

Systemy wspomaganie decyzji strategicznych oparte na roadmappingu technologicznym

Andrzej M.J. Skulimowski, Przemysław Pukocz

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział EAliE, Katedra Automatyki

Streszczenie: Artykuł poświęcony jest metodologii projektowania procesów i systemów wspomaganie decyzji strategicznych, zwłaszcza dotyczących zagadnień technologii informatycznych. Przedstawiono propozycję wykorzystania w tym celu schematu tzw. roadmappingu technologicznego. Roadmapping wprowadzony został przez duże korporacje elektroniczne w USA w latach 70. ubiegłego wieku jako narzędzie planowania strategicznego wspomagającego decyzje inwestycyjne w zakresie badań i technologii. W artykule sformułowano typowe problemy decyzyjne, które mogą być rozwiązywane przy pomocy roadmappingu, w szczególności problem technologicznego planowania strategicznego w ujęciu umożliwiającym wykorzystanie prognoz technologicznych – wyniku badań foresightowych. W kontekście tych zastosowań pokazano ogólne zasady tworzenia diagramów roadmappingowych oraz procesu wspomaganie decyzji strategicznych. W przedstawionym tu podejściu, roadmapping powiązany jest z detekcją i wyceną opcji rzeczywistych występujących w procesach wdrażania innowacji technologicznych, organizacyjnych i produktowych. W części końcowej zamieszczono przykład praktycznego wykorzystania roadmappingu do planowania rozwoju produkcji sprzętu komputerowego.

Słowa kluczowe: systemy wspomaganie decyzji, analiza wielokryterialna, planowanie strategiczne, roadmapping technologiczny, foresight technologii informatycznych, bazy wiedzy

1. Wprowadzenie

Za szybkim rozwojem teorii i metod wspomaganie decyzji nie nadąża metodyka ich zastosowań w praktyce. Decydencki w przedsiębiorstwach technologicznych potrzebują często wsparcia eksperckiego w celu zapewnienia sprawnego, elastycznego i dynamicznego procesu podejmowania decyzji, warunkującego powodzenie ich planów inwestycyjnych. Podejmowanie decyzji strategicznych w większości nowoczesnych organizacji opiera się na analizie trendów i scenariuszy. Wykorzystuje się jednocześnie takie metody wspomagające podejmowanie decyzji jak drzewa decyzyjne, diagramy wpływu (*impact and influence diagrams*, por. [7]), analiza wielokryterialna [11, 19], analiza kluczowych technologii i czynników, analiza SWOTC [14, 15, 17] i in. Brak jednak nadal praktycznych i powszechnie akceptowanych metod wspomaganie decyzji dostosowanych do specyfiki problemów decyzyjnych związanych z transferem i komercjalizacją technologii.

Celem bezpośrednim takich metod powinno być:

- pozyskiwanie, gromadzenie i przetwarzanie wiedzy o czynnikach otoczenia (gospodarczego, ekologicznego, społecznego, naukowo-technicznego itp.), w jakim funkcjonują organizacje wdrażające nowe technologie i opra-

cowywanie na tej podstawie ich modeli ilościowych i jakościowych,

- badanie wzajemnych zależności czynników otoczenia organizacji, w tym identyfikacja ich dynamiki na podstawie wcześniejszych obserwacji, z zastosowaniem modeli teorii gier,
- klasyfikacja czynników sprawczych procesów zachodzących w otoczeniu, umożliwiająca określenia przyszłych sposobności podejmowania decyzji związanych z wpływem na otoczenie i ich konsekwencji,
- tworzenie wizji przyszłości (prognozy, trendy, scenariusze) ogólnych: organizacji i jej otoczenia oraz szczegółowych, związanych z rozwojem konkretnych technologii lub produktów.

Celem długofalowym budowy strategii korporacyjnej jest opracowanie reguł podejmowania decyzji optymalizujących istotne dla organizacji kryteria jakości. W zależności od sformułowania problemu decyzyjnego, reguły te mogą mieć postać planu strategicznego, listy priorytetów lub planu operacyjnego związanego z konkretną technologią czy produktem.

Pomimo znacznego rozwoju metodologii wspomaganie decyzji istnieją wciąż zasadnicze braki związane z adekwatnością modeli otoczenia społeczno-ekonomicznego w transferze technologii, różnorodnością modeli ewolucji technologicznej w różnych dziedzinach techniki, brak także standaryzacji stosowanych metod wspomaganie decyzji. Niezwykle ważnym, lecz często pomijanym zagadnieniem jest opracowanie algorytmu modyfikacji planu strategicznego lub innego planu decyzyjnego, w zależności od wystąpienia określonych scenariuszy przyszłych zdarzeń.

Przykładem sytuacji, w której firmy innowacyjne powinny tworzyć plan strategiczny jest poszukiwanie nowych źródeł finansowania dla projektów inwestycyjnych i rozwojowych. Decydenci powinni dogłębnie rozważyć podjęcie takich działań jak: wejście na giełdę, pozyskanie inwestora strategicznego, emisję obligacji, kredyt bankowy, finansowanie typu *mezzanine* lub poprzez fundusz *venture capital* itp. Dla każdej z tych alternatyw i ich dopuszczalnych kombinacji oraz dla określonych scenariuszy otoczenia należy przeanalizować wpływ planowanych decyzji na obecną i przyszłą sytuację organizacji. Pod uwagę muszą być brane czynniki rynkowe (chłonność rynku, analiza konkurencji), charakterystyki finansowanych technologii (czas życia, możliwość generowania produktów rynkowych, wpływ rozwoju nauki na możliwość rozwoju i odsprzedaży technologii), zależność technologii od uwarunkowań legislacyjnych, zwłaszcza związanych z ochroną środowiska, wpływ podejmowanych decyzji na zjawiska społeczne (*outsourcing*, redukcja lub wzrost zatrudnienia, zaspokojenie istniejących lub powstanie nowych potrzeb) i in. Zagadnienia takie cechują

się olbrzymim poziomem złożoności, a ich dogłębna i systematyczna analiza przerasta możliwości większości organizacji. Z tego względu jednym z kierunków rozwoju systemów wspomagania decyzji strategicznych jest redukcja analizy otoczenia do zależności najbardziej istotnych z punktu widzenia danej organizacji i konkretnego problemu decyzyjnego.

