

Wybór systemu klasy ERP metodą AHP

A. CHOJNACKI, O. SZWEDO
e-mail: andrzej.chojnacki@wat.edu.pl

Wydział Cybernetyki WAT
ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Nadmiar możliwości może uniemożliwić wybór
Robert Cialdini

ERP jest zintegrowanym systemem informatycznym, który scala wszystkie konieczne funkcje ze wspólną bazą danych. Aby z sukcesem przeprowadzić projekt wdrożenia ERP w przedsiębiorstwie, przede wszystkim konieczne jest podjęcie właściwej decyzji o wyborze pasującego do tego przedsiębiorstwa systemu ERP. Artykuł porusza podstawowe problemy związane z procesem wyboru takiego systemu, wskazując jednocześnie nowe podejście do tego zagadnienia. Koncepcja ta wychodzi z założenia, że proces podejmowania decyzji wyboru optymalnego systemu ERP może zostać przeprowadzony z wykorzystaniem metody AHP, tj. wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych.

Słowa kluczowe: AHP, ERP, optymalizacja

1. Wprowadzenie

Zastosowanie systemów informatycznych do wspomagania zarządzania przedsiębiorstwem stanowi od początku rozwoju informatyki istotny czynnik usprawniania jego funkcjonowania. Budowano aplikacje o różnorodnych właściwościach użytkowych, których cechy funkcjonalne były rozwijane, lub też pojawiały się nowe pakiety programów, z każdą nową wersją coraz bardziej zaawansowane. Wiele z tych aplikacji znajduje zastosowanie we współczesnych przedsiębiorstwach.

W połowie lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia rozpoczął się okres stosowania komputerów w gospodarce. Największy wpływ wywarło to na sferę zaopatrzenia, sterowania zapasami i planowania produkcji. Stosowane w tamtym czasie metody sterowania procesami gospodarczymi w organizacjach poprzez uzupełnianie zapasów do ich pełnego stanu początkowego okazały się – w obecnych warunkach technologicznych – nie do zaakceptowania. Popularne wówczas założenie, że obniżenie zapasów określonych zasobów w organizacji powoduje pogorszenie pokrycia jej potrzeb na te zasoby okazało się nieprawdziwe, bowiem metody uzupełniania zapasów polegały na tym, że określone pozycje zasobów były w magazynie przez cały czas, aby były dostępne w momencie wystąpienia potrzeby. Wynikało to głównie z konieczności kompensowania braku możliwości precyzyjnego określenia wielkości potrzeb i czasu ich wystąpienia. Szybko

rozwijające się technologie komputerowe dostarczyły takie możliwości [5].

Zintegrowane systemy informatyczne klasy ERP (Enterprise Resource Planning – Planowanie Zasobów Przedsiębiorstwa) korzeniami sięgają metodologii MRP (Material Resource Planning – Planowanie Zasobów Materiałowych) oraz MRP II (Planowanie Zasobów Produkcyjnych) [4]. Od początku lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku rozpoczęto stosowanie systemów planowania potrzeb materiałowych MRP. Planowanie to stało się wówczas nowym sposobem sterowania produkcją i zapasami, które następnie rozszerzono na planowanie pozostałych, poza materiałami, rzeczowych zasobów przedsiębiorstwa – takich jak środki trwałe czy zasoby ludzkie. Systemy te nazwane MRP II umożliwiły modelowanie procesów gospodarczych i sterowanie nimi głównie w aspekcie rzeczowym, wskutek czego użytkownikami systemów tego typu były przede wszystkim przedsiębiorstwa produkcyjne [9].

Systemy typu ERP pozwalają natomiast dodatkowo na precyzyjne modelowanie procesów gospodarczych przedsiębiorstw i gospodarowanie zasobami w aspekcie finansowym i ekonomicznym [8]. Ta właściwość tych systemów okazała się bardzo atrakcyjna dla przedsiębiorstw dążących do osiągnięcia i utrzymania przewagi konkurencyjnej. Celem systemów tego typu jest integrowanie w możliwie najszerszym zakresie wszystkich szczebli zarządzania przedsiębiorstwem, całości procesów zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji oraz gospodarowania wszystkimi istot-

nymi zasobami przedsiębiorstwa poprzez usprawnienie przepływów informacji i szybkie reagowanie (w czasie quasi-rzeczywistym) na szanse i zagrożenia. Istotą wprowadzonych zmian jest wyposażenie pakietów w moduły realizujące wybrane funkcje kontrolingu. Umożliwiają one dokumentowanie wszystkich przepływów wartości wewnątrz przedsiębiorstwa. Narzędzia przeznaczone do planowania, kontrolowania oraz monitorowania przepływów pozwalają koordynować procesy zachodzące w przedsiębiorstwie.

W obecnych czasach, w warunkach globalizacji, szybkiego rozwoju technologii i silnej konkurencyjności przedsiębiorstwa stają przed koniecznością informatyzacji swojej działalności gospodarczej. Dziś nie zadaje się pytań typu, czy warto wdrożyć system ERP, lecz jaki system wdrożyć i jak się do tego przygotować. Złożoność procesu wyboru i ryzyko popełnienia czasami bardzo kosztownego błędu stwarza wielu przedsiębiorstwom trudności przy podejmowaniu tej strategicznej decyzji. Dokonanie niewłaściwego wyboru systemu informatycznego może prowadzić do wielu niepożądanych skutków. Dlatego tak ważna staje się racjonalność decyzji informatycznych. Wiąże się to z koniecznością dostępu do rzetelnych, kompletnych, przejrzystych w formie i treści oraz aktualnych informacji zarówno o samych systemach jak i ich dostawcach.

