m</b>	<b>1 300</b>	<b>91 400</b>

**Maksymalizacja zysku będzie miała wpływ na system dostaw i ilości niezbędnych materiałów (*a zatem na proces zaopatrzenia*) i w konsekwencji na procesy magazynowania oraz planowanie tras i dostaw**

2011-03-17    Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski    28

Typowe konsekwencje wynikające z istnienia „wąskiego gardła”:

- ✓ ograniczenie produkcji wyrobu przez przedsiębiorstwo,
- ✓ wzrost wewnętrznych zapasów, częściowych przetworzonych wyrobów na poprzednich etapach stanowiskach pracy
- ✓ zmniejszenie płynności finansowej – im większa liczba zapasów częściowo przetworzonych różnych wyrobów tym więcej zamrożonego kapitału, tym mniejsza płynność finansowa przedsiębiorstwa,
- ✓ zmniejszenie ogólnej efektywności działania – im więcej częściowo przetworzonych różnych wyrobów czeka na swoją obróbkę przed różnymi „wąskimi gardłami”, tym większy koszt zamrożonego kapitału w procesie produkcji – toku produkcji; im większy koszt zamrożonego kapitału w częściowo przetworzone wyroby, tym mniejsza ogólna efektywność działania przedsiębiorstwa.

Typowe konsekwencje wynikające z istnienia „wąskiego gardła”: cd.

- ✓ poddawanie się kierownictwa przedsiębiorstwa presji najważniejszych klientów. Ich zamówienia nabierają priorytetu; ponieważ nie wyeliminowano „wąskiego gardła”, realizacja zamówień wymaga interwencyjnego sterowania przebiegiem procesu, zwiększonego napięcia wśród pracowników i specjalnego wysiłku,
- ✓ częstego przerywania realizacji innych zamówień,
- ✓ wymuszanie pracy w nadgodzinach i obniżenia jakości z uwagi na konieczność dotrzymania terminu,
- ✓ improwizacja i doraźne „awaryjne” sterowanie przebiegiem produkcji w miejsce zorganizowanego i uporządkowanego przebiegu produkcji,

Typowe konsekwencje wynikające z istnienia „wąskiego gardła”: cd.

- ✓ narastanie przyczyn napięć i konfliktów wśród pracowników przedsiębiorstwa oraz do napięć z klientami,
- ✓ utratę klientów, spadku sprzedaży i obniżenia budowanej marki przedsiębiorstwa,
- ✓ ograniczenia w przyjmowaniu nowych zamówień, aż do czasu kontroli na procesem produkcji.

Działania interwencyjne najczęściej przynoszą tymczasowe efekty, jednak sytuacja wymyka się spod kontroli i staje się chaotyczna, daleka od efektywnego zarządzania.

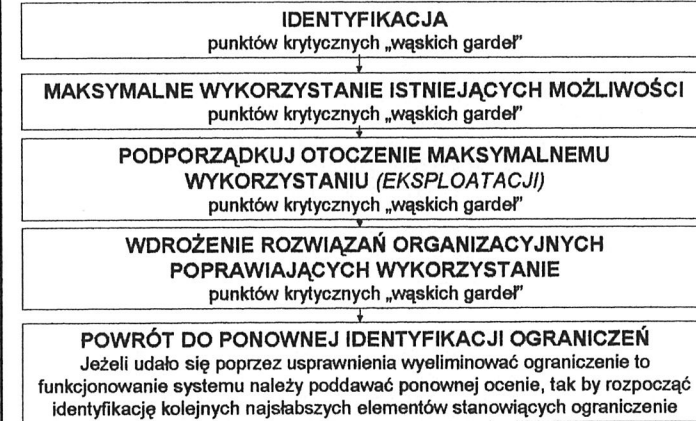
W zaistniałej sytuacji zastosowanie Teorii Ograniczeń pozwala przedsiębiorstwu osiągnięcie maksymalnej wielkości sprzedaży bez tworzenia nadmiernych wewnętrznych zapasów z częściowo przetworzonych wyrobów.

