

Parametryczny model estymacji kosztów produkcji

Zbigniew Leszczyński*

Streszczenie: Celem artykułu jest zaprezentowanie w aspekcie teoretyczno-empirycznym metodyki budowy parametrycznego modelu estymacji kosztów produkcji. Metodologia badawcza przyjęta w niniejszej pracy to analiza literatury w zakresie rachunkowości zarządczej, zarządzania, inżynierii kosztów, statystyki oraz analiza danych empirycznych pozyskanych z projektów prowadzonych przez autora. Wynikiem przeprowadzonych analiz jest model funkcji kosztów wykorzystywany do parametrycznej estymacji kosztów produkcji. Innowacyjnością artykułu jest próba wypracowania własnej metodyki modelowania funkcji kosztów produkcji oraz doboru narzędzi statystycznych do osiągnięcia tego celu.

Słowa kluczowe: estymacja kosztów produkcji, funkcje kosztów produkcji, model parametryczny estymacji

Wprowadzenie

Prognozowanie kosztów produkcji ma kluczowe znaczenie we wczesnych etapach rozwoju produktu (Stewart, Wyskida, Johannes 1995). Prognozy kosztów wpływają na decyzje dotyczące nie tylko projektowania produktu, ale również na decyzję o jego wprowadzeniu bądź wycofaniu z programu produkcji. Wiarygodność prognoz ma strategiczne znaczenie dla jakości procesu decyzyjnego związanego z programem produkcji. Jeśli wartość prognozy jest zbyt wysoka, może to oznaczać wycofanie grup produktów z programu produkcji i utratę części rynku na rzecz konkurenta. Jeśli prognoza jest zbyt niska, to może to oznaczać, że produkt będzie wytwarzany po kosztach znacznie wyższych niż zakładano, a więc niezrealizowanie postulowanego zysku (Rush, Roy 2000: 58–67). Parametryczne modele estymacji kosztów produkcji stanowią użyteczne narzędzie wsparcia procesu zarządzania kosztami produkcji.

Celem artykułu jest zaprezentowanie, w aspekcie teoretyczno-empirycznym, metodyki projektowania parametrycznego modelu estymacji kosztów produkcji. Osiągnięcie tak postawionego celu wymaga potwierdzenia tezy, że wiarygodne prognozy kosztów produkcji wymagają zastosowania parametrycznych modeli estymacji kosztów. Metodologia badawcza, przyjęta w niniejszej pracy, to analiza literatury w zakresie rachunkowości zarządczej,

* dr hab. Zbigniew Leszczyński prof. PŁ, Politechnika Łódzka, Wydział Organizacji i Zarządzania, e-mail: leszczyński@p.lodz.pl.

zarządzania, inżynierii kosztów, controllingu oraz analiza danych empirycznych koniecznych do budowy funkcji kosztów.

Innowacyjnością tego artykułu jest próba wypracowania metodyki projektowania funkcji kosztów produkcji jako składowych parametrycznego modelu estymacji kosztów. Przedstawiona analiza teoretyczna i aplikacyjna jest wstępem do implementacji tego podejścia w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Z powyższego wynika, że problemy badawcze, które zostaną podjęte w artykule, to: fazy budowy modelu parametrycznego, kryteria wyboru narzędzi statystycznych i modeli benchmarków wykorzystywanych dla budowy funkcji kosztów, integracji funkcji kosztów w model parametryczny estymacji.

1. Konceptualne ramy parametrycznego modelu estymacji kosztów produkcji

Modele parametrycznej estymacji kosztów produkcji opisują przewidywalne korelacje pomiędzy fizycznymi lub funkcjonalnymi cechami obiektu estymacji (projektu, produktu, podmiotu) i ich kosztami. Estymacja parametryczna kosztów produkcji uwzględnia powtarzalne relacje logiczne pomiędzy zmiennymi niezależnymi (parametry procesu produkcji) oraz zamienną zależną – kosztami. Zmienne niezależne – parametry to nośniki kosztów lub inne wielkości fizyczne charakterystyczne dla estymowanego projektu lub produktu.

W prostych estymacjach kosztów modele parametryczne to zazwyczaj zależności liniowe jednej lub dwóch zmiennych (jednego lub dwóch nośników kosztów). Złożone modele parametryczne wymagają stosowania wielu zmiennych (wielu nośników kosztów). Są to zazwyczaj zależności nieliniowe.

Podstawowe założenia estymacji parametrycznej kosztów produkcji to jej historyczne ramy. Parametryczny model estymacji kosztów produkcji bazuje na danych historycznych odnoszonych do nowych projektów. Dane historyczne lub benchmarki stanowią podstawowy „budulec” parametrycznych modeli estymacji kosztów. W procesie budowy modeli można opierać się na metodach statystycznych (analiza regresji), jak również na benchmarkach tworzonych w przedsiębiorstwie¹. Jeżeli technologia powstania nowego projektu, produktu nie zmienia się, wykorzystujemy w modelu znane zależności technologiczno-produkcyjne. Ulegają korekcie zmienne charakteryzujące wielkość produktu, pojemności, objętość i wartość parametrów technologicznych.