2. Problemy wyboru systemu ERP

Rozwój przedsiębiorczości w Polsce i idący za tym rozwój samych przedsiębiorstw wymusił wprowadzanie nowych rozwiązań informatycznych. Systemy wspomagające zarządzanie klasy ERP stały się powszechnie używanym narzędziem informatycznym w wielu małych i średnich firmach. Na początku informatyzacji firm polskich (lata 90.) najczęściej nie było konieczności dokonywania wyboru systemu. Przedsiębiorstwa wdrażały rozwiązania dostępne na lokalnym rynku (których liczba nie była duża), liczyło się bowiem głównie to, żeby producent tego oprogramowania zapewnił bezpośrednie wsparcie (jak wiadomo Internet w tamtych czasach nie był tak powszechnym i dostępnym narzędziem jak dzisiaj). Średni cykl życia systemu ERP wynosi około 10 lat [6]. Zatem w wielu przedsiębiorstwach wykorzystywane przez nie systemy nie przystają często do warunków rynkowych, nie są wspierane przez producentów, bądź nie spełniają już wymogów zakładanych przez te

przedsiębiorstwa. Wiele firm staje więc dziś przed decyzją o poprawie efektywności własnego systemu informatycznego. W związku z tym, że obecnie większość systemów zintegrowanych ERP istniejących na rynku to tzw. systemy standardowe (zawierające zestaw standardowych funkcji, które mogą być dostosowywane do potrzeb odbiorcy za pomocą modyfikacji zmiennych parametrów systemu), przed przedsiębiorstwami stoi w tym wypadku decyzja związana z wyborem najbardziej odpowiedniego rozwiązania do realizowania swoich potrzeb gospodarczych. A systemów tego typu na rynku jest bardzo dużo, o zróżnicowanych funkcjonalnościach, zastosowaniach i możliwościach – wytworzonych zarówno przez producentów krajowych jak i zagranicznych.

Wybór rozwiązania ERP to jedna z najważniejszych decyzji w każdej firmie, mająca wymiar strategiczny. Oprócz stosunkowo wysokich nakładów na jego pozyskanie ma ona bowiem bezpośredni wpływ na zmianę efektywności działania firmy w praktycznie wszystkich obszarach jej funkcjonowania w kilku, a czasami kilkunastu następnych latach. Trafna decyzja to uzyskanie dodatkowej przewagi konkurencyjnej, wynikającej z lepszej kontroli procesów wewnętrznych i zewnętrznych, lepszej jakości informacji zarządczej oraz usprawniania sposobu działania organizacji. Błędna decyzja to strata finansowa, obniżenie efektywności działań, wzrost kosztów operacyjnych, utrata dobrego wizerunku firmy wobec kontrahentów. Jednym słowem poważna przeszkoda w realizacji planów rozwojowych firmy, a często również znaczący regres w jej funkcjonowaniu [3].

Najczęstsze problemy pojawiające się w procesie wyboru systemu ERP, jakie można wyróżnić, to [6]:

1. Wielokryterialność oceny, do której używa się często kilkudziesięciu kryteriów, czyli istnienie wielu przesłanek, zmiennych, które mają wpływ na dokonywany wybór. Możliwości człowieka w podejmowaniu decyzji na podstawie wielu parametrów są bardzo ograniczone.
2. Wiele rodzajów miar kryteriów wyboru – przykładowo podczas porównywania systemów ERP każde z kryteriów może być wyrażane w innych jednostkach miary. Dla osoby porównującej stanowi to poważny problem, zwłaszcza w połączeniu z problemem wielokryterialności, gdy do porównania jest wiele różnych pomiarów, z których należy wyciągnąć wnioski co do podjęcia dalszej decyzji.

3. Występowanie kryteriów ilościowych (szacowanych bezpośrednio) i kryteriów jakościowych (prezentowanych werbalnie), a w praktyce często odgrywających główną rolę w procesie podejmowania decyzji. Wiadomo, że wygodniejsze jest używanie lingwistycznych ocen kryterium. Dla przykładu, wyrażenie zakresu kryterium „stopień użyteczności” może być oceniane poprzez zastosowanie skali werbalnej: „niska”, „zadowolająca”, „dobra” itp.
4. Nierównoważność kryteriów używanych w ocenie jakości systemów – problem ten wiąże się z oceną ważności szczegółowych kryteriów w sposób ilościowy i stosunkowy (ilościowa ocena rangi). W wielu przypadkach człowiek nie jest zdolny ocenić wielu kryteriów bezpośrednio za pomocą liczbowej wartości z pewnym dopuszczalnym błędem (np. spódczynnik względnej ważności albo ranga kryterium). Często wyniki takiego procesu przedstawiane są w postaci opisów czy opowiadań, bez stosowania liczb. W tym samym przypadku podczas porównywania dwóch alternatyw człowiek jest zdolny zdefiniować odpowiednio, która z nich jest bardziej wyrazista, a która mniej oraz w wielu przypadkach może ocenić dokładnie (werbalnie) różnicę między wartościami dwóch alternatyw.
5. Problem uwzględnienia czynników, które mają charakter czynników niepewnych (losowych, rozmytych), jak np. niedeterministyczne zmiany warunków lub organizacji pracy wpływające na działanie systemu ERP, lub innych czynników subiektywnych (indywidualne preferencje użytkownika).

Należałoby zatem postawić zasadnicze pytania [11]:

1. Jakimi narzędziami dotyczącymi wyboru systemu informatycznego powinna dysponować osoba odpowiedzialna za podjęcie wiążących decyzji?
2. Czy można sformułować generalne zasady dotyczące wyboru systemu, które pozwoliłyby na obiektywną ocenę proponowanych rozwiązań?
3. Co zrobić, aby ta strategiczna decyzja była trafna i przyniosła firmie oczekiwane korzyści finansowe?