**Teoria Ograniczeń opiera się na potrzebie całościowego podejścia do problemu, sugerując, że 99% korzyści jest wynikiem 1% działań skierowanych na poprawę efektywności „wąskich gardel”.**



**Cel Teorii Ograniczeń:**

- ✓ zidentyfikowanie punktów krytycznych, „wąskich gardeł”,
- ✓ zarządzanie punktami krytycznymi, „wąskimi gardłami”, zapewnia skoncentrowanie się na maksymalizowaniu wyników systemu.

**Rys. Etapy wdrażania Teorii Ograniczeń****Zgodnie z Teorią Ograniczeń (TOC):**

- ✓ działanie całego systemu należy koordynować w oparciu o bieżące możliwości „wąskiego gardła” – i tak system nie będzie działał lepiej niż ograniczenie, a może działać gorzej w przypadku braku koordynacji,
- ✓ wskazany jest na element systemu, do którego należy dostroić pozostałe elementy systemu.

Większość menedżerów koncentruje się na skutkach, symptomach, a nie na poszukiwaniu źródeł (przyczyn) problemów, którymi najczęściej są nierozpoznane ograniczenia „wąskie gardła”.

**W praktyce można wyróżnić dwa rodzaje ograniczeń punktów krytycznych, „wąskich gardeł”. Są to:**

- ✓ ograniczenia fizyczne – dotyczą maksymalnych mocy produkcyjnych maszyn, urządzeń, wyposażenia technicznego,
- ✓ ograniczenia organizacyjne wewnętrzne – dotyczą istniejącej organizacji funkcjonowania przedsiębiorstwa (procedury, instrukcje, planowanie, sterowanie, nadzór, wykorzystanie organizacji czasu pracy pracowników, zasilenia stanowisk w robotę, itp.),
- ✓ ograniczenia zewnętrzne – dotyczące obowiązujących, przepisów, zasad, przesłanek, lub rezultat braku wyobraźni co do konsekwencji z nich wynikających.

## Uwarunkowania charakterystyczne dla Teorii Ograniczeń:

- ✓ podniesienie efektywności punktu krytycznego, „wąskiego gardła” oznacza wykorzystanie jego możliwości bez dodatkowych nakładów inwestycyjnych,
- ✓ działalność produkcyjna innych działów, stanowisk pracy i pracowników, nie objętych ograniczeniem, powinna być dostosowana do poziomu maksymalnych możliwości osiągniętych przez punkty krytyczne „wąskie gardła”; może to oznaczać zmniejszenie potencjału produkcyjnego tych działów, stanowisk pracy jest bardzo trudna do zrozumienia i zaakceptowania przez menedżerów i pracowników dotkniętych zmianą,

## Uwarunkowania charakterystyczne dla Teorii Ograniczeń: cd.

- ✓ dopóki jednak dane ograniczenie jest punktem krytycznym, „wąskim gardłem” i pracuje na maksymalnym wykorzystaniu, zwiększenie przerobu innych działów, stanowisk pracy nie przyczynia się do wzrostu produkcji lub przerobu całego przedsiębiorstwa, przyczynia się do zwiększenia wewnętrznych zapasów i wzrostu niewykorzystania potencjału przedsiębiorstwa czyli do zmniejszenia efektywności funkcjonowania i konkurencyjności na rynku.