Zalety parametrycznej estymacji kosztów produkcji to (Dysert 2008):

1. Prognozy kosztów produkcji są przygotowane w znacznie krótszym czasie, niż wymagają tego inne techniki estymacji. Jednakże parametryczna estymacja kosztów produkcji wymaga głębszej znajomości inżynierii analizowanego projektu, czego nie wymagają inne techniki estymacji (np. analogiczne).

¹ W analizach empirycznych prezentowanych w artykule wykorzystywane są benchmarki. Wyjątek stanowi analiza kosztów pośrednich produkcyjnych.

2. Ilościowe zasilanie modeli parametrycznych jest powiązane z algorytmami modelu, generującymi ilościowe wyniki estymacji. Wszystkie elementy kosztów są identyfikowalne.
3. Model parametryczny generuje ten sam format estymacji i dokumentacji dla różnych parametrów. Jeżeli dwa estymatory są zasilane taką samą wartością parametrów, to wynik estymacji jest ten sam.
4. Modele parametryczne realizują estymację scenariuszową kosztów, zgodną z analizą wrażliwości projektu.

Opracowanie modelu parametrycznego estymacji kosztów produkcji przebiega w kilku etapach:

1. **Ustalenie zakresu opracowania parametrycznego modelu estymacji kosztów produkcji.** Zakres modelu obejmuje: wielkości fizyczne modelu – parametry, podstawowe rodzaje kosztów będące przedmiotem estymacji oraz definicję jego przeznaczenia końcowego. Końcowe przeznaczenie modelu to przygotowanie estymacji kosztu projektu lub produktu. Typ projektu lub produktu determinuje fizyczne wielkości modelu (parametry) oraz rodzaje kosztów, które będą szacowane. Stopień dokładności modelu stanowi integralną część definicji przeznaczenia końcowego. Parametryczny model estymacji kosztów produkcji bazuje na danych rzeczywistych lub benchmarkach pochodzących z istniejących już w przedsiębiorstwie projektach i produktach. Odzwierciedla inżynierię, organizację i technologię powstania projektu lub produktu. W celu zagwarantowania wysokiej wiarygodności estymacji kosztów produkcji, zmienne niezależne modelu parametrycznego winny być określone z dokładnością porównywalną do ich odpowiedników we wcześniejszych projektach lub produktach.
2. **Zbieranie danych w celu wspierania rozwoju parametrycznego modelu szacowania kosztów produkcji.** Jakość modelu jest zdeterminowana jakością danych wykorzystanych do jego budowy. Zakres informacji winien obejmować wszystkie proponowane parametry projektu lub produktu, kluczowe nośniki kosztów, a także wszelkie inne informacje, które mogą mieć wpływ na koszty (poziom złożoności technologicznej). Rodzaj gromadzonych danych jest zazwyczaj ustalany we współpracy z działem inżynierii i kontroli projektu lub produktu. Poziom szczegółowości zbierania danych determinuje szczegółowość estymowanych prognoz kosztów produkcji (Rose 1982).
3. **Normalizacja danych zebranych w celu wspierania rozwoju parametrycznego modelu szacowania kosztów produkcji.** Po zebraniu danych, następnym krokiem w procesie tworzenia modelu parametrycznego estymacji kosztów produkcji jest normalizacja danych. Zakłada ona korektę historycznych danych kosztowych. Celem korekty jest niwelowanie różnic pomiędzy danymi historycznymi wykorzystywanymi do budowy modelu parametrycznego a adekwatnymi, standardowymi danymi wykorzystywanymi w modelu parametrycznym. Dane kosztowe pochodzące z projektów

historycznych winny być dostosowane do wspólnej ramy czasowej oraz wspólnej lokalizacji i służyć jako podstawa do standardowego modelu parametrycznego.

4. **Analizowanie znormalizowanych danych i budowa algorytmów matematycznych.** Istnieje wiele różnych metod i technik, które mogą być zastosowane w analizie danych. Zasadniczą metodą analizy danych jest analiza regresji kosztów w stosunku do parametrów konstrukcyjnych projektu lub produktu. Wymienione parametry determinują kluczowe nośniki kosztów dla budowanego modelu. Analiza regresji prowadzona na bazie zebranych danych ma na celu zbudowanie najlepszych algorytmów matematycznych, które ostatecznie składają się na model parametryczny. Algorytmy matematyczne zwykle przybierają formę zależności liniowych lub nieliniowych z jedną lub wieloma zmiennymi. Algorytmy zasilone odpowiednimi danymi (parametry – czynniki kosztotwórcze) estymują koszty nowego projektu lub produktu. W celu sprawdzenia wiarygodności modelu parametrycznego należy wyliczyć współczynnik korelacji lub determinacji. Analiza regresji może być procesem czasochłonnym i pracochłonnym ze względu na konieczność przygotowania odpowiedniej ilości danych historycznych potrzebnych do jej przeprowadzenia. Dlatego też przy budowie prostych modeli parametrycznych (algorytmy liniowe z jedną lub dwiema zmiennymi) wykorzystuje się istniejące w przedsiębiorstwie benchmarki (w prezentowanym artykule takie właśnie podejście zastosowano w konstruowaniu większości funkcji kosztów produkcyjnych).
5. **Tworzenie aplikacji parametrycznego modelu estymacji kosztów (interfejsu).** Aplikacja danych wejściowych w modelu parametrycznej estymacji kosztów wymaga utworzenia interfejsu użytkownika. Zadaniem interfejsu jest w łatwy i prosty sposób dostarczanie danych estymatorowi kosztów. Arkusze kalkulacyjne Excel stanowią doskonały mechanizm zapewniający efektywne zasilanie estymatora, estymację kosztów na bazie zbudowanych algorytmów matematycznych oraz prezentację wyników estymacji.
6. **Testowanie modelu parametrycznego estymacji kosztów.** Jednym z najważniejszych kroków w opracowaniu modelu parametrycznego jest sprawdzenie jego dokładności i wiarygodności. Kluczowym wskaźnikiem w procesie sprawdzania dokładności i wiarygodności modelu jest wskaźnik korelacji (R) i determinacji (R^2). Jego wartość określa jak dokładnie algorytmy matematyczne prognozują koszty. Wysoka wartość R , R^2 sama w sobie nie oznacza, że relacje między parametrami wejściowymi oraz wynikami estymacji są istotne statystycznie. Wskazane jest wykonanie analizy logicznej modelu w celu sprawdzenia, czy gwarantuje on istnienie oczywistych i oczekiwanych relacji między zmiennymi (szczególnie przydatne w przypadku stosowania modeli benchmarków).
7. **Dokumentowanie parametrycznego modelu estymacji kosztów.** Parametryczny model estymacji kosztów oraz adekwatne aplikacje muszą być dokładnie udokumentowane w formie instrukcji. Instrukcja powinna jasno opisywać wymagania