Z wyżej przedstawionych problemów i postawionych pytań wynikają pytania bardziej szczegółowe: Jak podejść do tematu wyboru systemu? Jakie kryteria wziąć pod uwagę, aby dokonać trafnego wyboru? Czy wiadomo

precyzyjnie, jakie cele przedsiębiorstwo chce osiągnąć poprzez wdrożenie nowego systemu? [3].

3. Charakterystyka wyboru systemów klasy ERP

Warto poświęcić czas i uwagę na dokonanie przemyślanego wyboru. Jasne określenie własnych potrzeb i oczekiwań w stosunku do systemu decyduje o jego późniejszym faktycznym wsparciu przy zarządzaniu firmą. Czas poświęcony na dokonanie właściwego wyboru na pewno zwróci się w trakcie wdrożenia systemu i pracy z nim.

W trakcie wyboru systemu klasy ERP mamy do czynienia z decyzyjnymi zagadnieniami wielokryterialnymi o różnorodnym charakterze:

1. Występowanie wielu celów lub atrybutów – decydent musi zdefiniować odpowiedni dla rozważanego zagadnienia decyzyjnego zbiór celów lub atrybutów.
2. Występowanie konfliktu pomiędzy celami i atrybutami.
3. Brak jednolitej miary dla kryteriów – każdy z celów lub atrybutów może mieć odmienną jednostkę miary.
4. Występowanie zagadnienia poszukiwania najlepszego rozwiązania lub wyboru najlepszego wariantu z wcześniej określonej niewielkiej liczby wariantów.
5. Proces decyzyjny odbywa się w warunkach braków informacyjnych bądź informacji o charakterze niepewnym (rozmytym, probabilistycznym itp.).
6. Potrzeba realizacji procesu decyzyjnego w stosunkowo krótkim czasie i przez niewielką liczbę decydentów.
7. Jednokrotność wyboru (przynajmniej w okresie 10 lat, tj. w zakresie cyklu życia systemu tej klasy).

W celu zapewnienia efektywności procesu decyzyjnego powinien być on prowadzony na małej liczbie systemów klasy ERP i z zastosowaniem niewielkiej liczby kryteriów wybranych do oceny systemów. Zbyt duża liczba mierników i celów skomplikuje proces wyboru systemu. Dobrze jest też znać i wyodrębnić kluczowe procesy w organizacji. Dane, jakie powinny być na wejściu i wyjściu tych procesów, będą kluczowe do podjęcia trafnych decyzji biznesowych. Błędne jest także myślenie, że im szersza funkcjonalność, tym lepszy system. Ważne jest, jak wspiera on kluczowe procesy. Wybór będzie wówczas prostszy. Dodatkowo należy również wziąć

pod uwagę wewnętrzne ograniczenia, takie jak: poziom finansów przedsiębiorstwa, umiejętność obsługi oprogramowania przez pracowników oraz programowo-sprzętową taktykę przedsiębiorstwa.

Wybór odpowiedniego systemu klasy ERP można zrealizować w pięciu następujących krokach:

1. Ustalenie głównych wymagań systemu klasy ERP w przedsiębiorstwie – ten etap pozwoli na określenie głównych założeń, jakie będą miały wpływ na wyłonienie podzbioru systemów klasy ERP, spośród których będzie można dokonać wyboru optymalnego systemu. Dodatkowo ustalenie głównych wymagań systemu klasy ERP umożliwi ustalenie atrybutów systemów oraz wybór kryteriów, na podstawie których będzie przeprowadzony proces wyboru.
2. Przegląd systemów klasy ERP – mając zdefiniowane główne wymagania przedsiębiorstwa odnośnie systemu klasy ERP, warto sporządzić krótką listę dostępnych systemów. Sporządzenie listy systemów z krótkimi charakterystykami ułatwia skuteczny wybór zgodnie z ustalonymi wcześniej wymaganiami. Informacje na temat dostępnych na rynku systemów można uzyskać ze stron internetowych producentów, jak i specjalistycznych portali branżowych. Można tam znaleźć wiele informacji dotyczących dostępnych na rynku systemów informatycznych – ich funkcjonalności i zastosowania w konkretnych przedsiębiorstwach. Mając już pewien zbiór systemów klasy ERP, warto wyodrębnić z nich tzw. „short list”, czyli listę 3-5 systemów, które w największym stopniu pasują do potrzeb organizacji. Celem sporządzenia listy systemów (najlepiej wraz z ich charakterystykami) jest szybkie wyeliminowanie produktów, które nie spełniają wymagań danej organizacji. Głównymi kryteriami na tym etapie najczęściej są:
 - lokalizacja systemu, tzn. czy interfejsy systemu są przetłumaczone na język kraju przedsiębiorstwa, w którym ma być wdrażany
 - dostępność na terenie kraju firmy wdrożeniowej i zapewniającej wsparcie dla użytkowników tego systemu
 - weryfikacja, czy system jest rzeczywiście klasy ERP (niestety wiele systemów oferowanych przez producentów bardzo często można nazwać systemami pseudo-ERP).