## Uwarunkowania charakterystyczne dla Teorii Ograniczeń: cd.

- ✓ brak pozytywnych rezultatów z bezinwestycyjnego zwiększenia potencjału produkcyjnego punktów krytycznych, „wąskich gardeł”. Dalsza poprawa wymaga niezbędnych inwestycji w zwiększenie przepustowości. Możliwe inwestycje to:
  - zakup nowych maszyn, urządzeń,
  - zakup nowego oprzyrządowania, wyposażenia stanowiska pracy,
  - zwiększenie przestrzeni,
  - wydatki na szkolenia,
  - zatrudnienie nowych pracowników,

## Uwarunkowania charakterystyczne dla Teorii Ograniczeń: cd.

- ✓ proces poprawy efektywności działania nigdy się nie kończy, Teoria Ograniczeń jest filozofią ciągłej poprawy efektywności działania,
- ✓ Teoria Ograniczeń oferuje większe możliwości z uwagi na systemowe i całościowe poszukiwanie rozwiązań w porównaniu z tradycyjnym selektywnym podejściem.

Do wad wprowadzania Teorii Ograniczeń można zaliczyć wszystkie te bariery i przeszkody z którymi spotyka się każdy proces wprowadzania zmian.

Jest to:

- ✓ zarówno opór psychiczny,
- ✓ obawa przed „nowym” wśród pracowników najniższych szczebli jak również wśród kadry kierowniczej.

Przykład: Ustalić zapotrzebowanie materiałowe w zależności od przyjętej kombinacji dostaw

Struktura materiałowa wyrobów gotowych produktów „A” i „B”

	Materiał typu „x” (jedn. miary)	Materiał typu „y” (jedn. miary)
Produkt „A”	5	30
Produkt „B”	10	5

Maksymalne zużycie materiałów w danym okresie bez względu na mix produktów gotowych jest zadaniem prostym. Wybiera się produkt, do którego wyprodukowania używana jest największa ilość danego materiału, a następnie oblicza się iloczyn jego maksymalnej produkcji w danym okresie i ilości materiału wchodzącego w jednostki tego produktu.

Więcej materiału „x” zużywa się dla produktu „B”, a materiału „y” dla produktu „A”

	Maksymalna dzienna produkcja (szt.)	Zużycie materiału na jedną sztukę (jedn. miary)	Max. zapotrzebowanie materiału (jedn. miary)
Produkt „A”	10	30	300 (mat. „y”)
Produkt „B”	20	10	200 (mat. „x”)

Dzienne zapotrzebowanie materiałów w zależności od złożonego zamówienia

Nr komb.	Produkt „A”			Produkt „B”			Sum. na zamów.	
	Zamów. (szt.)	mat. „X” (jedn. m.)	mat. „Y” (jedn. m.)	Zamów. (szt.)	mat. „X” (jedn. m.)	mat. „Y” (jedn. m.)	mat. „X” (jedn. m.)	mat. „Y” (jedn. m.)
1.	9	45	270	2	20	10	65	280
2.	8	40	240	4	40	20	80	260
3.	7	35	210	6	60	30	95	240
4.	6	30	180	8	80	40	110	220
5.	5	25	150	10	100	50	125	200
6.	4	20	120	12	120	60	140	180
7.	3	15	90	14	140	70	155	160
8.	2	10	60	16	160	80	170	140
9.	1	5	30	18	180	90	185	120

Źródło: opracowanie własne na podstawie Bartłomiej Rodawski, Zastosowanie teorii ograniczeń w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Logistyka 1/2006 s.22

Przykład: Ustalić dla każdej pozycji materiałowej:

- ✓ przedziały czasu, po upływie których następuje sprawdzanie stanu zapasów materiałów, w oparciu o które podejmowana jest decyzja o wielkości zamówienia ( $T_s$ ).
- ✓ czas realizacji dostawy ( $T_d$ ).