dotyczące danych wejściowych modelu. Rzeczywiste dane wykorzystane do stworzenia modelu powinny być udokumentowane. Zakresy obowiązujących wartości wejściowych modelu i ograniczenia algorytmów modelu powinny być opisane i wyjaśnione.

2. Modelownie funkcji kosztów produkcji

2.1. Funkcje kosztów materiałów bezpośrednich

Przez koszty materiałów bezpośrednich rozumie się wartość zużycia zasobów surowcowych stanowiących część substancji produktu gotowego lub półfabrykatu, zgodnie z opracowaną dla nich konstrukcją oraz technologią wytwarzania. Zasoby surowcowe są zaliczane do zasobów elastycznych produkcji, a więc ich wartość zużycia stanowi koszt zmienny produkcji.

Materiały bezpośrednie można podzielić na cztery podstawowe grupy:

- surowce ulegające w procesie produkcyjnym przekształceniu i stanowiące podstawową substancję wytworzonego produktu,
- kupowane komponenty, stanowiące gotową część produktu,
- materiały pomocnicze, które ułatwiają i wspierają proces produkcyjny, chociaż same nie stanowią części wyrobu gotowego lub półfabrykatu,
- opakowania podstawowe produktu gotowego.

Pozostałe materiały, których zużycie nie ma bezpośredniego związku z wytwarzanymi produktami, lecz ma jedynie na celu zapewnienie całości procesu produkcyjnego, są zaliczane do materiałów pośrednich.

Przez normy zużycia materiałów bezpośrednich (tab. 1) rozumie się racjonalną pod względem technicznym, ekonomicznym i jakościowym (rodzaj, gatunek, wymiar) ilość (sztuka, kg, m, m³) zasobów surowcowych, którego zużycie jest niezbędne do wytworzenia jednostki produktu o ustalonych walorach użytkowych, konstrukcji, wadze itp. Jakościowe cechy norm zużycia materiałów bezpośrednich najlepiej określa cena jednostki danego typu surowca. Cena ta w procesie estymacji kosztów materiałów bezpośrednich powinna być wielkością stałą tak długo, dopóki nie ulegnie istotniejszej zmianie jego rzeczywista cena zakupu (Horngren, Datar, Rajan 2012: 204–227).

Tabela 1

Normy zużycia materiałów bezpośrednich dla produktu gotowego

Produkt gotowy	P1
Surowiec (kg/szt.)	0,2

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2

Planowane ceny nabycia surowców

Rodzaj surowca	Planowana cena za 1 kg (zł/kg)
Surowiec	12

Źródło: opracowanie własne.

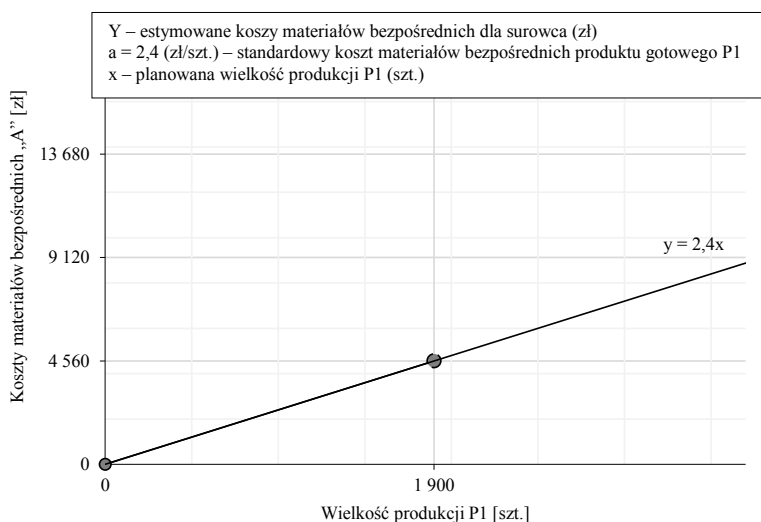
Standardowy koszt materiałów bezpośrednich dla produktu gotowego jest iloczynem zużycia ilości materiałów na produkt według normy brutto oraz ceny planowanej materiału, pomniejszony o iloczyn ilości odpadów użytkowych oraz ich ceny planowanej (tab. 3).

