

ZARZĄDZANIE PROCESEM PRODUKCJI Z WYKORZYSTANIEM METODY AHP/ANP

Anna Florek-Paszkowska¹

Wydział Towaroznawstwa
Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie
e-mail: anna.greda@uek.krakow.pl

Piotr Cymanow

Wydział Ekonomiczno-Rolniczy
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: p.cymanow@ur.krakow.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono praktyczne zastosowanie Analitycznego Procesu Sietowego w rozwiązywaniu procesów decyzyjnych z zakresu zarządzania. Zaproponowany model ANP obejmuje wszelkiego rodzaju zależności oraz sprzężenia zwrotne między elementami decyzyjnymi, w obszarze zarządzania produkcją odzwierciedlając złożoność problemu decyzyjnego i rzeczywiste związki zachodzące zarówno pomiędzy czynnikami wewnątrz firmy jak też w jej otoczeniu. W pracy podkreślono możliwość wykorzystania opinii ekspertów, którzy nadali znaczenie (określili ważność) elementów decyzyjnych poprzez porównanie elementów parami, pozwalając na identyfikację czynników oraz ocenę ich wpływu na wzrost wielkości produkcji.

Słowa kluczowe: Analityczny Proces Hierarchiczny, Analityczny Proces Sietowy, zarządzanie produkcją, decyzja

WSTĘP

Zarządzanie przedsiębiorstwem ery postindustrialnej nakłada na menadżerów szereg zadań, spośród których jednym z najistotniejszych staje się konieczność ciągłego podejmowania decyzji. Turbulentne warunki gospodarki światowej zmuszają kierownictwo do przekonstruowania dotychczasowego modelu

¹ Nazwisko rodowe *Greda*

zarządzania firmą. W obszarze tradycyjnych funkcji dotyczących planowania, tworzenia struktur, motywacji i przywództwa czy kontroli coraz większe znaczenie odgrywa funkcja koordynacyjna związana z koniecznością permanentnego podejmowania decyzji tak w wymiarze operacyjnym jak i strategicznym. Konieczność zdobycia informacji i stworzenia alternatyw decyzyjnych leży u podstaw skutecznego konkurowania na trudnym globalnym rynku. Prawdziwym wyzwaniem staje się ocena wygenerowanych w warunkach niepewności decyzyjnej wariantów i wybór właściwej drogi postępowania [Cymanow 2011]. Przydatne w tym obszarze stają się metody wielokryterialne minimalizujące ryzyko i stwarzające podstawy do podjęcia optymalnej decyzji menadżerskiej, spośród których wybrano i zaprezentowano praktyczne zastosowanie analizy AHP/ANP autorstwa T. L. Saaty'ego.

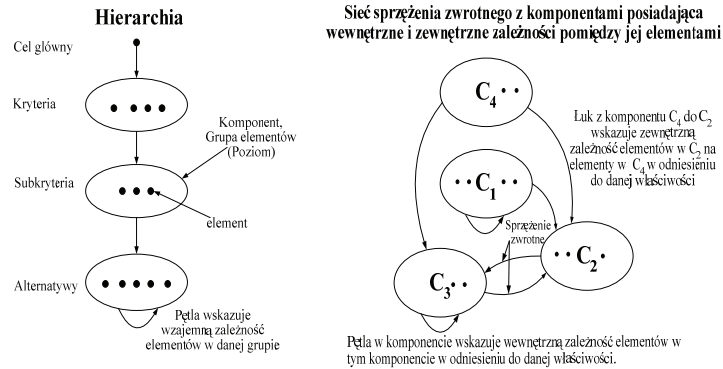
METODA BADAWCZA – ANALITYCZNY PROCES SIECIOWY