Rodzaj materiału	Czas sprowadzenia stanu zapasu (dni)	Czas realizacji dostaw (dni)
„X”	5	2
„Y”	4	1

Ustalenie wielkości zapasu początkowego dla materiału „x” i „y”

$$Q_{\max \text{ wzp}} (\text{mat. „x”}) = 200 (\text{jedn. miary}) \times (5 + 2) = 1\,400 (\text{jedn. miary})$$

$$Q_{\max \text{ wzp}} (\text{mat. „y”}) = 300 (\text{jedn. miary}) \times (4 + 1) = 1\,500 (\text{jedn. miary})$$

Ustalenie maksymalnej wielkości zamówienia dla materiału „x” i „y”

$$Q_{\max \text{ wz}} (\text{mat. „x”}) = 200 (\text{jedn. miary}) \times (5) = 1\,000 (\text{jedn. miary})$$

$$Q_{\max \text{ wz}} (\text{mat. „y”}) = 300 (\text{jedn. miary}) \times (4) = 1\,200 (\text{jedn. miary})$$

TEORIA OGRANICZEŃ

**Przykład:** Występuje potrzeba wykonania w przedsiębiorstwie dwóch wyrobów „A” i „B” w każdym z tych wyrobów występuje operacja technologiczna, która powinna być zrealizowana w wąskim gardle w tym samym okresie – tygodniu. Określ zdolność systemu do zwiększania zysku zgodnie z Teorią Ograniczeń (TOC) poprzez wytypowanie wyrobu, który powinien być wykonany w pierwszej kolejności oraz liczbę sztuk wyrobów, do których należy podjąć stosowne decyzje.

Parametry wyrobu	Jednostka miary	„A”	„B”
Cena	zł / sztukę	80	100
Koszt materiałów	zł / sztukę	20	25
Koszt operacyjny	zł / sztukę	10	10
Tygodniowy popyt – zapotrzebowanie	sztuki	200	110
Czas zajęcia wąskiego gardła	godzin / sztukę	0,2	0,5
Zysk	zł / sztukę	50	65

Zdolność produkcyjna wąskiego gardła to = 80 godzin / tydzień (5 dni x 8 godz. x 2 zm.)

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

45

TEORIA OGRANICZEŃ

**Ustalenie najbardziej efektywnego sposobu wykorzystania wąskiego gardła** obliczając iloraz rentowności produktu i czasu zajęcia wąskiego gardła przez dany wyrób.

Dla wyrobu – „A” = 50 zł / 0,2 godziny = 250 zł/godzinę

Dla wyrobu – „B” = 65 zł / 0,5 godziny = 130 zł/godzinę

Z obliczeń wynika, że bardziej opłacalne, z punktu widzenia wykorzystania zdolności ograniczenia (wąskiego gardła) jest wytwarzanie wyrobu „A”.

W pierwszej kolejności przeznaczamy zdolność produkcyjną wąskiego gardła na zaspokojenie popytu na wyrób „A”, pozostałą część zdolności produkcyjnej do wytworzenia wyrobu „B”.

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

46

TEORIA OGRANICZEŃ

Parametry wyrobu	Jednostka miary	„A”	„B”
Wielkość produkcji	sztuki	200	80
Czas zajęcia wąskiego gardła	godziny	40	40
Zysk	zł / tydzień	10 000	5 200
<b>Zysk całkowity</b>	zł / tydzień	<b>15 200</b>	

Żeby wykonać pozostałe 30 sztuk (110 sztuk – 80 sztuk) wyrobu „B” operację wykonywaną w wąskim gardle, zajmującą 15 godzin, powinno się w danym tygodniu:

- ✓ uruchomić godziny nadliczbowe na trzeciej zmianie 1 raz x 8 godzin (wtorek wyrób „A”) plus 1 raz x 7 godzin (czwartek wyrób „B”),
- ✓ wykonać brakującą operację dla 30 sztuk poza systemem np. w kooperacji.

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

47

TEORIA OGRANICZEŃ

**Przykład:** Przedsiębiorstwo w ramach łańcucha dostaw ma dostarczyć na określony termin dwa wyroby „A” i „B”. Ustal termin rozpoczęcia produkcji tych wyrobów na stanowiskach poprzedzających wąskie gardło czyli nr 1 i 2.

**Założenia**

Wyrób „A” jest realizowany przez stanowisko nr 1, a później stanowisko nr 3. Wyrób „B” jest realizowany przez stanowisko nr 2, a później stanowisko nr 3.