3. Sporządzenie listy kryteriów oceny – dokonanie skutecznego porównania systemów klasy ERP wymaga wygenerowania listy kryteriów oceny. Nie wszystkie przedstawione kryteria muszą zostać wykorzystane do ich oceny. Należy je dobrać pod względem potrzeb i wymagań organizacji. Przykładowe kryteria:

- kosztowe (koszt zakupu licencji oprogramowania, koszt prac wdrożeniowych, koszt szkoleń dla użytkowników systemu, koszt opieki technicznej w kolejnych latach od wdrożenia systemu)
- przeciętny (szacowany) czas wdrożenia systemu w określonej funkcjonalności
- parametry techniczne systemu (współpraca z wybraną bazą danych, możliwość wykorzystania określonej platformy sprzętowej, kompatybilność z określonym systemem operacyjnym, sposób dostępu do systemu)
- cechy systemu (dostępność wymaganych modułów bądź funkcjonalność w przedsiębiorstwie)
- pozytywne referencje nabywców systemu.

4. Ocena oprogramowania pod względem spełniania ustalonych kryteriów – każdy z systemów klasy ERP należy ocenić pod względem spełniania przez niego ustalonych kryteriów. Oceny można dokonać na podstawie przykładowych następujących czynników [17]:

- rozmowy z dostawcą oprogramowania
- prezentacji systemu przez dostawcę
- wersji demonstracyjnej (testowej) oprogramowania
- rozmowy z użytkownikami tego systemu
- dokumentacji systemu
- literatury branżowej
- opinii ekspertów
- dostępnych informacji reklamowych w Internecie i innych źródłach.

Możliwość wykorzystania tych czynników zależy od czasu przeznaczonego na ocenę systemów. Przeważnie stwierdzenie, czy dany system spełnia kryteria, czy nie, jest niewystarczające. Oferta dostawców systemów powinna zawierać plan realizacji projektu i korzyści biznesowe, jakie należy osiągnąć. Ostateczna ocena danego systemu powinna zostać oparta o bezpośrednie spotkanie z konsultantem reprezentującym dostawcę systemu. Na spotkaniu należy omówić sposoby spełnienia oczekiwań

klienta, a klient powinien uzyskać odpowiedzi na wszelkie nurtujące pytania.

5. Wybór optymalnego systemu klasy ERP – dokonanie ostatecznego wyboru warto oprzeć o metodę, która pozwoli w konkretnych warunkach na podjęcie najlepszej decyzji. Ze względu na przedstawione wyżej cechy, jakimi charakteryzuje się proces wyboru systemu klasy ERP, należy skupić się na metodach wielokryterialnych, które sprowadzają się do wskazania najlepszej decyzji w dyskretnym skończonym zbiorze decyzji, przy czym przy ocenie wyróżnia się najczęściej kryteria wielopoziomowe, w których wartości kryteriów wyższego poziomu wynikają z wartości kryteriów poziomu niższego. Każda decyzja w tym zbiorze jest oceniana za pomocą skończonej liczby kryteriów. Dodatkowym efektem stosowania takiej metody jest powstanie rankingu decyzji – od najlepszej do najgorszej. Wśród takich metod można wyróżnić [16]:

- ELECTRE (Elimination et Choice Translating Reality)
- PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations)
- AHP (Analytic Hierarchy Process – Analityczny Hierarchiczny Proces Decyzyjny) [1].

Przedstawione metody nie wyczerpują tematu wielokryterialnych metod wspomaganiania decyzji, gdyż istnieją różne modyfikacje przedstawionych metod oraz inne metody polioptymalizacji. Można jednak stwierdzić, że przedstawione metody są najczęściej stosowane do rozwiązywania spektrum problemów wielokryterialnych o wyżej opisanym charakterze. Dodatkowo metoda stosowana do wyboru systemu klasy ERP powinna zapewniać:

- prostotę – przeważnie eksperci dysponują niewielką ilością czasu na zapoznawanie się z metodą – skomplikowane metody bądź wprowadzanie wielu różnych parametrów może ten proces znacznie wydłużyć
- ze względu na skąpe zasoby czasowe uwzględnienie możliwie małej liczby wariantów do wyboru jak i kryteriów w postaci hierarchicznej (ma to wpływ na percepcję ekspertów)
- niedopuszczanie do sytuacji nieporównywalności względem określonych kryteriów

- możliwość rozbudowy metody w sytuacjach decyzyjnych opisywanych nieprecyzyjnym językiem naturalnym
- uwzględnienie wag kryteriów.

Reasumując, metodą, która z powyższych względów w dużym stopniu wykazuje swoją przydatność w procesie decyzyjnym wyboru systemu klasy ERP, jest AHP:

- opiera się o hierarchię kryteriów oceny, reprezentujących różny poziom szczegółowości, jest związana z hierarchią celów lub oczekiwanych korzyści
- większość kryteriów oceny wariantów nie ma charakteru ilościowego, lecz jakościowy, a ponadto znaczna część ocen dopuszcza subiektywność oceniającego (decydenta)
- występuje pełna porównywalność wariantów – porównanie i ocena odbywają się na zbiorze wariantów należących do tej samej klasy
- wykorzystuje maksymalnie dziesięciostopniową skalę ocen w oparciu o badania Georga Millera, który stwierdził, że niezależnie od rodzaju materiału ludzie są w stanie odtwarzać od 5 do 9 elementów informacji, czyli 7 ± 2 (tzw. „siódemka” Millera)
- używa tzw. „siódemki” Millera także w odniesieniu do liczby kryteriów danego poziomu jak i rozpatrywanych wariantów (choć w przypadku wariantów bardziej adekwatna byłaby tzw. „czwórka” Nelsona Cowana, czyli zastosowanie jeszcze mniejszej liczby „porcji” informacji, tj. od 3 do 5, a więc 4 ± 1) [14].