Analityczny Proces Sieciowy (ang. *Analytic Network Process* – ANP) to nowa teoria podejmowania decyzji, stanowiąca rozszerzenie Analitycznego Procesu Hierarchicznego (ang. *Analytic Hierarchy Process* – AHP). AHP/ANP to jedno z najszybciej rozwijających się w ostatnich latach i najbardziej znanych i uznanych w skali światowej metod matematycznych, stosowanych w zakresie rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Obie te teorie zrewolucjonizowały sposób, w jaki rozwiązuje się zawiłe problemy decyzyjne. Różnicę w metodzie ANP stanowią wzajemne zależności (oddziaływania) pomiędzy grupami elementów i wewnątrz nich oraz sprzężenia zwrotne. Ponadto przedstawienie struktury problemu w postaci sieci stanowiącej system komponentów, a nie jak to miało miejsce w przypadku metody AHP – w postaci hierarchii (bez wzajemnych i zwrotnych sprzężeń). Rys. 1 prezentuje strukturę hierarchiczną w ujęciu metody ANP oraz jej porównanie do sieci decyzyjnej [Adamus, Gręda 2004]. ANP wprowadza swobodną formę uporządkowania elementów, a nie ściśle ustalony łańcuch ważności (jak w hierarchii AHP).

AHP/ANP umożliwia nadanie znaczenia ilościowym i jakościowym czynnikom w zakresie: korzyści, kosztów, szans i ryzyka. Priorytetyzacji dokonuje się poprzez porównania elementów parami, przy pomocy 9-stopniowej, fundamentalnej skali preferencji Saaty'ego². Skala ta umożliwia włączenie doświadczeń i wiedzy osoby podejmującej decyzje oraz pozwala na wskazanie ile razy dany element przeważa nad innym w odniesieniu do danego kryterium.

² Thomas L. Saaty opracował 27 różnych skal. Spośród nich największe zastosowanie posiada 9 stopniowa fundamentalna skala porównań, którą wykorzystano również w pracy.

Rysunek 1. Porównanie ogólnej struktury hierarchicznej do sieci decyzyjnej



Źródło: Opracowanie na podstawie [Saaty, 2004a]

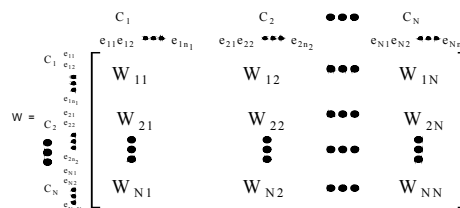
Zastosowanie metod AHP/ANP wymaga dokonania tzw. odwracalnych porównań parami, dla których $a_{ij}=1/a_{ji}$ oraz $a_{ii}=1$. Jest to znacznie dokładniejsze i daje lepsze rezultaty niż bezpośrednie wskazanie rozwiązania. Opinie te umieszcza się w kwadratowej macierzy porównań parami ($n \times n$) $A=[a_{ij}]$ (rys. 2), w której to wykonuje się $n(n-1)/2$ tych porównań. Liczba tych porównań wynika z tego, iż na przekątnej macierzy „n” elementów znajduje się „n” jedynek, a połowa opinii to odwrotności.

Wektory priorytetów $w = (w_1, \dots, w_n)$ obliczane są z tych macierzy przy pomocy liczb z fundamentalnej skali porównań Saaty’ego, a następnie wprowadzane do odpowiednich kolumn tzw. *supermacierzy* sieci decyzyjnej. Supermacierz jest podstawowym narzędziem, niezbędnym do struktury pracy w ANP (rys. 3).

Rysunek 2. Kwadratowa macierz porównań parami

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = cw$$

Rysunek 3. Supermacierz sieci decyzyjnej



Źródło: T. L. Saaty (2001 b)

Źródło: T. L. Saaty (2001 b)

Supermacierz zaprezentowana na rys. 3 posiada ogólnie „h” liczbę komponentów oznaczonych jako C_h , $h = 1, \dots, N$. Komponenty te posiadają n_h liczbę elementów oznaczonych przez $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hh}$. Wektor priorytetu (w) obliczony z porównań parami prezentuje wpływ danych elementów komponentu na inny element systemu. Kiedy element nie ma wpływu na inny element, to jego priorytet nie jest wyprowadzany i zastępowany jest cyfrą zero.

Zasadniczym (kluczowym) zagadnieniem w metodzie ANP jest dokonanie syntezy i przedstawienie końcowego rezultatu w postaci priorytetów dla wszystkich możliwych zależności, sprzężeń i cykli pomiędzy elementami sieci. Możliwość taką dostrzega T. Saaty nawiązując do teorii grafów [Saaty 2001b]. Wystarczy podnieść naszą macierz zależności (nazwaną przez Prof. Saaty’ego supermacierz) do kolejnych potęg oraz użyć sumowania opracowanego przez włoskiego matematyka Ernesto Cesaro (1859 – 1906) i powszechnie znanej teorii Oscara Perrot’a [Saaty 2004a, Adamus, Gręda 2005].