Tabela 3

Standardowy koszt materiałów bezpośrednich produktu gotowego

	Norma zużycia (kg/szt.)	Planowana cena zakupu surowca (zł/kg)	Standardowy koszt materiałów bezpośrednich/szt. (zł/szt.)
		Produkt P1	
Surowiec	0,2	12	2,4
Produkt gotowy – P1			2,4

Źródło: opracowanie własne.



$$y = 2,4x$$

$$y = 2,4 \text{ zł/szt.} \times 1900 \text{ szt.} = 4560 \text{ zł}$$

Rysunek 1. Krzywa kosztów materiałów bezpośrednich „A”

Źródło: opracowanie własne.

Przyjmując wszystkie powyższe założenia techniczno-technologiczne, można stwierdzić, że koszty materiałów bezpośrednich są wprost proporcjonalne do planowanej wielkości produkcji (tzw. koszty proporcjonalnie zmienne), co oznacza, że są opisywane funkcją liniową wielkości produkcji $y = ax$ (rys. 1).

2.2. Funkcje kosztów płac bezpośrednich

Koszt płacy bezpośredniej to wartość zużycia roboczogodzin bezpośrednich poświęconych na wykonanie czynności bezpośrednio produkcyjnych. Do czynności bezpośrednio produkcyjnych zalicza się czas trwania operacji technologicznych, niezbędnych do wytworzenia produktów. Podstawą estymacji kosztów płac bezpośrednich są normy czasu pracy, czyli stawki płac (tab. 4, 5). Przez zasoby ludzkie bezpośrednie rozumie się jednostki fizyczne roboczogodzin. Wartość zużycia zasobów ludzkich bezpośrednich to koszt płacy bezpośredniej.

Estymacja kosztów płacy bezpośredniej powinna obejmować zmienne koszty płacy bezpośredniej (płace bezpośrednie związane z akordowym systemem płac – elastyczne zasoby roboczogodzin) oraz stałe koszty (płace związane z systemem czasowym płac bezpośrednich – dedykowane zasoby roboczogodzin). W przedsiębiorstwach produkcyjnych zazwyczaj płace bezpośrednie są kosztami mieszanymi, czyli składają się z kosztów zmiennych i stałych, bądź w całości są stałymi.

Normy czasu pracy określają czas wykonania poszczególnych zadań (operacji) przez pracowników w określonych warunkach organizacyjno-technicznych. Ustalane są na takim poziomie, aby przy racjonalnym wysiłku mogły być dotrzymane przez pracowników o odpowiednich kwalifikacjach, we właściwych warunkach organizacyjno-technicznych danej firmy. Norma czasu pracy obejmuje czas rzeczywisty niezbędny do wykonania określonej operacji:

- przy zastosowaniu ekonomicznie i technicznie właściwych maszyn, urządzeń, narzędzi i metod pracy, dostosowanych do rozpatrywanej pracy,
- w warunkach prawidłowej organizacji pracy, możliwych do osiągnięcia w danej firmie,
- przez robotnika mającego potrzebne do tego kwalifikacje ustalone w taryfikatorze kwalifikacyjnym,
- przy pełnym wykorzystaniu czasu roboczego z uwzględnieniem potrzeb fizjologicznych robotnika niezbędnych do utrzymania jego zdolności do wydajnego wykonania pracy w czasie zmiany roboczej i do trwałej pracy w zawodzie.

Elementy normy czasu pracy przedstawia wzór:

$$t = t_{pz} + (n \times t_j) \quad (1)$$

gdzie:

- t_{pz} – czas przygotowania i zakończenia pracy, czyli czas związany z przygotowaniem stanowiska pracy do wykonania operacji i jej zakończenia; czas ten dotyczy całej wykonanej partii i nie zależy od liczby obrabianych produktów,
- n – liczba jednostek produktu do wykonania (sztuki, tysiące sztuk, komplety, kilogramy, metry itp.),
- t_j – czas jednostkowy, czyli przewidziany normą, na wykonanie operacji dotyczącej jednostki przedmiotu.

Tabela 4

Normy czasu pracy bezpośredniej dla produktu gotowego

Produkt gotowy	P1
Linia prod. I (Rh/szt.)	0,24

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5

Planowane stawki płac

Rodzaj linii produkcyjnej	Planowana stawka płac za Rh (zł/Rh)
Linia prod. I (Rh/szt.)	9

Źródło: opracowanie własne.

Normowaniem objęty jest czas pracy bezpośrednio produkcyjnej, wynagradzany zarówno według zasad akordu, jak i systemu czasowego. Przy systemie akordowym normy czasu pracy są podstawą obliczania kosztów płacy bezpośredniej. Przy systemie czasowym normy czasu pracy nie służą do ustalania płacy zasadniczej, chociaż w wielu wypadkach są one wykorzystywane do określania zadań produkcyjnych.