Parametry	Jednostka miary	„A”	„B”
Tygodniowy popyt - zapotrzebowanie	sztuk / tydz.	200	110
Wydajność stanowiska nr 1	sztuk / godz.	2	
Wydajność stanowiska nr 2	sztuk / godz.		4
Wydajność stanowiska nr 3	sztuk / godz.	5	2
Tydzień pracy (2 zm. x 40 godzin)	godz.	80	
Czas przebrojenia stanowiska nr 3	godz.	1	
Czas dostaw między stanowiskami	godz.	0	
Bufor bezpieczeństwa przed stanowiskiem nr 3	godz.	4	8

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

48

TEORIA OGRANICZEŃ

Opracowanie harmonogramu pracy wąskiego gardła (pełniącego funkcję bębna wg koncepcji DBR) dla przypadku uruchomienia godzin nadliczbowych na trzeciej zmianie.

1 dzień		2 dzień		3 dzień		4 dzień		5 dzień		6 dzień		7 dzień	
1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.
40	40	40	40	40									
40	80	120	160	200									
					16	16	16	16	16	16	16		
					16	32	48	64	80	96	110		

Wyrób „A” – liczba sztuk 200

Wyrób „B” – liczba sztuk 110

Liczba godzin pracy na 1 zmianie – 8 godzin

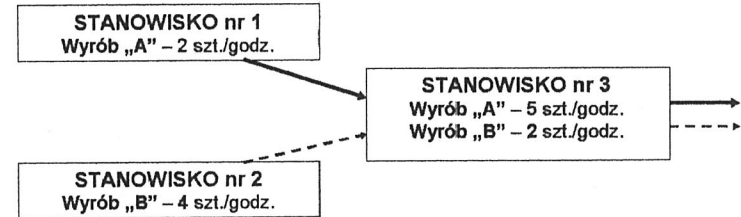
2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

49

TEORIA OGRANICZEŃ

W oparciu o „rytm bębna” stanowiska nr 3 stanowiącego wąskie gardło ustala się harmonogram pracy dla stanowisk nr 1 i 2 poprzedzających „lina”.



Dla wyrobu „A” wąskim gardłem jest stanowisko nr 1.  
Dla wyrobu „B” wąskim gardłem jest stanowisko nr 3.

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

50

TEORIA OGRANICZEŃ

Harmonogram dla stanowiska nr 3.

7 dzień		6 dzień		5 dzień		4 dzień		3 dzień		2 dzień		1 dzień	
1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.
								40	40	40	40	40	
								200	160	120	80	40	
		16	16	16	16	16	16	16					
		110	96	80	64	48	32	16					

Wyrób „B” – liczba sztuk 110

Wyrób „A” – liczba sztuk 200

Liczba godzin pracy na 1 zmianie – 8 godzin

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

51

TEORIA OGRANICZEŃ

Harmonogram dla stanowiska nr 1.

9 dzień		8 dzień		7 dzień		6 dzień		5 dzień		4 dzień		3 dzień	
1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.
8*	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
200	192	176	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	

Najpóźniejszy termin rozpoczęcia produkcji wyrobu „A” na stanowisku nr 1 przed przekazaniem na stanowisko nr 3

Wyrób „A” – liczba sztuk 200

Liczba godzin pracy na 1 zmianie – 8 godzin

2011-03-17

Opracował dr inż. Henryk Ziółkowski

52

**Harmonogram dla stanowiska nr 2 .**

9 dzień		8 dzień		7 dzień		6 dzień		5 dzień		4 dzień		3 dzień	
1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.	1 zm.	2 zm.
		14*	32	32	32								
		110	96	64	32								

Najpóźniejszy termin rozpoczęcia produkcji wyrobu „B” na stanowisku nr 1 przed przekazaniem na stanowisko nr 3

W y r ó b „ B ” – liczba sztuk 110

Liczba godzin pracy na 1 zmianie – 8 godzin