Zanim możliwe będzie wskazanie najlepszego rozwiązania problemu (wybór najlepszej alternatywy decyzyjnej) należy dokonać połączenia wyników otrzymanych dla czterech kontrolnych sub-systemów: korzyści, kosztów, szans i ryzyka. Istnieją dwa sposoby dokonania kombinacji tych priorytetów. Pierwszy – tradycyjny (wykorzystywany przez ekonomistów), w którym dzieli się iloczyn priorytetów korzyści i szans przez iloczyn priorytetów kosztów i ryzyka (BO/CR). Formuła ta nazwana została przez T. Saaty’ego multiplikatywną (*ang. multiplicative formula*). Obliczenia takie wykonuje się dla każdej alternatywy uwzględnionej w oddzielnej hierarchii lub sieci dla czterech sub-systemów, a następnie dokonuje się wyboru najlepszej alternatywy z największą wielkością priorytetu. W drugim sposobie dokonywania kombinacji priorytetów należy określić ważność każdego z sub-systemów, a więc korzyści (b), kosztów (c), szans (o) i ryzyka (r) dla naszego problemu. Buduje się to poprzez opracowanie tzw. strategicznych kryteriów. Stanowią one nasz system wartości (wyższe cele stawiane przez jednostkę.) w stosunku do których określa się ważność (znaczenie) najlepszych z alternatyw (B, O, C, R) rozwiązywanego przez nas problemu np. słabe, silne, mocne itp. Abraham Maslow pogrupował potrzeby ludzkie w kierunku malejącej ważności.

Poprzez zastosowanie drugiej z prezentowanych formuł ($bB+oO-cC-rR$) noszącej nazwę addytywnej – negatywnej (*ang. additive – negative*) dokonujemy wyboru najlepszego wariantu. Użycie tej formuły może niekiedy prowadzić do uzyskania ujemnych wartości priorytetów. Takie rozwiązanie może być dla nas pomocne w przypadku realizacji inwestycji, szczególnie w odniesieniu do wartości pieniężnych [Saaty, Ozdemir 2003].

W metodzie AHP/ANP jedną z najważniejszych wielkości, które obliczamy z macierzy porównań jest współczynnik niezgodności porównań C.R. (*ang. Consistency Ratio*). Praktyczną zasadą tych metod jest, aby wartość C.R. wynosiła nie więcej niż 10% ($C.R. \leq 10$) [Saaty 2004 b]. Uważa się wówczas, że współczynnik niezgodności jest akceptowany, a porównania są konsekwentne

(zgodne, logiczne). W przeciwnym wypadku wszystkie lub niektóre porównania zaleca się powtórzyć w celu pozbycia się niezgodności porównań parami.

KOMPLEKSOWY MODEL DECYZYJNY ANP „WZROSTU WIELKOŚCI PRODUKCJI”

Elementy decyzyjne modeli ANP korzyści, kosztów, szans i ryzyka

Modele korzyści, kosztów, szans i ryzyka opracowano na podstawie badań, jakie zostały przeprowadzone w firmie zajmującej się przetwórstwem metali z siedzibą w Polsce południowej. Wszystkie struktury decyzyjne ANP stanowią sieci wzajemnych zależności i wspólnych powiązań pomiędzy najważniejszymi czynnikami uwzględnionymi w tym procesie decyzyjnym. W ramach opracowanych modeli przyjęto następujące kryteria: ekonomiczne, technologiczne, społeczne, polityczno-prawne i ekologiczne. Do każdego z kryteriów dobrano subkryteria pozwalające na lepsze zrozumienie rozwiązywanego problemu. Kolejny poziom stanowią sub-sieci, które opracowano poniżej najistotniejszych subkryteriów, dla których wielkość priorytetów globalnych jest wyższa lub równa 0,03 (3%). Mają one największy wpływ na wybór optymalnej alternatywy decyzyjnej. W całym modelu sieciowym opracowano 22 sub-sieci.

