



Metody roadmappingu i foresightu technologicznego¹

Andrzej M.J. SKULIMOWSKI – Laboratorium Analizy i Wspomagania Decyzji, Katedra Automatyki AGH w Krakowie, Centrum Transferu Technologii Fundacji Progress & Business w Krakowie

I. Wprowadzenie

Cykliczne kryzysy gospodarcze stanowią okazję do restrukturyzacji w różnych skalach działalności: od niewielkiego przedsiębiorstwa do gospodarek narodowych. W połączeniu z wciąż bardzo szybkim rozwojem nauki i technologii, charakterystyczne dla kryzysów stany przejściowe w gospodarce stwarzają szanse polepszenia pozycji strategicznej dla tych uczestników rynku, którzy potrafią pozyskać i wykorzystać wiedzę dotyczącą przyszłych zdarzeń, trendów i scenariuszy. Tworzenie strategii w konkurencyjnych organizacjach gospodarczych wymaga przy tym stosowania wydajnego, elastycznego i dynamicznego procesu podejmowania decyzji, opartego na nowoczesnych metodach badań operacyjnych. Wykorzystuje się takie metody wspomagające podejmowanie decyzji, jak: drzewa decyzyjne, diagramy wpływu (*impact and influence diagrams*, por. [8]), analiza wielokryterialna, badania symulacyjne, analiza kluczowych technologii i czynników, analiza SWOTC (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats, and Challenges*, por. [15] i in.)

Cennym źródłem danych dla takich analiz są projekty typu *foresight* [4], których standardowymi wynikami są opracowane ilościowo trendy ekonomiczne, społeczne i technologiczne oraz opisane z reguły jakościowo scenariusze, listy kluczowych technologii oraz rekomendacje dla decydentów. Duże przedsiębiorstwa prowadzą badania foresightowe – lub ich wybrane elementy – we własnym zakresie. Znajomość alternatywnych wizji przyszłości i praw rządzących ich ewolucją pozwala na odpowiednio wcześnie przygotowanie właściwych działań w różnych sytuacjach wewnętrznych przedsiębiorstwa oraz określonych przez zestaw parametrów otoczenia zewnętrznego. Z zebranych informacji wynika jednak, że w polskim przemyśle chemicznym dominują wciąż tradycyjne analizy prognostyczne, zawężone do jednej dziedziny prognozowania (np. prognoza wybranego rynku) i rzadko uwzględniające wszystkie istotne synergie typu PEST analiza otoczenia *Polityczno-Ekonomiczno-Społeczno-Technologicznego*. Ponadto koszty badań foresightowych w określonej dziedzinie technologii są stosunkowo wysokie (przeciętnie 2-4 mln zł), a samo badanie i opracowanie wyników trwa najczęściej od 18 do 30 miesięcy. Z tego względu cenna jest możliwość wykorzystania wyników projektów typu foresight finansowanych w ramach Poddziałania I.4.5 Sektorowego Programu Operacyjnego Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw (SPO-WKP) w latach 2005-2008 oraz planowanych obecnie do realizacji w ramach Poddziałania I.1.1 Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (POIG). Jednym z projektów

związanych z trendami i scenariuszami w przemyśle chemii nieorganicznej, zwłaszcza nawozów mineralnych, jest projekt pt. „Foresight dla polskiego przemysłu nieorganicznego i nawozowego” zgłoszony przez konsorcjum reprezentowane przez Instytut Chemii Nieorganicznej z Gliwic. Realizowane były wcześniej także projekty związane

Metody roadmappingu i foresightu technologicznego

SKULIMOWSKI A.M.J.

Roadmapping jest metodologią, która wprowadzona została przez duże korporacje elektroniczne w USA w latach 70. ub.w. jako narzędzie planowania strategicznego i wspomagającego decyzje inwestycyjne. W artykule podano sformułowanie typowego problemu, który może być rozwiązywany w procesie roadmappingu – problemu optymalnego wprowadzania na rynek nowych produktów w oparciu o planowanie strategiczne i prognozowanie scenariuszowe technologii chemii nieorganicznej. Przedstawiono też podstawowe idee foresightu i sposób wykorzystania wyników badań foresightowych do budowy strategii w procesie roadmappingu. Pokazano schemat konstrukcji diagramów roadmappingowych oraz metody wspomagania decyzji strategicznych przy wykorzystaniu informacji zebranych w badaniach foresightowych i w procesie roadmappingu, który może także zawierać procedury wykrywania i wyceny opcji rzeczywistych związanych z procesem rozwoju i wdrażania innowacji. Zamieszczony przykład obrazuje praktyczne wykorzystanie roadmappingu do planowania strategii rozwoju produkcji biopaliw płynnych.

Słowa kluczowe: roadmapping, foresight technologiczny, analiza wielokryterialna, wspomaganie decyzji inwestycyjnych, zarządzanie technologiami w przemyśle chemicznym, biopaliwa płynne

Methods of Technological Roadmapping and Foresight

SKULIMOWSKI A.M.J.

Technological roadmapping emerged in the 70's as an interactive strategic planning process. Due to its high costs, duration, mobilization of human resources and know-how, its hitherto applications were attributed mainly to long-term strategy formation in large corporations and as a tool supporting policy making. In this paper we show that thanks to the recent initiatives to carry out technological foresight exercises in Poland, the roadmapping can be used to support solutions of technological planning problems a.o. in the inorganic chemistry sector. We formulate the new product development and market placement problem (NPD-MP) and propose the solution methodology based on roadmapping, where a large part of data can be taken from publicly available results of foresight projects, and hitherto hardly formalized procedures can be performed efficiently applying computer-assisted interactive multicriteria decision making. An implementation of such decision support system allowing to construct and analyse roadmapping diagrams has been proposed by the Technology Transfer Centre of the Progress & Business Foundation. An example shows how the roadmapping diagrams can assist in building the liquid biofuels production strategy.