4. Charakterystyka metody AHP

Metoda AHP jest jedną z wielokryterialnych metod hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych. Umożliwia ona dekompozycję złożonego problemu decyzyjnego oraz utworzenie rankingu finalnego dla skończonego zbioru wariantów. Metoda została opracowana w 1980 roku przez Thomasa L. Saaty’ego i jest wykorzystywana w wielu dziedzinach takich jak: zarządzanie, politologia, socjologia, wytwarzanie czy transport. AHP jest zaliczane do metod wielokryterialnego podejmowania decyzji (MCDM – Multiple Criteria Decision Making) wywodzących się ze Stanów Zjednoczonych.

Metoda AHP ujmuje podejście wielokryterialne, oparte na kompensacyjnej strategii modelowania preferencji i przy założeniu

porównywalności wariantów. Uwzględnienie preferencji oceniającego, decydujących o subiektywności ocen, stanowi istotę podejścia wielokryterialnego, traktującego owe preferencje jako zjawisko naturalne dla ocen dokonywanych przez człowieka. Metoda AHP uwzględnia specyfikę procesów wartościowania, mających przede wszystkim charakter relacyjny i hierarchiczny. Liczne zastosowania tej metody we wspomaganie decyzji ekonomicznych, technicznych czy społecznych potwierdzają jej przydatność szczególnie w tych zastosowaniach, gdzie znaczna część kryteriów oceny ma charakter jakościowy, a doświadczenie oceniającego stanowi główne źródło ocen, mających charakter subiektywny. Modelowanie za pomocą hierarchicznej analizy problemu AHP jest przydatne szczególnie wtedy, gdy nie jest znana zależność funkcyjna między elementami problemu decyzyjnego, opisanego w postaci hierarchii czynników, natomiast możliwy do oszacowania jest efekt występowania danych własności i ich efektu praktycznego.

Podczas oceny wariantów następuje psychologiczna synteza domniemych efektów związanych z rozważanymi wariantami przez odwołującą się do doświadczenia ocenę łącznego ich wpływu na spełnienie celu nadrzędnego, znajdującego się na szczycie hierarchicznej struktury decyzyjnej. Cel nadrzędny zdefiniowany jest jako stan docelowy, o największym stopniu ogólności, wynikający z pomyślnego rozwiązania problemu decyzyjnego, np. wyboru optymalnego systemu klasy ERP dla przedsiębiorstwa.

U źródeł metody AHP leży twierdzenie Saaty'ego, który powołując się na liczne przykłady uzasadnia, że osądy człowieka mają zawsze charakter relatywny, zależny od charakterystyki oceniającego, jego aktualnej roli i wyznawanego systemu wartości. W rezultacie spotyka się różne spojrzenia na problem decyzyjny (przedmiot oceny lub wartościowania), przejawiające się w różnych wagach istotności cząstkowych użyteczności poszczególnych wariantów, a więc i kryteriów oceny.

Analiza problemu decyzyjnego metodą AHP odbywa się w czterech fazach [1], [2]:

1. Opracowanie hierarchicznej reprezentacji problemu – dekompozycja problemu decyzyjnego i budowa hierarchii czynników (kryteriów) wpływających na rozwiązanie problemu. Na najwyższym poziomie hierarchii znajduje się cel nadrzędny, a na poziomie najniższym – rozważane warianty decyzyjne. Poziomy pośrednie zajmują rozważane czynniki składowe problemu, jak

kryteria decyzyjne lub inne czynniki, wpływające na stopień realizacji celu nadrzędnego i wybór najlepszego wariantu (jako kryteria wyboru). Liczba poziomów pośrednich zależy od złożoności problemu i przyjętego przez decydenta lub analityka modelu problemu decyzyjnego.

2. Wygenerowanie ocen z wzajemnego porównania kryteriów wyboru (preferencji globalnych) oraz rozważanych wariantów (preferencji lokalnych). Wymaga to dokonania przez oceniającego (decydenta) serii porównań parami elementów znajdujących się na każdym z poziomów modelu hierarchicznego, związanych z elementem znajdującym się na wyższym poziomie. Wynikiem tych porównań są macierze ocen uzyskane przez zastosowanie względnej skali dominacji przyjętej w metodzie AHP. Saaty przyjął następującą skalę ważności kryteriów (ocen) [17]:

- 1 – porównywalne
- 3 – słaba preferencja
- 5 – silna preferencja
- 7 – bardzo silna preferencja
- 9 – maksymalna preferencja
- 2, 4, 6, 8 – wartości pośrednie.

3. Wyznaczenie preferencji globalnych i lokalnych, czyli wag każdego kryterium i czynnika w modelu hierarchicznym, przez przekształcenie ocen pozyskanych od decydenta z porównań parami. Istotnym aspektem w tej fazie jest też dokonanie oceny zgodności macierzy oceny wynikających z porównywania parami. Jeśli wymagana zgodność nie zostaje uzyskana, należy skorygować (zrewaloryzować) preferencje.

4. Klasyfikacja wariantów decyzyjnych – ustalenie uporządkowania wariantów decyzyjnych z uwzględnieniem ich udziału w realizacji celu nadrzędnego.

5. Proces wyboru systemu ERP metodą AHP

5.1. Budowa modelu hierarchicznego

Podstawą metody AHP jest modelowanie hierarchii celów do przedstawienia problemu w postaci drzewa hierarchicznego, co pozwala łatwo opisać strukturę decyzyjną problemu, gdzie realizacja celu głównego przez każdy z wariantów wynika ze spełnienia celów pośrednich, wyrażonych przez odpowiadające im kryteria. W związku z tym dokonana zostaje najpierw dekompozycja problemu decyzyjnego

w postaci hierarchicznej struktury decyzyjnej [1]:

- cel nadrzędny (wybór optymalnego systemu klasy ERP dla przedsiębiorstwa)
- cele pośrednie (kryteria główne oceny systemów)
- czynniki cząstkowe (podkryteria)
- warianty decyzyjne (systemy klasy ERP).