Zarówno przy akordowym, jak i czasowym systemie płac normy czasu pracy są podstawą ustalania planowanej pracochłonności produktów (półfabrykatów, wyrobów), co umożliwi prawidłowe prognozowanie kosztów płac bezpośrednich. Z tego też powodu przedsiębiorstwa produkcyjne powinny dysponować normami czasu pracy. Oczywiście nie muszą być one opracowywane tylko dla potrzeb prognozowania kosztów płacy bezpośredniej, ale również w celu prawidłowego planowania zatrudnienia i operatywnego kierowania produkcją.

Standardowy koszt płacy bezpośredniej² (tab. 6) produktu gotowego jest iloczynem normy czasu pracy oraz stawki płac, uwzględniającej przy systemie akordu zaszerogowanie danej pracy, a przy systemie czasowym zaszerogowanie robotnika.

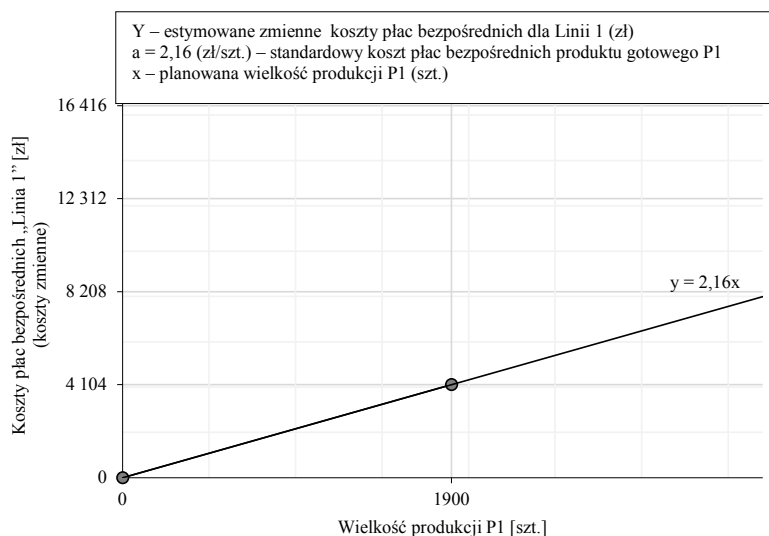
Przyjmując założenie, że płaca bezpośrednia jest naliczana według zasad akordowych można stwierdzić, że koszty płacy bezpośredniej są wprost proporcjonalne do planowanej wielkości produkcji (tzw. koszty proporcjonalnie zmienne), co oznacza, że są opisywane funkcją liniową wielkości produkcji $y = ax$ (rys. 2).

Tabela 6

Standardowy koszt płac bezpośrednich produktu gotowego

	Norma czasu pracy (Rh/szt.)	Planowana stawka płac (zł/Rh)	Standardowy koszt płacy bezpośredniej/szt. (zł/szt.)
		Produkt P1	
Linia prod. 1	0,24	9	2,16
Produkt gotowy – P1			2,16

Źródło: opracowanie własne.



$$y = 2,16x$$

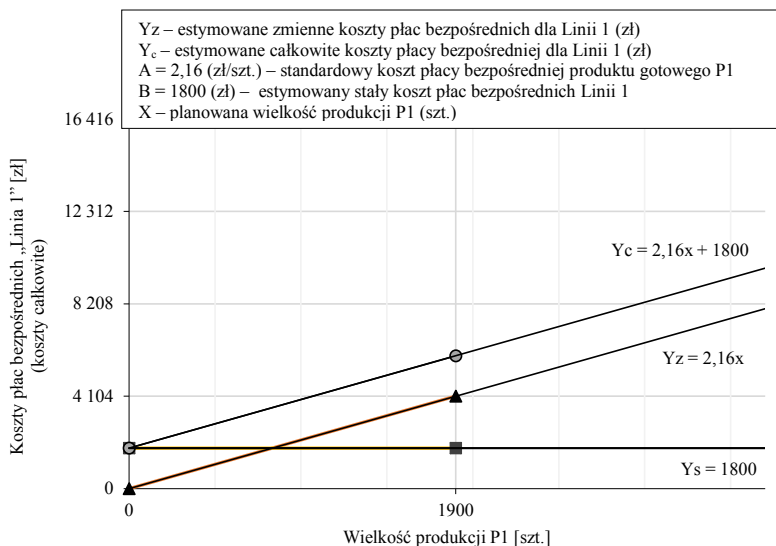
$$y = 2,16 \text{ zł/szt.} \times 1900 \text{ szt.} = 4104 \text{ zł}$$

Rysunek 2. Krzywa zmiennych kosztów płac bezpośrednich Linii 1

Źródło: opracowanie własne.

² Standardowy koszt płacy bezpośredniej w analizowanym przykładzie dotyczy tylko części zmiennej kosztów płac bezpośrednich, czyli tej, która jest funkcją wielkości produkcji.

Bardzo często, w praktyce gospodarczej, koszty płacy bezpośredniej składają się z dwóch części: zależnej od wielkości produkcji (koszty zmienne) i niezależnej od wielkości produkcji (koszty stałe). Wówczas koszty płacy bezpośredniej stanowią tzw. koszty mieszane (zmiennie + stałe) i opisujemy je funkcją $y = ax + b$ (rys. 3).



$$Y = (2,16 \text{ zł/szt.} \times 1900 \text{ szt.}) + 1800 \text{ zł} = 8184 \text{ zł}$$

Rysunek 3. Krzywe kosztów płac bezpośrednich Linii 1

Źródło: opracowanie własne.