W modelu zaproponowano 3 alternatywy: (1) **modernizacja dotychczasowej linii produkcyjnej**, (2) **zakup nowej linii technologicznej** oraz (3) **praca w systemie dwuzmianowym**. **Modernizacja dotychczasowej linii technologicznej** ma na celu zwiększenie wydajności obecnej ciągarki z poziomu z 2,5 t/h do 3,6 t/h. Koszt remontu będzie wynosić 150 tys. zł, a liczba pracowników wzrośnie o 4 osoby (do 24). W przypadku decyzji dotyczącej zakupu nowej linii wykorzystana zostanie ciągarka o wydajności 5 ton na godzinę. Szacowany koszt zakupu wynosi 350 tys. zł, natomiast ze względu na automatyzację linii liczba pracowników zmniejszy się o 4 - do 24 osób. Reorganizacja wydłuży z kolei czas pracy do 16 godzin dziennie (2 zmiany). Wprowadzenie tego rozwiązania nie będzie generować kosztów związanych z zakupem czy modernizacją, jednak maszyna ta będzie dłużej eksploatowana, wzrośnie też – do 30 osób - liczba pracowników.

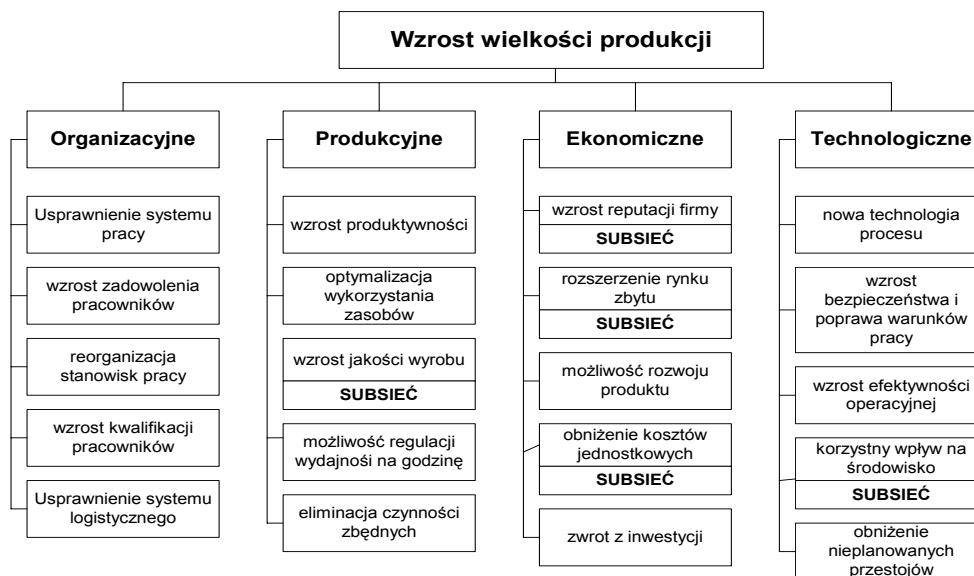
Wyniki badań

Wybór optymalnego wariantu w zakresie „wzrostu wielkości produkcji” ujęto w postaci czterech modeli ANP: korzyści (rys. 4), kosztów, szans i ryzyka. W każdym modelu porównano ze sobą wszystkie czynniki i na tej podstawie określono wskaźniki tzw. priorytety dla poszczególnych elementów modeli sieciowych. Objasnienia dotyczące opracowania modeli ANP oraz dokonywania obliczeń wraz z przykładami zostały m.in. omówione w pracy [Gręda 2009a].

Dla każdego elementu modelu ANP „korzyści”, „kosztów”, „szans” i „ryzyka” wykonano obliczenia priorytetów lokalnych i globalnych. Globalne

priorytety dla wszystkich elementów sieci wskazują na ważność każdego z nich w realizacji celu głównego. Natomiast lokalne - znaczenie tych czynników wewnątrz każdego klastra sub-systemu.