Jedną z metod wspomagania złożonych strategicznych procesów decyzyjnych jest tzw. *roadmapping*, określane też w polskiej literaturze metodą *map drogowych*, które to dosłowne tłumaczenie nie oddaje jednak w pełni sensu tej metody. Istotą *roadmappingu* jest,

- podział otoczenia analizowanej organizacji na warstwy, odpowiadające wzajemnie powiązanym i często jednorodnym grupom czynników,
- dekompozycja analizy zależności i uwarunkowań na zależności wewnątrz warstw i zależności międzywarstwowe, przy czym dokonywana jest próba takiego uszeregowania warstw, by czynniki z warstwy n powiązane były jedynie z czynnikami z warstw $(n-1)$ i $(n+1)$,
- uwzględnienie związków czasowych pomiędzy czynnikami (związki kauzalne, związki probabilistyczne, trendy, scenariusze, opisy dynamiki itp.),
- tworzenie diagramów zależności czynników uwzględniające różne relacje i ich gradację (ze względu na pozorne podobieństwa do sieci połączeń drogowych w problemie wyboru najkrótszej ścieżki nazywane *roadmaps*; również podobieństwo do diagramów PERT wewnątrz każdej z warstw nie oddaje w pełni idei *roadmappingu*),
- identyfikację na diagramach punktów kluczowych decyzji, rozwiązywanie skojarzonych z nimi problemów optymalizacji i wspomaganie decyzji.

Inną cechą szczególną opisywanego podejścia jest jednoczesne wykorzystanie wiedzy formalnej i ilościowej oraz niesformalizowanej wiedzy eksperckiej i menedżerskiej. Stosowane są tu podejścia znane z metodologii foresightu, takie jak ankiety delfickie, panele eksperckie, analiza skojarzeń (tzw. „burze mózgów”) itp., przez co możliwe jest szersze i bardziej śmiałe spojrzenie w przyszłość, niż w przypadku metod bazujących wyłącznie na wiedzy formalnej. W niniejszym artykule pokazujemy tylko wybrany fragment możliwości aplikacyjnych *roadmappingu*, a mianowicie *Roadmapping Technologiczny*, ukierunkowany na technologie informatyczne i na problemy decyzyjne związane z ich wdrażaniem i komercjalizacją. Informacje o dalszych obszarach stosowania tej metody w wielu sferach życia gospodarczego, politycznego i społecznego znaleźć można np. [2–5, 9].

Pojęcie *roadmappingu* weszło do języka potocznego i używane jest obecnie w różnorodnych kontekstach. W niniejszym artykule *roadmapping* jest narzędziem do:

- znajdowania relacji pomiędzy poszczególnymi elementami obiektów złożonych związanych z transferem technologii oraz do analizy związków przyczynowo-skutkowych
- adaptacyjnego planowania strategicznego w zagadnieniach technologicznych,
- wspomaganie decyzji, poprzez odpowiednią strukturyzację wiedzy o analizowanym problemie,

z punktu widzenia organizacji zajmujących się wspomaganie rozwoju technologii i badań aplikacyjnych, centrów transferu technologii oraz organizacji tworzących lub wdrażających nowe technologie.

W innych organizacjach, takich jak instytucje finansowe, agencje rządowe, instytucje badawcze, *roadmapping* może być wykorzystany również do dalszych zadań, do których należy m.in. budowa strategii naukowo-badawczych i innowacyjnych [3, 13–15, 23].

Ze względu na różnorodność skali i tematyki zastosowań brak jednolitego ujęcia metodycznego *roadmappingu*. Istnieje wiele wariantów tej metodologii różniących się ilością i rodzajem warstw, ilością analizowanych czynników, rodzajem rozważanych związków czasowych i kauzalnych, horyzontem czasowych decyzji itp., zależnie od dziedziny problemu, celu analiz, czy grupy docelowej. W związku z tym opisany dalej proces *roadmappingu* należy traktować jako pewien schemat postępowania, który pozwala tworzyć struktury relacyjne pomocne w modelowaniu i analizie rozwiązywanego problemu decyzyjnego. Opisany tu proces *roadmappingu* stanowić będzie schemat implementacji interakcyjnych metod wspomaganie decyzji w planowaniu rozwoju technologii informatycznych.

2. Sformułowanie problemu optymalnego planowania strategicznego

Jak wspomnieliśmy w poprzedniej sekcji, jednym z głównych zastosowań procesu *roadmappingu* jest wspomaganie procesu planowania technologicznego. Działanie to zyskuje na znaczeniu w wyniku nasilania się walki konkurencyjnej w globalnej gospodarce, zarówno na poziomie przedsiębiorstw (planowanie rozwoju produktów i ekspansji rynkowej), organizacji między- i ponadnarodowych, państw i regionów (polityka technologiczna, naukowa), jak również instytucji naukowo-badawczych (polityka badawcza, pozyskiwanie środków na projekty badawcze związane z rozwojem technologii).

W wymienionych wyżej organizacjach *roadmapping* może pełnić dwie zasadnicze funkcje:

- być ekwiwalentem lub sposobem organizacji i praktycznego wykorzystania prognoz wykonywanych w celu wspomaganie podejmowania decyzji,
- stanowić podstawę foresightu prowadzonego dla zaspokojenia długofalowych poznawczych i strategicznych potrzeb organizacji.

Zastosowania *roadmappingu* technologicznego w realizacji powyższych funkcji mogą przyjmować jedną z następujących form:

- a) modelowania ewolucji technologii wykorzystywanych przez organizację, w tym zwłaszcza technologii produktowych i procesowych,
- b) prognozowania zapotrzebowania na technologie i produkty,
- c) planowania i optymalizacji strategii zapewniających rozwój technologiczny organizacji.

W problemie c) zastosowanie *roadmappingu* związane jest z rozwiązaniem pewnego problemu optymalizacji wielokryterialnej, a mianowicie wybór strategii rozwoju dokonywany jest przy założeniu jednoczesnej optymalizacji kilku kryteriów, takich jak zysk w funkcji czasu (problem optymalizacji trajektorii), ryzyko związane z realizacją określonej strategii, oraz pozycja strategiczna firmy (w tym pozycja na rynku). Różne organizacje mogą ponadto stosować specyficzne kryteria dodatkowe.

Sformułujemy teraz podstawowy problem planowania strategicznego, który może być rozwiązywany technikami roadmappingu. Może on być bezpośrednio zastosowany przy komercjalizacji innowacji technologicznych, produkowych i organizacyjnych. Użyte poniżej pojęcie produktu stanowi przy tym pewne uproszczenie, gdyż produktem takim może być również technologia, jak też – w określonych przypadkach - produkt utożsamiany może być z technologią służącą do jego wytwarzania. Przez produkt może być tu także rozumiany pewien zbiór komplementarnych produktów wytwarzanych przy użyciu tej samej technologii, lub w wyniku tego samego procesu inwestycyjnego.