5.2. Ocena przez porównania parami

Proces przebiega w następujących etapach:

- ustalenie przez eksperta oceny $r_{ij} \in \{1, 2, \dots, 9\}$ preferencji i -tego czynnika w stosunku do czynnika j -tego, przy czym $r_{ii} = 1$, a ocena musi być dokonana dla każdych dwóch wartości $\{i, j\}$, gdzie $i, j = 1, \dots, n$, a n jest liczbą rozpatrywanych czynników
- dla ustalonej przez eksperta wartości r_{ij} przyjęcie, że:

$$r_{ji} = \frac{1}{r_{ij}} \quad (1)$$

- umieszczenie otrzymanych liczb w macierzy ocen:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Poprawność ustalenia przez eksperta ocen par czynników wymagałaby zachowania właściwości przechodniości ocen, tzn. spełnienia warunku

$$r_{ij} = r_{ik} \cdot r_{kj} \text{ dla } i, j, k = 1, \dots, n. \quad (3)$$

Mówi się wtedy o ocenach zgodnych [7]. Jednak w przypadku ogólnym macierz R nie ma takiej właściwości. Natomiast na podstawie tej macierzy należy wyznaczyć wektor $p = \langle p_1, \dots, p_n \rangle^T$, którego wartości oznaczają wynikowe znormalizowane oceny ważności (range) kolejnych czynników, pozwalając tym samym na ich uporządkowanie zgodnie z wartościami malejącymi, a tym samym wskazanie najlepszego – w rozpatrywanym sensie – czynnika, np. na ustalenie najlepszego systemu klasy ERP. Właściwość zgodności ocen ma macierz:

$$P = \begin{bmatrix} p_1 / p_1 & p_1 / p_2 & \dots & p_1 / p_n \\ p_2 / p_1 & p_2 / p_2 & \dots & p_2 / p_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_n / p_1 & p_n / p_2 & \dots & p_n / p_n \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Wartości tej macierzy nie są znane. W metodzie AHP zakłada się, że macierz R jest zniekształceniem macierzy P , należy więc wyznaczyć macierz P aproksymującą macierz R . Jedną z metod tej aproksymacji, zaproponowaną przez Saaty'ego [12], opiera się na właściwościach macierzy P . Rząd tej macierzy jest równy 1, co wynika bezpośrednio z definicji (4). Ponadto zachodzi związek:

$$P \cdot p = n \cdot p. \quad (5)$$

Dodatkowo wszystkie elementy p_i leżące na diagonalu macierzy P są równe jedności, a tym samym suma ich wartości własnych równa jest wymiarowi macierzy:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n. \quad (6)$$

Z powyższych faktów wynika, że liczba n jest wartością własną macierzy P i to jedyną różną od zera. W takim razie jest maksymalną wartością własną. Metoda polega więc na znalezieniu takiego wektora p , który odpowiada maksymalnej wartości własnej λ_{\max} macierzy R . Po przekształceniach otrzymuje się [10]:

$$p_i = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \text{ gdzie } i = 1, \dots, n, \quad (7)$$

czyli $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

Z właściwości macierzy R wynika, że jej maksymalna wartość własna $\lambda_{\max} \geq n$. Wielkość maksymalnej wartości własnej macierzy może więc odzwierciedlać stopień niezgodności tej macierzy.

Saaty [12] proponuje, aby analizować indeks zgodności ocen *C.I.* (*consistency index*) zdefiniowany następująco:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}. \quad (8)$$

Dla wyznaczenia wartości współczynnika *C.I.* oblicza się maksymalną wartość własną macierzy R na podstawie wzoru:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \left(p_i \cdot \sum_{j=1}^n r_{ji} \right). \quad (9)$$

Saaty wysunął propozycję, aby oceny ekspertów uznać za poprawne, jeśli $C.I. < 0,1$. W [14] zwrócił uwagę na to, że ocena poprawności ocen ekspertów powinna być związana z wymiarem macierzy R , gdyż przy wzroście wymiarów macierzy możliwość niezgodności ocen też rośnie. Zaproponował więc odniesienie współczynnika zgodności do średnich wartości tego

współczynnika otrzymywanych dla macierzy R po wstawianiu do niej dopuszczalnych elementów w sposób losowy z równomiernym rozkładem prawdopodobieństwa. Otrzymałą wartość oczekiwaną oznaczył symbolem $R.I.$ i nazwał indeksem losowym (*random index*). Autor przeprowadził dużą liczbę losowań i podał wartości indeksu $R.I.$ dla n od 1 do 15. Fragment otrzymanych wyników przedstawia tabela:

n	1	2	3	4	5	6	7
$R.I.$	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35

Znormalizowana w ten sposób ocena poprawności wartości zawartych w macierzy porównań parami oceniana jest współczynnikiem spójności $C.R.$ (*consistency ratio*):

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (10)$$

Zdaniem autora metody wartość

$$C.R. < 0,1 \quad (11)$$

świadczy o zadowalającym stopniu zgodności ocen dokonanych przez eksperta. Większe wartości wskazują na niekonsekwencje w porównywaniu alternatyw parami. Warto dodatkowo zauważyć, że przy $n > 4$ rozpatrywanych czynników bardziej wymagającym kryterium oceny od $C.R.$ jest $C.I.$ (ze względu na wartości $R.I. > 1$).