Rysunek 4. Model sieciowy „korzyści” wynikających ze wzrostu wielkości produkcji



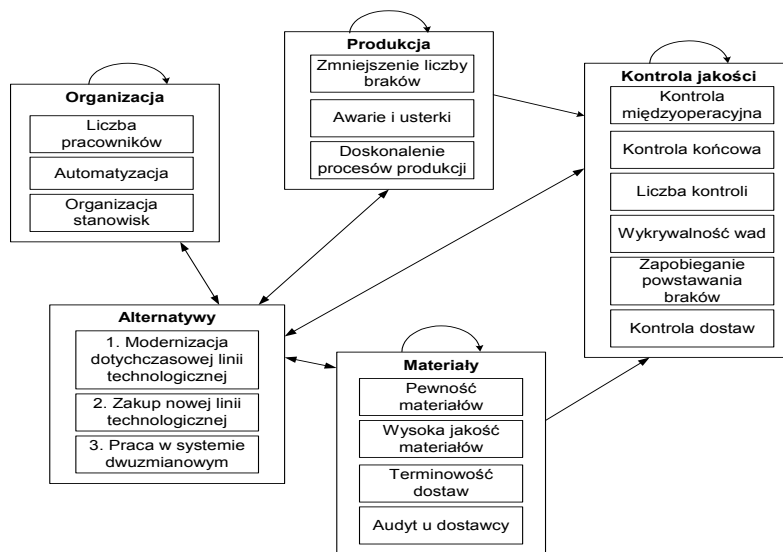
Źródło: opracowanie własne

Według pracowników badanej firmy największe **korzyści** będące rezultatem *wzrostu wielkości produkcji* występują w obszarze ekonomicznym firmy (0,5687). W dalszej kolejności korzyści zaobserwowano w obszarze: produkcyjnym (0,2231), technologicznym (0,1552) oraz organizacyjnym (0,0520). Natomiast z punktu widzenia całkowitych korzyści dla firmy (biorąc po uwagę priorytety globalne) jako najbardziej znaczące subkryteria całego modelu uznano: wzrost reputacji firmy (0,1441), wzrost jakości wyrobu (0,0557), rozszerzenie rynków zbytu (0,0553), obniżenie kosztów jednostkowych (0,0467), korzystny wpływ na środowisko (0,0374).

Dla każdego z wyżej wymienionych subkryteriów zbudowano subsieci. Na rys. 5. zaprezentowano przykład subsieci dla *obniżenia kosztów jednostkowych*, wzajemne zależności przyjętych czynników decyzyjnych, pętle sprzężenia zwrotnego oraz ich wpływ na wybór alternatyw decyzyjnych. Stosując analogiczne zasady jak w modelu korzyści opracowano modele kosztów, szans i ryzyka. Analizując uzyskane wielkości można stwierdzić, iż do kryteriów z największym priorytetem **kosztów** w zakresie realizacji przyjętego celu głównego respondenci na pierwszym miejscu zaliczyli kryteria produkcyjne i ekonomiczne. Wielkość priorytetu dla tych czynników wyniosła: 0,3550. W dalszej kolejności były to kryteria technologiczne (0,2146) oraz organizacyjne (0,0755). W ramach

przyjętych kryteriów dokonano priorytetyzacji subkryteriów modelu. Wyniki obliczeń wskazują, iż do najbardziej kosztownych czynników należą: inwestycje (0,1174), instalacja linii (0,0662), zasoby ludzkie (0,0444), materiały (0,0269).

Rysunek 5. Sub-sieć opracowana dla obniżenia kosztów jednostkowych w modelu ANP „korzyści” wynikających ze wzrostu wielkości produkcji