Problem 1. Przygotowanie produktu do wprowadzenia na rynek

Przedsiębiorstwo stoi przed zadaniem opracowania produktu, który będzie konkurencyjny na rynku. O sukcesie rynkowym produktu, przy założeniu wcześniejszej realizacji inwestycji technologicznej, decydować będą następujące kryteria:

- czas t_0 wprowadzenia produktu na rynek (liczony jako kryterium względne, w odniesieniu do momentu rozpoczęcia działań wdrożeniowych lub do znanego lub szacowanego czasu wprowadzenia podobnych produktów przez konkurentów,
- średni jednostkowy koszt wytworzenia produktu $c(k)$ w k -tym okresie prognozowania, $[t_k, t_k + \Delta t)$, liczony bez kosztów amortyzacji inwestycji technologicznej,
- przewidywany okres pozostawiania produktu na rynku, $T - t_0$, gdzie T jest oczekiwanym terminem zakończenia produkcji,
- oszacowanie popytu $s(k)$ na produkt ze strony klientów w k -tym okresie,

$$s(k) := \sum_i s_i(\rho_i(k), \sigma_i(k)),$$

gdzie $\rho_i(k)$ jest ceną produktu na i -tym rynku, $\sigma_i(k)$ jest oszacowaniem wskaźnika pozycji rynkowej produktu na i -tym rynku w okresie $(t_k, t_k + \Delta t)$, zależną m.in. od stopnia zaspokajania potrzeb klientów i obecności produktów konkurencyjnych, a sumowanie dokonywane jest po wszystkich rynkach, na których sprzedawany będzie produkt.

Oszacowanie wartości powyższych kryteriów wymaga wykonania badania poszczególnych rynków produktu, analizy konkurencji i analizy technologii aktualnie dostępnych i spodziewanych w okresie objętym planowaniem.

Ostateczna decyzja o wdrożeniu inwestycji technologicznej zależy od oceny parametrów ekonomicznych produktu w całym jego cyklu życia, jako kryteria ostateczne bierze się tu zazwyczaj pod uwagę zdyskontowane przepływy pieniężne netto (*Net Present Value*) związane z wdrożeniem i eksploatacją nowej technologii [17]:

$$NPV(I, t, d) := C(0) + \sum_{k=1}^t \frac{C(k)}{\prod_{1 \leq j \leq k} (1 + d_j)}, \quad (1)$$

gdzie: I – inwestycja technologiczna scharakteryzowana przez przepływy pieniężne $(C(0), \dots, C(t))$ w kolejnych okresach obrachunkowych ($C(0)$ jest inwestycją początkową), t – ilość jednostek czasu od momentu rozpoczęcia inwestycji techno-

logicznej t_0 aż do planowanego terminu zakończenia produkcji T , $d = (d_1, \dots, d_t)$ – średnie oczekiwane stopy dyskontowe w kolejnych okresach obrachunkowych.

Warto dodać, że stosowane najczęściej modele efektywności inwestycji ze stałą stopą dyskontową w sytuacji dużej zmienności stóp mogą być źródłem poważnych błędów gospodarczych.

Na przepływy gotówki $C(k)$ w okresie k składają się przychody ze sprzedaży generowanej przez inwestycję $C_1(k) := N_1(k) * p(k)$, pozostałe przychody z inwestycji, w tym przychody z reinwestowania nadwyżek gotówki $C_2(k)$, koszty inwestycji $C_3(k)$, koszty stałe utrzymania produkcji $C_4(k)$, oraz zmienne koszty produkcji $C_5(k) := N_2(k) * c(k)$ zależne od jej wielkości, tj.

$$C(k) = N_1(k) * p(k) + C_2(k) - C_3(k) - C_4(k) - N_2(k) * c(k) \quad (2)$$

dla $k = 1, \dots, t$

Wszystkie wartości występujące w równaniu (2) należy traktować jako pewne zmienne losowe o rozkładach oszacowanych z próby, na podstawie badań rynku i opartych na doświadczeniu heurystyk. W praktyce wzory (1)–(2) stosuje się do wartości oczekiwanych, a analizę stochastyczną redukuje się do analizy wariancji lub innych miar ryzyka.

Zauważmy, że w kryteriach (1) i (2) uwzględnione zostały wartości kryteriów k_0 , $T - k_0$, $c(t)$ i $s(t)$. To ostatnie zawarte jest w prognozie sprzedaży $N_1(t)$. Kryterium (1) może być zmodyfikowane poprzez uwzględnienie opcji rzeczywistych (por. [17], do tak zmodyfikowanej funkcji stosowane bywa oznaczenie $ENPV(I, t, d)$), co pozwala na bardziej adekwatne modelowanie sytuacji strategicznej organizacji wdrażającej nowy produkt, czy technologię. Funkcja $s(t)$ staje się wtedy kryterium wektorowym, skalaryzowanym poprzez wycenę opcji rzeczywistych.

3. Roadmapping jako schemat rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych

Jak wspomnieliśmy w poprzedniej sekcji, kolejną grupę kryteriów optymalizowanych w procesie strategicznego planowania technologicznego są miary ryzyka inwestycji. Można tu zastosować, zamiennie lub równocześnie:

- wariancję lub semiwariancję funkcji $NPV(I, t, d)$ (1) lub rozszerzeń $NPV(I, t, d)$ zawierających opcje rzeczywiste (por. [17]),
- prawdopodobieństwo utraty płynności organizacji podczas inwestycji, wyznaczone na podstawie analizy przepływów pieniężnych $C(k)$ (tzw. *gap analysis*, [25]),
- prawdopodobieństwo osiągnięcia celów inwestycji technologicznej, które wpływa na odchylenia NPV od wartości określonych w analizie rynku.

Dodatkowo, we wspomaganie decyzji związanych z planowaniem technologicznym, komercjalizacją technologii i rozwojem produkcji uwzględnia się cele i kryteria strategiczne, takie jak zgodność inwestycji z celami strategicznymi firmy, opanowanie nowych rynków, osiągnięcie przewagi konkurencyjnej, stopień osiągnięcia innego celu strategicznego, takie-

go jak pozyskanie klientów strategicznych itp. Wskaźniki te mogą mieć postać punktów lub (częściej) zbiorów referencyjnych (por. [11, 12]).