5.3. Wielokryterialna ocena wariantów decyzyjnych

Przyjmijmy, że rozpatrywanych jest m kryteriów (celów pośrednich) $\langle K_1, \dots, K_m \rangle$. Na podstawie ocen eksperta określona została macierz preferencji R^k zdefiniowana jak poprzednio. Następnie wyznaczony został wektor $p^k = \langle p_1^k, \dots, p_m^k \rangle^T$ odpowiadający maksymalnej wartości własnej λ_{\max}^k , którego elementy oznaczają wagi (rangę) poszczególnych kryteriów z punktu widzenia globalnego celu oceny n wariantów decyzyjnych (czynników) $\langle E_1, \dots, E_n \rangle$. W metodzie AHP eksperci oceniają preferencje dla wszystkich par wariantów decyzyjnych oddzielnie z punktu widzenia każdego kryterium, przy czym ocena preferencji dla każdego kryterium dokonywana jest tylko przez jednego eksperta. Niech macierz $R_k = [r_{ij}^k]_{n \times n}$ będzie macierzą preferencji wariantów decyzyjnych z punktu widzenia k -tego kryterium ($k = 1, \dots, m$) spełniającą właściwość (1), natomiast

$p_k = \langle p_{1k}, \dots, p_{nk} \rangle^T$ oraz $\lambda_{k \max}$ odpowiadającymi jej odpowiednio wektorem własnym i maksymalną wartością własną wyznaczonymi zgodnie z wzorami (7) i (9).

Wielokryterialna ocena wariantów decyzyjnych w metodzie AHP polega na wyznaczeniu wektora $q = \langle q_1, \dots, q_n \rangle^T$, którego elementy oznaczają rangi kolejnych czynników uwzględniające wszystkie rozpatrywane kryteria. Elementy wektora q obliczane są zgodnie ze wzorem:

$$q_i = \sum_{j=1}^m (p_j^k \cdot p_{ij}) \quad \text{gdzie } i = 1, \dots, n. \quad (12)$$

Przy obliczaniu wartości wektorów p^k oraz p_k ($k = 1, \dots, m$) każdorazowo oblicza się indeks zgodności ocen odpowiednio $C.I.^k$ oraz $C.I._k$ ($k = 1, \dots, m$) zgodnie z wzorem (8) w celu sprawdzenia, czy spełnia on warunek zgodności ocen dokonanych przez eksperta.

W przypadku rozpatrywania większej liczby poziomów hierarchii postępowanie opisane powyżej przeprowadza się dla każdego poziomu oddzielnie, uwzględniając w procesie agregacji te czynniki z poziomu niższego, które wpływają na rangi analizowanego czynnika poziomu wyższego.

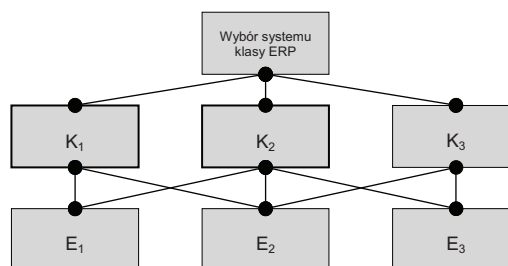
5.4. Przykład wielokryterialnego wyboru systemu klasy ERP

Na potrzeby niniejszego artykułu przyjęto kryteria (cele pośrednie) K_1, K_2, K_3 :

- K_1 – czas wdrożenia,
- K_2 – elastyczność systemu,
- K_3 – kompletność funkcjonalna.

Ocenie poddane zostaną programy E_1, E_2, E_3 :

- E_1 – SAP ERP,
- E_2 – BPSC Impuls 5,
- E_3 – Infor ERP LN.



Rys. 1. Struktura procesu decyzyjnego wyboru systemu klasy ERP dla hierarchii dwupoziomowej

Ze względu na przejrzystość opracowania macierze ocen R oraz obliczenia wektorów uszeregowania zostały przedstawione w formie poniższych tabel. Oceny ekspertów znajdują się powyżej przekątnych macierzy ocen, a poniżej ich odwrotności.

Które z kryteriów jest bardziej preferowane ze względu na cel nadrzędny (optymalny wybór systemu klasy ERP):				
	K_1	K_2	K_3	p_j^K
K_1	1	2	5	0,5559
K_2	1/2	1	5	0,3537
K_3	1/5	1/7	1	0,0904

$$\lambda_{\max}^K = 3,071; C.I. = 0,03542; R.I. = 0,52;$$

$$C.R. = 0,06813$$

Który z wariantów jest bardziej preferowany ze względu na czas wdrożenia (K_1):				
	E_1	E_2	E_3	p_{i1}
E_1	1	1/3	1/7	0,0882
E_2	3	1	1/3	0,2431
E_3	7	3	1	0,6687

$$\lambda_{1\max} = 3,011; C.I. = 0,00539; R.I. = 0,52;$$

$$C.R. = 0,01037$$

Który z wariantów jest bardziej preferowany ze względu na elastyczność systemu (K_2):				
	E_1	E_2	E_3	p_{i2}
E_1	1	1/6	1/2	0,1180
E_2	6	1	2	0,6127
E_3	2	1/2	1	0,2693

$$\lambda_{2\max} = 3,026; C.I. = 0,01283; R.I. = 0,52;$$

$$C.R. = 0,02467$$

Który z wariantów jest bardziej preferowany ze względu na kompletność funkcjonalną (K_3):				
	E_1	E_2	E_3	p_{i3}
E_1	1	2	8	0,5676
E_2	1/2	1	9	0,3764
E_3	1/7	1/9	1	0,0561

$$\lambda_{3\max} = 3,102; C.I. = 0,05119; R.I. = 0,52;$$

$$C.R. = 0,09844$$

Obliczenia oraz otrzymany wektor uszeregowania wariantów q zostały zaprezentowane w poniższej tabeli:

p_j^K			q_j	Warianty
0,5559	0,3537	0,0904		
p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}		
0,0882	0,1180	0,5676	0,1420	E_1
0,2431	0,6127	0,3764	0,3859	E_2
0,6687	0,2693	0,0561	0,4721	E_3

Najwyższą wartość uzyskał element q_3 wektora q , co oznacza, że preferowanym systemem jest Infor ERP LN (E_3). Wszystkie indeksy zgodności ocen spełniają warunek (11), co świadczy o wystarczającym stopniu zgodności ocen ekspertów.