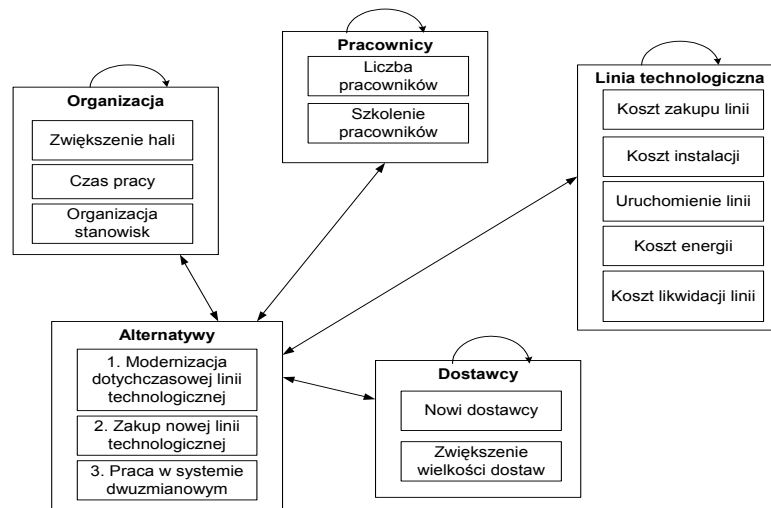
Źródło: opracowanie własne

Dla wymienionych subkryteriów zbudowano subsieci (rys 6).

Obszarami z największym potencjałem możliwych korzystnych zmian w przedsiębiorstwie poprzez *wzrost wielkości produkcji* w modelu **szans** są kryteria: ekonomiczne (0,4493), produkcyjne (0,2512), technologiczne (0,1710) oraz organizacyjne (0,1294). W ramach wymienionych kryteriów do najistotniejszych subkryteriów można zaliczyć: długoterminowe kontrakty (0,0608), poprawa standardów i jakości (0,0527), zwiększenie zaufania klientów (0,0414), zwiększenie zysku i wartości firmy (0,0385), rozszerzenie rynków zbytu w kraju i zagranicą (0,0338), wzrost motywacji i zaangażowania pracowników (0,0335), możliwość rozszerzenia asortymentu (0,0326).

Natomiast opracowanie modelu **ryzyka** i uwzględnienie go w naszym problemie decyzyjnym wynika z wielu zagrożeń, jakie mogą się pojawić w trakcie działalności przedsiębiorstwa. Zagrożenie ze strony niestabilnych i podatnych na rozmaite wpływy systemów finansowych, politycznych czy społecznych nakazuje z jednej strony zachowanie szczególnej ostrożności w procesach planistycznych czy decyzyjnych, z drugiej zaś – stwarza często niepowtarzalne okazje do uzyskiwania czy zwiększania posiadanych już przewag konkurencyjnych [Cymanow 2010].

Rysunek 6. Sub-sieć opracowana dla inwestycji w modelu ANP „kosztów” wynikających ze wzrostu wielkości produkcji.



Źródło: opracowanie własne

Największym wpływem na przyjęte warianty charakteryzowały się subkryteria: Problem z pozyskaniem surowców (0,0688), Brak opłacalności inwestycji (0,0660), Ograniczenie finansowe firmy (0,1187), Niespełnienie wymagań jakościowych (0,0346).

Rysunek 7. Hierarchia strategicznych kryteriów do oszacowania ważności sub-systemów (wartości): „korzyści”, „kosztów”, „szans” i „ryzyka”



Źródło: opracowanie własne

W wyborze optymalnego wariantu decyzyjnego dotyczącego wzrostu wielkości produkcji należy połączyć wielkość priorytetów wariantów sieci korzyści, kosztów, szans i ryzyka. Można to zrealizować wykorzystując formuły matematyczne: multiplikatywną (BO/CR) i addytywno-negatywną (bB+oO-cC-rR). Zastosowanie drugiej z wymienionych formuł wymagało określenia stopnia ważności sub-systemów. W tym celu opracowany został model strategicznych kryteriów w odniesieniu, do których szacuje ich znaczenie (rys. 7).

Każde strategiczne kryterium zostało szczegółowo rozpisane na odpowiadające im subkryteria. Na podstawie rangowania sub-systemów obliczono ich wartości: korzyści (0,1710), szanse (0,2360), koszty (0,3020), ryzyko (0,2910).

Porównania parami zależnych i wpływających na warianty decyzyjne elementów oraz oszacowanie stopnia ważności sub-systemów: korzyści, kosztów, szans i ryzyka pozwoliły na wybór najlepszej alternatywy w zakresie *wzrostu wielkości produkcji* (tab. 1). Zakup nowej linii produkcyjnej pozwala na optymalną realizację przyjętego przez firmę celu. Wskazują na to obie zastosowane w pracy formuły matematyczne.