W planowaniu technologicznym zmierzającym do optymalizacji powyższych kryteriów muszą być brane pod uwagę także ograniczenia. Pierwszym z nich jest ocena możliwości implementacji wybranej technologii w określonych ramach finansowych i czasowych oraz przy dostępności pozostałych zasobów niezbędnych do wdrożenia. Innym ograniczeniem może być możliwość stworzenia odpowiedniego systemu dystrybucji i serwisowania produktu. Konieczność wzięcia pod uwagę wielu kryteriów jednocześnie przekształca problem (1)–(2) w problem optymalizacji wielokryterialnej. Natomiast założenie, że w problemie planowania produkcji optymalizujemy kryteria efektywności finansowej takie jak NPV (1) oraz kryteria związane z ryzykiem, traktowane jako funkcje czasu końcowego T , prowadzi do sformułowania dyskretnego problemu dynamicznej optymalizacji wielokryterialnej (problem optymalizacji trajektorii z czasem dyskretnym):

$$[J \ni I \rightarrow (NPV(I, t_1, \cdot), \dots, NPV(I, t_2, \cdot))] \rightarrow \max, \quad (3)$$

gdzie J jest zbiorem dopuszczalnych (rozważanych) strategii technologicznych, t_1 i t_2 odpowiadają odpowiednio minimalnemu i maksymalnemu dopuszczalnemu terminowi zakończenia okresu rozliczania inwestycji. W problemie (3) stopa dyskontowa nie jest zmienną decyzyjną, lecz zewnętrzną zmienną losową, której wartości szacowane są w procesie prognozowania. Zauważmy ponadto, że z postaci funkcji (1) wynika, że (3) równoważny jest problemowi:

$$[J \ni I \rightarrow (NPV(I, t_1, \cdot), \frac{C(t_1 + 1)}{\prod_{1 \leq j \leq t_1 + 1} (1 + d_j)}, \dots, \frac{C(t_2)}{\prod_{1 \leq j \leq t_2} (1 + d_j)})] \rightarrow \max, \quad (4)$$

który w bardziej intuicyjny sposób wiąże kryteria z przekryteriami. Ostatecznie, problem optymalizacji wielokryterialnej związany z wyborem strategii technologicznej może być zapisany jako

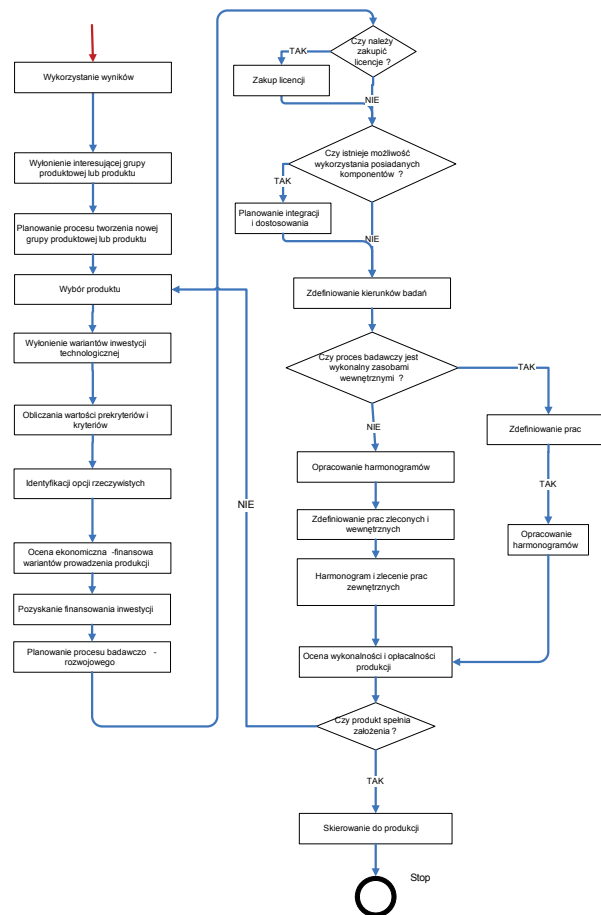
$$\begin{aligned} [J \ni I \rightarrow (NPV(I, t_1, \cdot), \dots, NPV(I, t_2, \cdot))] &\rightarrow \max \\ [J \ni I \rightarrow (R(I, t_1, \cdot), \dots, R(I, t_2, \cdot))] &\rightarrow \min \\ [J \ni I \rightarrow (S(I, t_1, \cdot), \dots, S(I, t_2, \cdot))] &\rightarrow \max \end{aligned} \quad (5)$$

Określenie zarówno wartości przekryteriów, jak i zależności pomiędzy przekryteriami, a wartościami *cash-flow* i w konsekwencji kryterium NPV, a także miar ryzyka $R(I, t)$ i niepodających się łatwo opisowi formalnemu kryteriów pozycji strategicznej S w problemie (5) wymaga zbadania zależności pomiędzy technologiami, produktami, rynkami zbytu i prognozami otoczenia rynkowego, ekonomicznego i politycznego, oraz opracowania i zastosowania prognoz technologicznych. Wszystkie te elementy i czynniki są wzajemnie powiązane, przy czym w problemach praktycznych ilość powiązań jest bardzo duża, a ich charakter jest zwykle niejednorodny: w tym samym problemie mogą występować powiązania deterministyczne, stochastyczne, rozmyte i in.

Problem (5) jest teoretycznym modelem zastosowań *roadmappingu* w problemach NPD. W Sekcji 5 przedstawimy przykład związany z produkcją sprzętu obliczeniowego.

4. Zastosowanie roadmappingu do planowania rozwoju technologii

Analiza opisanych wyżej zależności i powiązań dokonywana jest w procesie *roadmappingu* w sposób heurystyczny, lecz systematyczny i możliwy do opisu algorytmicznego. Stosować można zarówno metody formalnego [22], jak i niesformalizowanego pozyskiwania wiedzy o otoczeniu problemu (5), która zostaje uwzględniana przy oszacowaniach $C(k)$, R , S i reguł kompromisowego wyboru strategii technologicznej. W praktyce *roadmapping* wymaga ilościowej i jakościowej analizy dużej ilości zdarzeń z różnych dziedzin, które nie muszą być związane bezpośrednio z rozwojem konkretnego produktu. Analiza powinna objąć całą sferę działalności biznesowej przedsiębiorstwa, a problemem do rozwiązania może być wybór strategii inwestycji technologicznych w sytuacji ograniczonych zasobów, przy założeniu maksymalizacji przyszłych korzyści (finansowych, wiedzy, kapitału ludzkiego).