6. Podsumowanie

Celem artykułu było zaprezentowanie problematyki związanej z procesem decyzyjnym dotyczącym wyboru systemu klasy ERP w przedsiębiorstwie, a następnie przedstawienie koncepcji mówiącej, że w zakresie realizacji powyższego celu zasadne jest zastosowanie metody AHP. Wsparcie procesów decyzyjnych metodą AHP daje bowiem szereg korzyści [15]:

- pozwala spojrzeć na problem decyzyjny z innej perspektywy, poprzez uporządkowanie kryteriów i wariantów w ramach hierarchii
- redukuje problem wielokryterialny do szeregu prostych porównań parami poszczególnych kryteriów i wariantów
- daje możliwość łącznej analizy kryteriów wymiennych i niewymiennych oraz uzyskania zagregowanej oceny wariantów
- eliminuje ryzyko wpływu na decyzję uprzedzeń czy manipulacji
- pozwala racjonalnie uzasadnić podjętą decyzję
- umożliwia tzw. analizę czułości (wpływu zmian poszczególnych ocen cząstkowych na ostateczną decyzję).

Należy przy tym zaznaczyć, że aproksymacja macierzy P z wykorzystaniem maksymalnej wartości własnej jest metodą, w stosunku do której sformułowano wiele uwag krytycznych. Do najważniejszych z nich należą [7]:

- metoda nie może być bezpośrednio stosowana w przypadkach, gdy ekspert nie jest w stanie lub nie chce podać oceny preferencji czynników, czyli w przypadkach braku niektórych ocen
- po dokonaniu transpozycji macierzy R i zastosowaniu metody maksymalnej wartości własnej można otrzymać inny wektor p rangujący poszczególne czynniki, niż gdy przeprowadzimy aproksymację bez transpozycji
- dodanie nowego czynnika w procesie oceny może spowodować inne niż bez tego czynnika uporządkowanie czynników pozostałych.

Alternatywnymi metodami aproksymacji w stosunku do metody maksymalnej wartości własnej są między innymi metoda najmniejszych kwadratów oraz metoda logarytmicznych najmniejszych kwadratów.

7. Bibliografia

- [1] O. Downarowicz, J. Krause, M. Sikorski, W. Stachowski, *Zastosowanie metody AHP do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego*, PG, Gdańsk, 2000.
- [2] P.R. Drake, *Using the Analytic Hierarchy Process In Engineering Education*, TEMPUS Publication, 1998.
- [3] J. Gałkowski, *Rozwiązanie ERP. Trudny wybór*, ALDEA IT Consulting (<http://publikacje.aldea.pl/index.php?id=6>), 2004.
- [4] E. Jaworska, *Produkcja wspomagana bitami*, MSI (http://www.erp-view.pl/erp/produkcja_wspomagana_bitami.html), 2005.
- [5] Z.J. Klonowski, *Systemy informatyczne zarządzania przedsiębiorstwem. Modele rozwoju i właściwości funkcjonalne*, Oficyna Wydawnicza PW, Wrocław, 2004.
- [6] I. Kuterek, *Kryteria wyboru – Zintegrowanego Systemu Wspomagającego Zarządzanie (ERP)*, IMG Polska (http://informatyzacja.cire.pl/odcinki.html?d_id=392&d_typ=5).
- [7] M. Kwiesielewicz, *Analityczny hierarchiczny proces decyzyjny. Nierozmyte i rozmyte porównania parami*, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa, 2002.
- [8] P. Lech, *Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II*, Difin, Warszawa, 2003.
- [9] A. Lenart, *Zintegrowane systemy informatyczne klasy ERP. Teoria i praktyka na przykładzie systemu BAAN IV*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2005.
- [10] M. Miszyński, *Wielokryteriowa optymalizacja dyskretna (WOD): wybrane metody*, KBO UŁ, 2007.
- [11] Z. Prętczyński, M. Materny, Z. Kotulski, *HCI w systemach wspomagających zarządzanie przedsiębiorstwem*, Proceedings of the conference „Informatics as a tool for management in 21st Century” organized by Polish-Japanese Institute of Computer Technology and Warsaw University Warsaw, May 31st 2003.
- [12] T.L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, Mc-Graw Hill, New York, 1980.
- [13] T.L. Saaty, „Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process”, *RACSAM Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat.* vol. 102 (2), 2008, pp. 251–318.
- [14] T.L. Saaty, M.S. Ozdemir, *Why the magic number seven plus or minus two*, University of Pittsburgh, 2004.
- [15] M. Szymaczek, *AHP pomoże podjąć decyzję*, Akademia Wiedzy BCC, 2008.
- [16] T. Trzaskalik, *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem*, PWE, Warszawa 2008.
- [17] R. Zdanowicz, „Dobór oprogramowania do modelowania i symulacji procesów wytwarzania”, *Pomiary Automatyka i Robotyka*, 1/2006.

An AHP method to ERP system selection

A. CHOJNACKI, O. SZWEDO

An enterprise resource planning (ERP) is an enterprise-wide application software package that integrates all necessary business functions into a single system with a common database. In order to implement an ERP project successfully in an organization, it is necessary to select a suitable ERP system. This paper presents a model, which is based on AHP – the multi-hierarchical method to analysis of decision problems.

Keyword: AHP, ERP, optimization