2.3. Funkcje kosztów energii elektrycznej

Przez zasoby energii elektrycznej rozumie się jednostki fizyczne energii elektrycznej wyrażone w kWh, które zasilają zakład przemysłowy w celu zapewnienia mu ciągłości produkcji oraz osiągnięcia norm produkcyjnych. Wartość zużycia zasobów energii elektrycznej to koszt energii elektrycznej.

W celu estymacji kosztów energii elektrycznej (ilości i wartości zużycia zasobów energii elektrycznej) ważne jest aby ustalić, jaki rodzaj energii będzie wykorzystywany do produkcji oraz jaka jest norma zużycia energii elektrycznej na jednostkę produkcji. Wstępna estymacja pozwoli ocenić szanse na oszczędniejsze zużywanie zasobów energii elektrycznej. Estymacja kosztów energii elektrycznej powinna obejmować zmienne koszty energii elektrycznej (energia technologiczna związana z tzw. napędami – elastyczne zasoby energii elektrycznej) oraz stałe koszty energii elektrycznej (energia elektryczna związana

z utrzymaniem wydziałów produkcji – dedykowane zasoby energii elektrycznej) (Leszczyński, Jasiński 2015).

Przez normy zużycia zasobów energii elektrycznej rozumie się ilość zasobów elastycznych energii (kWh) zużytej na wytworzenie jednostki produkcji (tab. 7). Jednostką produkcji może być ilość wyprodukowanych produktów w jednostkach fizycznych (wyroby gotowe) – sztuka (szt.) lub produkcja wytworzona, przeliczona na czas pracy maszyn – maszynogodzina (Mh).

Tabela 7

Normy zużycia energii elektrycznej dla produktu gotowego

Produkt gotowy	P1
Linia prod. 1 (Rh/szt.)	1,05

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 8

Planowana cena za 1 kWh energii

Rodzaj linii produkcyjnej	Planowana cena za 1 kWh (zł/kWh)
Linia prod. 1	0,64

Źródło: opracowanie własne.

Standardowy koszt energii elektrycznej jednostki produkcji³ jest iloczynem normy zużycia energii na produkt lub maszynogodzinę oraz cenie za 1 kWh (tab. 9).

Tabela 9

Standardowy koszt energii elektrycznej produktu gotowego

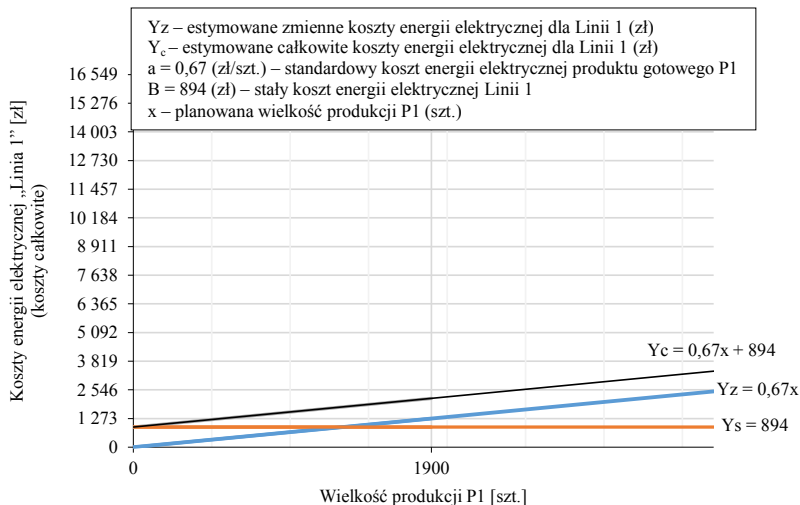
	Norma zużycia (kWh/szt.)	Planowany koszt energii elektrycznej (zł/kWh)	
		Produkt P1	Standardowy koszt energii elektrycznej/szt. (zł/szt.)
Linia prod. 1	1,05	0,64	0,67
Produkt gotowy			0,67

Źródło: opracowanie własne.

Koszty energii elektrycznej wykorzystywane do produkcji (energia technologiczna) są wprost proporcjonalne do planowanej wielkości produkcji (koszty zmienne), co oznacza, że są opisywane funkcją liniową wielkości produkcji $y = f(x)$ (rys. 4). Koszt energii elektrycznej związany z utrzymaniem wydziałów produkcji to koszt stały opisany funkcją czasu

³ Standardowy koszt energii elektrycznej w analizowanym przykładzie dotyczy tylko części zmiennej kosztów energii elektrycznej, czyli tej, która jest funkcją wielkości produkcji.

$y = f(t)$ (rys. 4). Całkowite koszty energii elektrycznej to koszty mieszane, a zatem opisujemy je funkcją liniową $y = ax + b$ (rys. 4).



$$Y = (0,67 \text{ zł/szt.} \times 1900 \text{ szt.}) + 894 \text{ zł} = 2167 \text{ zł}$$

Rysunek 4. Krzywe kosztów energii elektrycznej Linii 1

Źródło: opracowanie własne.