Tabela 1. Wyniki końcowe analizy ANP

Warianty decyzyjne	Korzyści (0,1710)	Koszty (0,3020)	Szanse (0,2360)	Ryzyko (0,2910)	Formuła BO/CR	Formuła bB+oO-cC-rR
Modernizacja linii	0,5975	0,7284	0,4739	0,6459	0,1315	0,2866
Zakup nowej linii	1,0000	0,7547	0,9933	1,0000	0,7399	0,4259
Praca dwuzmianowa	0,5687	0,8207	0,5286	0,5283	0,1287	0,2875

Źródło: opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Podejmowanie decyzji jest wpisane w życie każdego człowieka. Przy obecnej turbulentności otoczenia osoby podejmujące krytyczne decyzje (mające istotny wpływ na przyszłość i dotyczą zazwyczaj dużej grupy ludzi), powinny je podejmować w oparciu o logiczną argumentację.

W większości prac z zakresu zarządzania produkcją wykorzystywane są metody statystyczne. W pracy tej zaproponowano m.in. możliwość wykorzystania opinii ekspertów, którzy określili ważność elementów decyzyjnych poprzez porównania elementów parami. Ponadto zaproponowany model ANP jest w stanie lepiej odzwierciedlić złożoność problemu i rzeczywiste związki zachodzące między czynnikami wewnątrz firmy i w jej otoczeniu. Inne metody stosowane do rozwiązania tego zagadnienia mogą te zależności ominąć [Gręda, 2009b]. Poprzez identyfikację czynników oraz ocenę ich wpływu na wzrost wielkości produkcji istnieje większe prawdopodobieństwo osiągnięcia sukcesu firmy.

BIBLIOGRAFIA

- Adamus W., Gręda A. (2004) Zastosowanie analitycznego procesu sieciowego do poprawy jakości produktów, [w:] Uwarunkowania sukcesu przedsiębiorstwa w gospodarce opartej na wiedzy. SUCCESS 2004. Wyd. UMCS w Lublinie, tom II, s. 379-391.
- Adamus W., Gręda A. (2005) Wspomaganie decyzji wielokryterialnych w rozwiązywaniu wybranych problemów organizacyjnych i menedżerskich. *Badania Operacyjne i Decyzje*, Nr 2, s. 5 – 36.
- Cymanow P. (2010) Proces zarządzania ryzykiem w strategii organizacji – *Więś i Doradztwo*, nr 1-2 (61-62) 2010, s. 68-74.
- Cymanow P. (2011) Ocena czynników warunkujących kształtowanie organizacji opartej na wiedzy, *Foliae Pomeranae Univesitatis Technologiae Stetinensis*. 291 (65), s. 43-50.
- Gręda A. (2009a) Application of the AHP/ANP in food quality management, [w:] ISAHP 2009, Conference Handbook, July 29 – August 1, 2009, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- Gręda A. (2009b) Zarządzanie jakością produktów żywnościowych. Praca doktorska realizowana na Wydziale Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego.
- Saaty T. L. (2001a) *Decision Making for Leaders. The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. RWS Publications. Pittsburgh PA.
- Saaty T. L. (2001b) *Decision Making with Dependence and Feedback. The Analytic Network Process*. RWS Publications. Pittsburgh PA.
- Saaty T. L. (2004a) Decision Making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, published at Tsinghua University, Beijing, Vol. 13, No. 1, pp 1-34, March.
- Saaty T. L. (2004b) The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangibles and for Decision Making, 67 page chapter in *Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Surveys*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, edited by Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M.
- Saaty T. L., M. Ozdemir (2003) Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 38, pp 233 - 244.

**MANUFACTURING PROCESS MANAGEMENT
WITH USING AHP/ANP METHODS**

Abstract: The article shows the practical application of the Analytic Network Process in solving decision problems from the field of management. The ANP Model proposed in this paper includes all kinds of dependencies and feedback between decision-making elements in the area of manufacturing management, reflecting the complexity of the problem and actual compounds that occur both between the agents within the company as well as in its surroundings. The paper emphasises the possibility of using experts' opinion, who gave importance (specifying the validity) of decision-making elements using pairwise comparisons, allowing the identification of factors and the evaluation of their impact on the increase in the volume of production.

Key words: Analytic Hierarchy Process, Analytic Network Process, manufacturing management, decision.