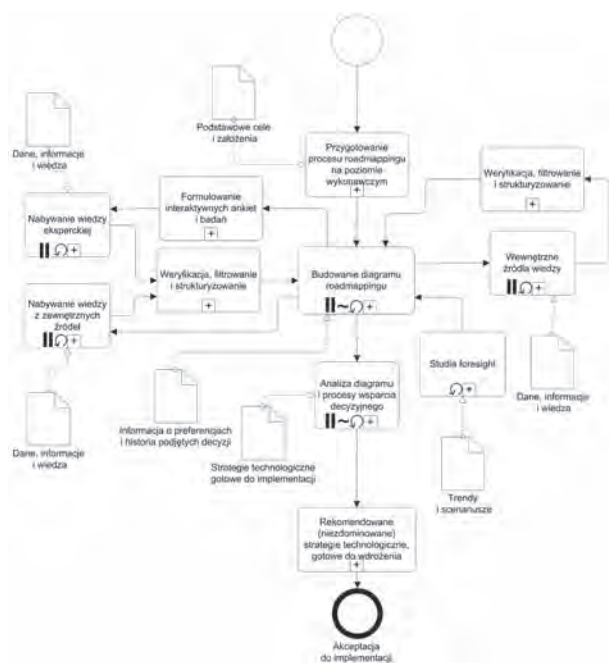


Rys. 1. Schemat rozwiązywania technologicznych problemów decyzyjnych metodą roadmappingu

Fig. 1. A roadmapping-based solution scheme for technological decision problems

Ogólny schemat procesu *roadmappingu* dla Problemu 1 pokazany jest na rys. 1, a problemy decyzyjne i ich umiejscowienie w procesie *roadmappingu* dla technologii informatycznych przedstawione zostały na rys. 2.

Diagramy konstruowane w procesie *roadmappingu* są projekcją alternatywnych wizji powiązań teraźniejszości i przyszłości w obszarach ważnych dla działalności danej organizacji. Najważniejszym i pierwotnym obszarem –



Rys. 2. Diagram BPMN dla procesu roadmappingu

Fig. 2. A BPMN diagram for technological roadmapping

a także jedną z warstw diagramu *roadmappingu* – jest zbiór relacji związanych z technologiami. Podczas analizy zostają zdefiniowane związki przyczynowo-skutkowe pomiędzy tymi obszarami. Wynikowy diagram *roadmappingu* jest istotnym elementem budowy strategii organizacji średnio- i długoterminowych. Pomaga on przede wszystkim w identyfikacji i wyborze alternatyw najlepszych z punktu widzenia decydentów – dysponentów kapitału i technologii. Należy pokreślić, że każde działanie podejmowane w procesie *roadmappingu* ma powiązanie z odpowiednimi scenariuszami lub prognozami, a analiza dynamiki otoczenia jest nieodzownym elementem *roadmappingu*.

5. Przykład zastosowania roadmappingu w planowaniu produkcji komputerów przenośnych

Przykładowy diagram *roadmappingowy* stworzony dla producenta komputerów przenośnych przedstawiony jest na rys. 3. Celem tego przykładu nie jest zobrazowanie pełnej gamy produktowej i technologicznej, jaką z reguły dysponują firmy produkujące komputery, lecz jedynie ilustracja zasad identyfikacji obiektów i relacji w procesie *roadmappingu*.

Do *roadmappingowej* analizy Problemu 1, w którym jako produkt rozważane są komputery przenośne, wybranych zostało 5 następujących warstw:

- technologie,
- produkty,
- czynniki biznesowe,
- sposobności (szanse i opcje) rozwoju,
- badania naukowe (projekty badawcze związane z rozwojem branży elektronicznej i informatycznej).

Proces *roadmappingu*, który zainicjowany został po przedstawionym wyżej sformułowaniu problemu, przebiegał w następujących 3 fazach:

5.1. Działania wstępne

Działania te polegają na przygotowaniu merytorycznych oraz logistycznych podstaw *roadmappingu*. Określony powinien zostać także zakres projektu wraz z jego ograniczeniami oraz celami. W omawianym przykładzie *roadmapping* ma posłużyć jako system wspomagania decyzji dla działań strategicznych producenta w horyzoncie najbliższych pięciu lat. Decyzje te mają pomóc w wyznaczeniu kierunków badawczych, strategii marketingowych, technologicznych oraz zakupów know-how w tym horyzoncie czasowym.

5.2. Konstrukcja Diagramu Roadmappingu

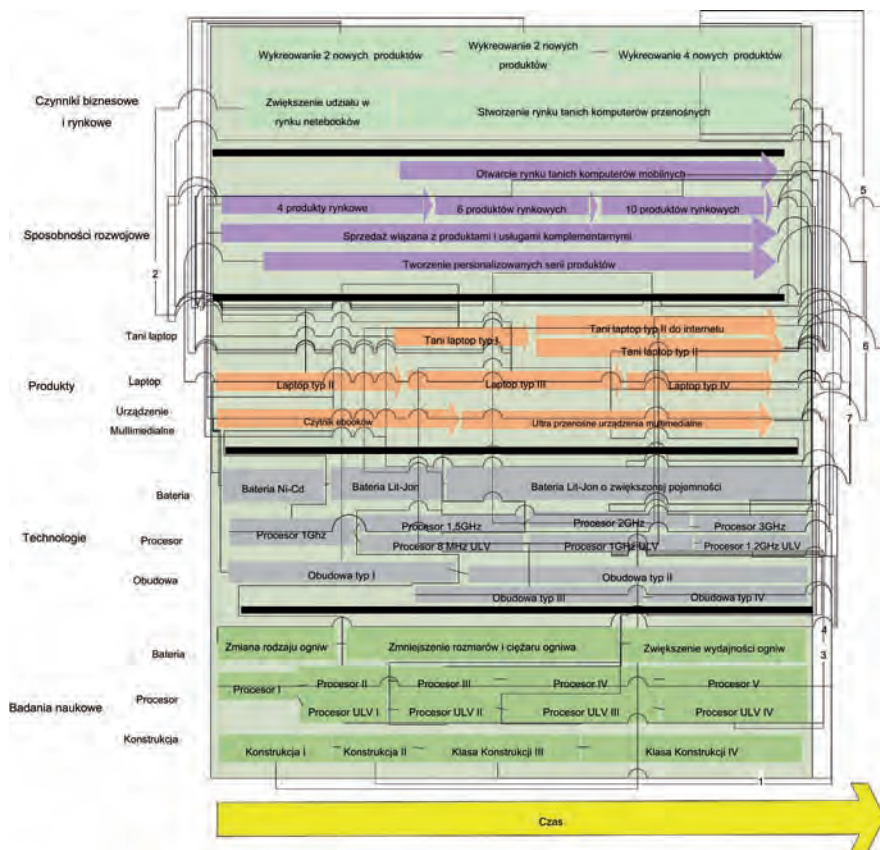
W ramach tej fazy następuje budowa diagramu *roadmappingu* poprzez:

- wyodrębnienie pięciu klas modelowanych obiektów: technologii, produktów, co w omawianym przykładzie prowadzi początkowo do analizy dziesięciu grafów dwudzielnych,
- badanie pozostałych związków strukturalnych pomiędzy warstwami,
- badanie zależności czasowych i kierunków (trendów) ich zmian.

Po wyodrębnieniu klas obiektów należy wyodrębnić obiekty wewnątrz warstw oraz wskazać zależności między nimi oraz obiektami w innych warstwach. Jest to proces interaktywny, a jego rezultaty pośrednie powinny być dyskutowane i poprawiane. W fazie tej powstaje diagram *roadmappingu* wraz z opisem oraz rekomendacjami dla decydentów (por. rys. 3). Diagram zawiera zależności przyczynowo-skutkowe dla obiektów poszczególnych warstw. Podczas procesu *roadmappingu* identyfikowane są dwa rodzaje powiązań: wewnątrz warstw oraz międzywarstwowe. Przykładowo relacje między obiektami (Produktami) w warstwie „Produkty” opisują proces od wejścia na rynek poszczególnych partii produktów, aż do zastępowania ich przez produkty nowsze. Na rys. 3 zdefiniowano następujące relacje wewnątrzwarstwowe:

- Badania naukowe – ewolucja badań naukowych (następstwo czasowe kierunków i wyników badań, ewolucja charakterystyk dziedzin badawczych związana z ich rozwojem),
- Technologie – dostępność technologii w wyniku realizacji procesów badawczych, zakupu licencji, zakupu kluczowych komponentów od zewnętrznych dostawców,
- Produkty – wprowadzone na rynek produkty własne, możliwości ich substytucji oraz produkty konkurencyjne
- Sposobności rozwojowe – identyfikacja i ewolucja czynników rozwojowych dla danej organizacji,
- Czynniki biznesowe – identyfikacja i ewolucja czynników biznesowych i rynkowych.

Relacje międzywarstwowe definiują różny kontekst dla obiektów jednej warstwy, np. produkt może być analizowany z punktu widzenia szans rozwoju, jak i z punktu widzenia doraźnego zysku. W podobny sposób postrzegana może być warstwa „Badań Naukowych” – z punktu widzenia portfela technologicznego danej organizacji, lub z punktu widzenia korzyści dla całego sektora. Z kolei technologie będące w dyspozycji organizacji wykorzystywane mogą być do projektowania i wytwarzania kolejnych produktów. Na



Rys. 3. Przykład diagramu roadmappingu dla produkcji komputerów przenośnych
 Fig. 3. A sample roadmapping diagram for the of laptop computer manufacturing

rys. 3 pokazano kilka relacji ilustrujących ten proces. W *roadmappingu* należy uwzględnić relacje pomiędzy obiektami warstwy „Badania Naukowe” odpowiadającymi badaniami nad konkretnymi technologiami, a odpowiednimi obiektami w warstwie „Technologie”. Przykładowo, relacja 1 na rys. 3 oznacza opracowanie technologii dla „Konstrukcji IV” umożliwiającej utworzenie klasy obudów o lepszych właściwościach wentylacyjnych wykorzystywanej w nowej serii produktów. W warstwie „Technologie” znajdują się obiekty z portfela technologicznego organizacji. Obiekty te organizacja zamienia na rzeczywiste produkty rynkowe (patrz relacja 7).

Jak wspomnieliśmy w sekcji 2, kluczowym zagadnieniem *roadmappingu* jest również identyfikacja opcji rzeczywistych, w tym także pozycji krótkich (zobowiązań) [17] związanych z procesami inwestycyjnymi. Trudności metodyczne związane z pełną identyfikacją zależności opcyjnych sygnalizowane były np. w [1, 8]. Dodatkowa trudność polega na tym, że opcje nie mogą być z reguły wydzielone jako obiekty poszczególnych warstw, lecz są związane z relacjami pomiędzy obiektami, zarówno tej samej warstwy, jak i relacjami międzywarstwowymi. Opcje te związane mogą być z wykorzystaniem jednego rozwiązania technologicznego tworzonego dla konkretnego produktu w kilku dalszych produktach w tej samej kategorii przeznaczonych dla różnych segmentów rynku, np. procesor 2,8 GHz może być wykorzystywany w kilku różnych typach urządzeń. Przykładem opcji wydzielonych na osobnych warstwach są np. relacje 2, 5 i 6 na rys. 3.

5.3. Działania uzupełniające

Podstawowym rezultatem tej fazy jest zbiór rekomendacji dla decydentów. Opracowanie to stanowi konwersję diagramu *roadmappingowego* na konkretne czynności, które należy podjąć celem osiągnięcia wyznaczonych celów strategicznych. Postęp technologiczny w branży elektronicznej jest bardzo szybki, a cykl życia technologii – krótki. W przedstawionym przykładzie horyzont czasowy wynosi 5 lat, co związane jest ze stosunkowo krótkim cyklem życia produktów, a nawet technologii elektronicznych. Konieczne są zatem okresowe aktualizacje diagramu i rekomendacji przy pomocy specjalistycznych aplikacji [20] zgodnie z algorytmami planowania wariantowego [21] i z wykorzystaniem rezultatów badań foresightowych. Działania takie mają na celu zapewnienie odpowiedniej jakości i aktualności wyników *roadmappingu* oraz trafność rekomendacji.

6. Wnioski końcowe

Roadmapping jest w stanie usystematyzować i wspomóc proces decyzyjny, wskazać kilka możliwych scenariuszy postępowania optymalizującego zarówno kryteria (5) jak i dodatkowe kryteria, np. kosztowe (najtańsze rozwiązanie), czasowe (najwcześniejsze osiągnięcie pożądaných parametrów), czy też związane z perspektywami poprawy pozycji strategicznej organizacji (np. wydatki na promocję, wspomaganie działalności *non-profit*, informowanie o spełnianiu wymagań bezpieczeństwa informatycznego, działaniach proekologicznych, norm ISO itp.).