2.4. Zużycie zasobów pośrednich produkcji – funkcje kosztów pośrednio produkcyjnych

Koszty pośrednio produkcyjne, inaczej nazywane wydziałowymi, dzielą się na materiały pośrednie, płace pośrednie, media, usługi obce, amortyzację oraz odzież roboczą⁴. Do materiałów pośrednio produkcyjnych zaliczamy zasoby materiałowe pośrednie zużywane w celach technologicznych (technologiczne materiały pośrednie) oraz zasoby materiałowe pośrednie zużywane do zapewnienia ruchu, jak i do remontów maszyn i urządzeń oraz funkcjonowania administracji wydziału produkcyjnego (ogólnoprodukcyjne materiały pośrednie). Materiały pośrednie zużywane do celów technologicznych związane są z wielkością produkcji (zasoby elastyczne), jednak nie są zaliczane do materiałów bezpośrednich. Wartość zużycia zasobów materiałowych pośrednich do celów technologicznych jest nazywana zmiennym kosztem materiałów pośrednich. Materiały pośrednie ogólnoprodukcyjne to zazwyczaj wszelkiego rodzaju oleje, smary, odzież robocza, narzędzia typu uszczelki

⁴ Struktura rodzajowa kosztów pośrednich – produkcyjnych może być różna w zależności od specyfiki procesu produkcyjnego przedsiębiorstwa. Analiza kosztów pośrednio produkcyjnych dotyczy kosztów materiałów pośrednich i płac pośrednich, natomiast energia elektryczna została opisana w poprzednim rozdziale.

czy części zamienne oraz wsparcie biurowe (zasoby dedykowane). Ich ilość jest zależna od urządzeń i maszyn gwarantujących ciągłość produkcji oraz wielkości administracji biur wydziałowych. Wartość zużycia zasobów materiałowych pośrednich do celów ogólnoprodukcyjnych jest nazywana stałym kosztem materiałów pośrednich. Materiały pośrednie, zarówno technologiczne, jak i ogólne, mogą składać się z szeregu pozycji rodzajowych materiałów. Koszty pośrednie produkcyjne nie zależą tylko od jednej zmiennej, jaką jest wielkość produkcji (mierzoną ilością maszynogodzin lub ilością jednostek fizycznych produktu gotowego), ale od kilku zmiennych, np. ilości uruchomionych serii produkcyjnych. W takim przypadku estymacja kosztów pośrednio produkcyjnych winna bazować na funkcji liniowej z kilkoma zmiennymi:

$$y = a_1X_1 + a_2X_2 + B \quad (2)$$

gdzie:

- X_1 – wielkości produkcji – Mh,
- X_2 – ilość uruchamianych serii produkcyjnych,
- a_1 – standardowy koszt technologicznych kosztów pośrednio produkcyjnych dla jednostki produkcji – Mh,
- a_2 – standardowy koszt technologicznych materiałów pośrednich dla jednej serii produkcyjnej,
- B – stałe koszty materiałów pośrednich (ogólne koszty pośrednio produkcyjne).

Korzystając z danych historycznych⁵ dotyczących wielkości produkcji i ilości serii (tab. 10) oraz modelu regresji wielokrotnej, wyznaczamy funkcję kosztów materiałów pośrednich (rys. 5):

$$Y = 7,60 X_1 + 37,77 X_2 + 42,58 \quad (3)$$

Tabela 10

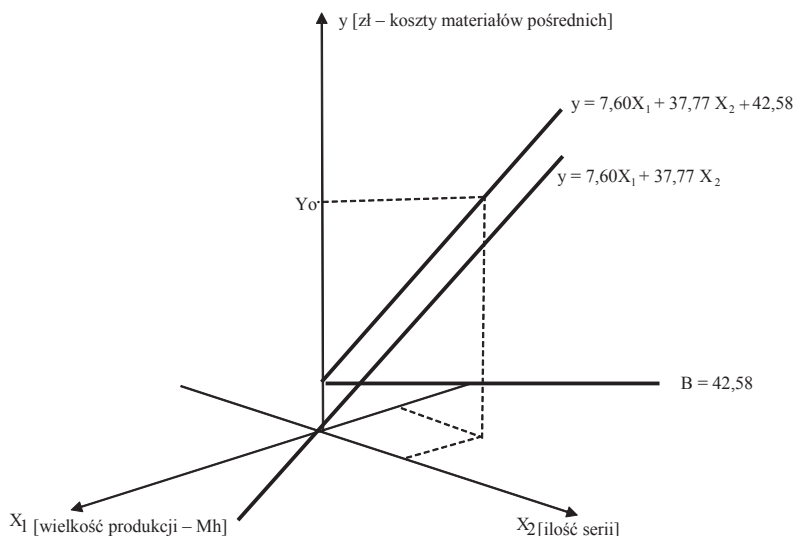
Dane empiryczne dla modelu regresji wielokrotnej

Okres (tygodnie)	Wielkość produkcji – Mh (X_1)	Liczba serii produkcyjnych (X_2)	Koszty materiałów pośrednich – zł (Y)
1	68	12	1 190
2	88	15	1 211
3	62	13	1 004
4	72	11	917
5	60	10	770
6	96	12	1 456
7	78	17	1 180

⁵ Dla celów budowy funkcji kosztów pośrednio produkcyjnych wykorzystano metodę statystyczną, a nie jak w poprzednich funkcjach kosztów produkcji istniejące benchmarki.