Ścisłe sformułowanie kryteriów optymalizacji (5) może napotykać na trudności ze względu na duży poziom niepewności, zwłaszcza co do wyniku finansowego działań oraz jakościową naturę oceny skutków przyjęcia określonych strategii. Jednak wprowadzenie dodatkowych kryteriów związanych z ryzykiem pozwala na formalne sformułowanie problemu wielokryterialnej optymalizacji dynamicznej i eliminację rozwiązań zdominowanych, co jest często wystarczające do podjęcia decyzji o wyborze strategii korporacyjnej.

Porównanie zastosowań i wariantów procesów *roadmappingu* podane jest m.in. w [5, 9, 10]. *Roadmapping* wspomagany przy pomocy specjalistycznej aplikacji może być użytecznym narzędziem w praktycznie każdej firmie lub instytucji innowacyjnej, stanowiąc efektywny szkielet organizacyjny dla tworzenia w nowy sposób baz wiedzy technologicznej [22] i przykład systemu inteligentnego w zastosowaniach biznesowych [23]. Przedstawiony w niniejszym artykule schemat procesu *roadmappingu* może być szcze-

gólnie pomocny przy badaniu perspektyw wdrożeń nowych technologii lub pomysłów innowacyjnych. *Roadmapping* umożliwia uwzględnienie wielu punktów widzenia reprezentowanych w problemie NPD-MP przez odrębne kryteria, a następnie rozwiązanie problemu optymalizacji wielokryterialnej (1)–(3). Oprócz przedstawionego tu problemu planowania strategicznego dla produkcji sprzętu komputerowego, podobne podejście stosowane było m.in. w przypadku *roadmappingu* technologii *m-health* [13], systemów eksperckich [18], czy biopaliw płynnych [17]. Możliwość interakcyjnego generowania scenariuszy w procesie *roadmappingu* przyspiesza uzyskanie adekwatnego modelu uwarunkowań dotyczących analizowanych obiektów. Model taki łatwo jest zaadaptować do konkretnego obszaru aplikacyjnego, biorąc pod uwagę współczynniki ilościowe – z reguły momenty zmiennych losowych opisujących stany obiektu i wartości kryteriów optymalizacji – określające jakość danych używanych przy konstrukcji i późniejszym wdrożeniu scenariuszy.

Wykazaliśmy też, że istnieje możliwość takiego zastosowania metodologii *roadmappingu*, która umożliwi znalezienie strategii zapewniających efektywność finansową planowanych inwestycji przy minimalnym ryzyku oraz równoczesną optymalizację dalszych kryteriów. Zaproponowany tu sposób postępowania może być podstawą projektowania i implementacji systemów wspomagania decyzji opartych na technikach *roadmappingowych*, które zminimalizują koszty interakcji z ekspertami i zapewnią optymalną jakość procesu przetwarzania wiedzy eksperckiej.

Opisane w artykule metody zastosowania *roadmappingu* technologicznego w sektorze ICT opracowane zostały w ramach projektu badawczego pt. „Scenariusze i trendy rozwojowe wybranych technologii społeczeństwa informacyjnego do roku 2025”, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej – Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007–2013, nr umowy UDA-POIG.01.01.01-00-021/09-00. Szeroko pojęta problematyka systemów wspomagania decyzji opartych na *roadmappingu* i ich praktycznych zastosowań jest tematem badań prowadzonych od szeregu lat w Laboratorium Analizy i Wspomagania Decyzji Katedry Automatyki AGH, m.in. w ramach projektu badawczego zamawianego nr PW-004/ITE/01/2006 objętego Programem Wieloletnim PW-004, umowa nr PW-004/01/2006/5/UW-2006.

Bibliografia

1. Black F., Cox J.: *Valuing Corporate Securities: Some Effect of Bond Indenture Provisions*. „Journal of Finance”, 31(2), 1976, 351–376.
2. Coates V., Farooque M., Klavans R., Lapid K., Linstone H.A., Pistorius, C. i in.: *On the Future of Technological Forecasting*. „Technological Forecasting and Social Change”, 67, 2001, 1–17.
3. Galvin R.: *Science Roadmaps*. „Science”, 280, 1998, 803–804.
4. Garcia L.M., Bray H.O.: *Fundamentals of Technology Roadmapping*. Albuquerque: Strategic Business Development Department Sandia National Laboratories, 1997.
5. Groenveld P.: *Roadmapping integrates business and technology*. „Research-Technology Management”, 40, 1997, 48–55.

6. Houston J., Turner J.: *Developing Collaborative Solutions to the Aging Aircraft Avionics Problem Through Technology Roadmapping*. Bethesda: Lockheed-Martin, 2001.
7. Howard R.A., Matheson J.E.: *Influence Diagrams*. „Decision Analysis”, 2(3), 2005, 127–143.
8. Neil D.J., Hickey N.A.: *The Option Value of Investment in R&D*. [w:] Farok J. (red.): *Valuation of Intangible Assets in Global Operations*, Westport: Greenwood publishing Group Inc., 2001, 125–146.
9. Petrick I.J., Echols A.E.: *Technology roadmapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions*. „Technological Forecasting and Social Change”, 71, 2004, 81–100.
10. Phaal R., Farrukh C.J.P., Probert D.R.: *Strategic roadmapping: a workshop-based approach for identifying and exploring innovation issues and opportunities*. „Engineering Management Journal”, 19(1), 2007, 3–12.
11. Skulimowski A.M.J.: *Decision Support Systems Based on Reference Sets*. Kraków, Wydawnictwo AGH, 1996.
12. Skulimowski A. M.: *On Multicriteria Problems With Modification Of Attributes*. MCDM'06 (red. Trzaskalik T.), Katowice: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, 2007, 117–136.
13. Skulimowski A.M.J.: *The Challenges to the Medical Decision-Making Systems posed by mHealth*, „The IPTS Report”, No.81, Feb. 2004, 4–11.
14. Skulimowski A.M.J.: *Framing New Member States and Candidate Countries Information Society Insights*. [w:] Compano R., Pascu C. (red.) *Prospects for a Knowledge-Based Society in the New Members States and Candidate Countries*, Publishing House of the Romanian Academy, 2006, 9–51.
15. Skulimowski A.M.J.: *Future Prospects in Poland: Scenarios for the Development of the Knowledge Society in Poland*. [w:] Compano R., Pascu C. (red.): *Prospects for a Knowledge-Based Society in the New Members States and Candidate Countries*, Publishing House of the Romanian Academy, 2006, 114–159.
16. Skulimowski A.M.J. (red.): *Transfer Technologii w Informatyce i Automatyce*, Progress & Business Publishers, Kraków, 2008, 406.
17. Skulimowski A.M.J.: *Metody roadmappingu i foresightu technologicznego*, „Chemik”, 2009, 42, 197–204.
18. Skulimowski A.M.J.: *Future trends of intelligent decision support systems and models*. [w:] Park J.J., Yang L.T., Lee C. (eds.): *Future Information Technology: 6th International Conference, FutureTech 2011*, Loutraki, Greece, June 28–30, 2011, Proceedings, Part 1. CCIS, Vol. 184, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 11–20.
19. Skulimowski A.M.J.: *Freedom of Choice and Creativity in Multicriteria Decision Making*. [w:] Theeramunkong T. i in. (red.): *„Knowledge, Information, and Creativity Support Systems: KICSS2010 Revised Selected Papers*, Springer, „Lecture Notes in Artificial Intelligence”, Vol. 6746, 2011, 190–203.
20. Skulimowski A.M.J., Pukocz P.: *On-line Technological Roadmapping as a Tool to Implement Foresight Results in IT Enterprises*. Springer, „Advances in Soft and Intelligent Computing”, 2011.