8	46	7	710
9	82	14	1 316
10	94	12	1 032
11	68	7	752
12	48	14	963
Suma	862	144	12 501

Źródło: Horngren, Datar, Rajan (2012).

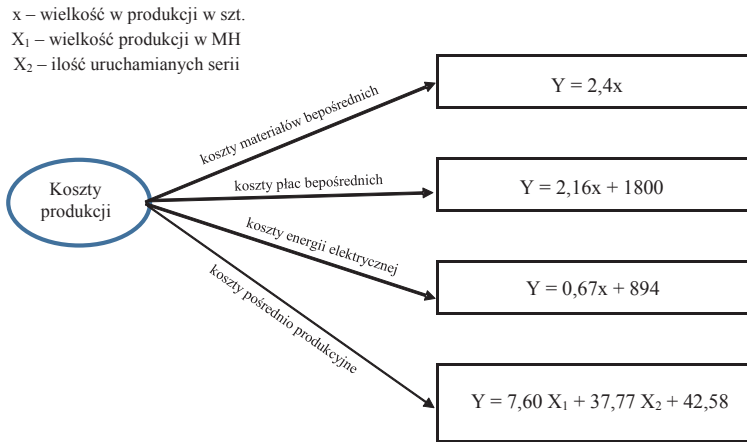


Rysunek 5. Krzywe kosztów pośrednio produkcyjnych Linii 1

Źródło: opracowanie własne.

3. Postulowany model funkcji kosztów produkcji

Modele funkcji kosztów produkcji (rys. 6) opisują korelacje pomiędzy wielkością produkcji wyrażoną w jednostkach fizycznych podmiotu, linii produkcyjnej, gnieździe maszynowym i ich kosztami. Funkcje kosztów uwzględniają powtarzalne relacje logiczne pomiędzy zmiennymi niezależnymi (parametry procesu produkcji) oraz zmienną zależną – kosztami. Funkcje kosztów w modelu parametrycznym mogą odwzorowywać zależności liniowe z jedną lub wieloma zmiennymi, jak również zależności nieliniowe np. wykładnicze. W przedsiębiorstwach produkcyjnych o produkcji masowej powtarzalnej (artykuł dotyczył tego typu produkcji) zazwyczaj są to funkcje liniowe.



Rysunek 6. Parametryczny model estymacji kosztów produkcji

Źródło: opracowanie własne.

Uwagi końcowe

Dokonana w artykule analiza teoretyczno-empiryczna potwierdza słusność stosowania w przedsiębiorstwie produkcyjnym matematycznych narzędzi estymacji w celu zbudowania precyzyjnych prognoz kosztowych. Tworzą one parametryczny model estymacji kosztów produkcji. Parametryczna estymacja kosztów jest fundamentem inżynierii kosztów. Parametryczny model estymacji kosztów wykorzystuje metody statystyczne odniesione do danych historycznych, jak również benchmarki finansowo-produkcyjne. Prezentowane w artykule funkcje kosztów, kryteria ich wyboru, metodyka budowy oraz integracja w model parametryczny poszerzają wiedzę teoretyków oraz praktyków w dziedzinie stosowania tego typu rozwiązań w zarządzaniu kosztami. Model parametryczny estymacji kosztów produkcji może być stosowany w praktyce gospodarczej przy wdrażaniu programów redukcji kosztów produkcji w przedsiębiorstwie. Przedstawiona w artykule koncepcja i model parametrycznej estymacji kosztów produkcji stanowią punkt odniesienia do prowadzenia dalszych badań teoretycznych i praktycznych w tej dziedzinie.

Literatura

- Dysert R. (2008), *An Introduction to Parametric Estimating*, „ACE International Transactions of The Annual Meeting”.
- Horngren T.C., Datar M., Rajan M.V. (2012), *Cost Accounting. A managerial Emphasis*, Pearson Education Limited.
- Leszczyński Z., Jasiński T. (2015), *Inżynieria kosztów*, ODDK, Gdańsk.
- Rush C., Roy R. (2000), *Analysis of cost estimating processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle*, Proceedings of CE2000 Conference, Lyon, France, July 17–21.

Rose A. (1982), *An Organized Approach to Parametric Estimating*, Transactions of the Seventh International Cost Engineering Congress.

Stewart R., Wyskida R., Johannes J. (1995), *Cost Estimator's Reference Manual*, 2nd ed., Wiley Interscience.

PARAMETRIC MODEL ESTIMATING OF COSTS PRODUCTION

Abstract: The purpose of the article is present in theoretical and empirical aspect methodology of construction the parametric model estimating of production cost. The research methodology adopted in this study is an analysis of the literature in the field of management accounting, management, cost engineering, statistics and analysis of empirical data obtained from projects carried out by the author. The result of the analyzes is cost functions model used for parametric estimating of the production costs. The innovation of this article is an attempt to develop a methodology for modeling the functions of production costs and the selection of statistical tools to achieve this.

Keywords: estimation of production costs, production cost functions, parametric model estimating

Cytowanie

Leszczyński Z. (2016). Parametryczny model estymacji kosztów produkcji. *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia, 1* (79), 949–964; www.wneiz.pl/frfu.