21. Skulimowski A.M.J., Rotter P.: *Zastosowanie analizy wielokryterialnej do planowania i wyboru wariantów inwestycji*. Modelowanie Preferencji a Ryzyko '04 – Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice, 2004, 461–480.
22. Skulimowski A.M.J., Schmid B.F.: *Redundancy-free description of partitioned complex systems*. „Mathematical and Computer Modelling”, 16(10), 1992, 71–92.
23. Tadeusiewicz R.: *Introduction to intelligent systems*, [w:] Wilamowski B.M., Irwin J.D. (red.): *Intelligent systems, The Industrial Electronics Handbook*. 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2011, 1-1–1-12.
24. Willyard C., McClees C.: *Motorola's technology roadmap process*. „Research-Technology Management”, 1987, 13–19.
25. Winch G., Usmani A., Edkins A.: *Towards total project quality: a gap analysis approach*, „Construction Management and Economics”, 16(2), March 1998, 193–207.

Strategic decision support methodology based on technological roadmapping

Abstract: Technological roadmapping is a complex business intelligence and strategic planning process. Computer implementations of roadmapping can be regarded as tools supporting decision and policy making. This paper shows how the recent development of web technologies and a public availability of foresight results have allowed to provide access to high-level technological roadmapping for innovative SMEs. We outline an implementation of the roadmapping process that may serve as an on-line interactive strategic planning and decision support system applying information technology foresight results. It may be used to solving IT investment planning problems and new product development and market placement problems (NPD-MP) in innovative companies. A web-based analytic machine that supports roadmapping is able to generate optimal technological investment strategies, visualised as multicriteria shortest paths in hypergraphs that model roadmapping diagrams. The system uses the integrated capacity offered by ontologies and semantic networks as a complex collaborative process of knowledge acquisition from heterogeneous information sources, its managing, sharing and processing. An example of the roadmapping process applied to develop a new computer based on IT foresight results will also be presented.

Keywords: decision support systems, multicriteria analysis, strategic planning, technological roadmapping, information technology foresight, ontological knowledge bases

dr hab. inż. Andrzej M.J. Skulimowski, prof. AGH

Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (1981, Elektronika, specjalność Automatyka) oraz matematyki (sekcja teoretyczna) Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie (1982). Doktorat z metod optymalizacji wielokryterialnej (AGH, 1985), habilitacja z zakresu badań operacyjnych (1997). Główna dziedzina badawcza: systemy wspomaganie decyzji, metody optymalizacji wielokryterialnej i zastosowania do projektowania systemów informacyjnych m.in. w zarządzaniu technologiami i foresightcie. Uzyskał szereg pionierskich wyników dotyczących sterowania optymalnego systemami zdarzeń dyskretnych, rozpoznawania obrazów, opracował nowe metody analizy szeregów czasowych, wielokryterialnej analizy decyzji (metoda zbiorów odniesienia), modele efektywności procesów inwestycyjnych, eksploracji danych i in. Od 1980 r. jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym AGH w Krakowie, obecnie na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Katedrze Automatyki, pełni funkcję kierownika Laboratorium Analizy i Wspomaganie Decyzji. Wykładał m.in. na Uniwersytecie w Cambridge, Université de Paris-Dauphine, Scuola Normale Superiore Pisa, Georgia Institute of Technology, University of Washington, University of Wyoming, University of Montana, University of California in Los Angeles, Kyoto University i in. W latach 1987–1996 był stypendystą Konfederacji Szwajcarskiej na Politechnice w Zurychu (ETH), a następnie profesorem wizytującym w Instytucie Informatyki Ekonomicznej na Uniwersytecie St. Gallen oraz doradcą szwajcarskich korporacji i instytucji finansowych. Od maja 1996 jest prezesem międzynarodowej Fundacji Progress and Business w Krakowie, założonej m.in. przez Uniwersytet Jagielloński, Akademię Górniczo-Hutniczą, Duński Instytut Technologiczny, Skarb Państwa. Od 2002 r. jest doradcą Komisji Europejskiej w zakresie polityki naukowo-badawczej i proinnowacyjnej. Autor ponad 150 prac naukowych i artykułów, autor, redaktor i współautor 7 monografii naukowych. Kierownik projektów badawczych w Programach Ramowych UE i POIG, członek wielu krajowych i zagranicznych towarzystw naukowych.

e-mail: ams@agh.edu.pl



mgr inż. Przemysław Pukocz

Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (2004, Informatyka, specjalność: Systemy rozproszone i sieci komputerowe). Główne obszary badawcze to: metody optymalizacji wielokryterialnej, wielokryterialna analiza decyzji ze szczególną uwzględnieniem zagadnień zarządzania technologiami i szeroko pojętej innowacyjności. Od 2010 r. jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym AGH w Krakowie zatrudnionym na stanowisku asystenta w Katedrze Automatyki, Laboratorium Analizy i Wspomaganie Decyzji.

e-mail: pukocz@agh.edu.pl