Keywords: roadmapping, technological foresight, multicriteria analysis, investment decision support, chemical technology management, liquid biofuels

¹ Wcześniejsze wersje niektórych z opisanych w niniejszym artykule zagadnień opracowane zostały w ramach Umowy Nr PW-004/01/2006/5/UW-2006, projekt badawczy zamawiany Nr PW-004/ITE/01/2006 objęty Programem Wieloletnim PW-004 oraz w ramach Badań Własnych Centrum Transferu Technologii Fundacji Progress & Business w Krakowie (BW/PBF/2007-09/03/ctt)

z inżynierią materiałową, czy chemią polimerów. Dostępne są również wyniki badań foresightowych wykonanych na zlecenie Komisji Europejskiej (por. [18] nt. perspektyw technologii i rynku biopaliw płynnych, czy nt. skutków wdrożenia REACH [1]), OECD, czy innych instytucji międzynarodowych.

Najczęściej stosowanym horyzontem czasowym prowadzonych dotąd w naszym kraju badań foresightowych był rok 2020 (co wynikało z faktu, że był to horyzont określony w konkursie na projekty związane ze scenariuszami technologii dla zrównoważonego rozwoju regionalnego realizowanym w poszczególnych województwach w ramach Podziałania I.4.5 Sektorowego Programu Operacyjnego Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw) lub 2025 (horyzont czasowy niektórych projektów branżowych). W większości projektów składanych na konkursy Poddziałania I.1.1 Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka badania dotyczą okresu do roku 2025 lub 2030. Podobne są horyzonty prognozowania badań uniijnych.

W odniesieniu do budowy baz wiedzy dla planowania strategicznego w przemyśle chemicznym, udostępnione publicznie wyniki badań foresightowych powinny dostarczać informacji m.in. o:

- scenariuszach rozwoju technologii, w tym ewolucji i substytucji technologii,
- scenariuszach rozwoju rynku i jego poszczególnych segmentów,
- trendach i scenariuszach ekonomicznych,
- prawdopodobieństwach i wariantach sytuacji krytycznych oraz o sposobach optymalnego działania w takich sytuacjach.

Natomiast metody wspomagania decyzji strategicznych związanych z transferem i rozwojem technologii oraz wprowadzaniem nowych produktów (czyli problemów określanych często w literaturze anglojęzycznej skrótem NPD – *New Product Development*) powinny umożliwiać m.in.:

- pozyskiwanie, gromadzenie, przetwarzanie wiedzy ze źródeł zewnętrznych, w tym wyników projektów foresightowych oraz jej integrację z posiadaną bazą wiedzy wewnętrznej (doświadczenie i wiedza organizacji) i prowadzoną w sposób ciągły aktualizację informacji w bazie,
- tworzenie rankingów celów priorytetowych organizacji, określanie kryteriów oceny funkcjonowania organizacji i zasad ich osiągnięcia; budowa i aktualizacja,
- badanie i identyfikację dynamiki czynników otoczenia (gospodarczego, ekologicznego, społecznego, naukowo-technicznego itp.) istotnych dla podejmowanych decyzji strategicznych,
- analizę konkurencji, w tym znajomość warunków rynkowych i prawnych w jakich funkcjonują organizacje wdrażające nowe technologie i opracowywanie na tej podstawie modeli ilościowych i jakościowych dla procesów wdrożeń nowych produktów i technologii,
- tworzenie procedur podejmowania przyszłych decyzji związanych z alokacją zasobów organizacji, budowa potencjału rynkowo-technologicznego oraz związanych z wpływem na otoczenie organizacji,
- tworzenie modeli przyszłości (prognozy, trendy, scenariusze): ogólnych – organizacji i jej otoczenia PEST oraz szczegółowych – związanych z rozwojem konkretnych technologii lub produktów.

Opracowane reguły podejmowania decyzji powinny zapewniać optymalizację istotnych dla organizacji kryteriów jakości – w zależ-

ności od sformułowania problemu decyzyjnego, reguły te mogą mieć postać planu strategicznego, listy priorytetów lub planu operacyjnego związanego z konkretną technologią, czy produktem. Informacje te mogą następnie posłużyć do stworzenia portfela projektów rozwojowych i biznesplanów konkretnych przedsięwzięć. Przy badaniu konkurencji celowe jest także zastosowanie modeli teorii gier. 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 organizacja gospodarcza powinna utworzyć plan strategiczny jest poszukiwanie nowych źródeł finansowania dla projektów inwestycyjnych i rozwojowych. Zarząd przedsiębiorstwa powinien przeanalizować różne strategie finansowania, takie jak wejście na giełdę, pozyskanie inwestora strategicznego lub podniesienie kapitału przed dotychczasowych udziałowców, emisję obligacji, kredyt bankowy, sprzedaż zbędnych aktywów, finansowanie typu *mezzanine* lub poprzez fundusze *venture capital* itp. Zagadnienie to jest szczególnie ważne (i trudne) w przypadku restrukturyzacji wymuszonej zmianami na rynkach zbytu, a także w przypadku cyklicznych kryzysów finansowych.

Dla każdej z tych alternatyw i ich dopuszczalnych kombinacji oraz dla określonych scenariuszy otoczenia należy przeanalizować wpływ podjętej 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 wewnętrzne 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. Po przyjęciu ogólnej strategii rozwoju i finansowania, do pozyskania kapitału konieczne jest z reguły stworzenie studium wykonalności i/lub biznesplanu. Przy wykonywaniu tego zadania należy wykorzystać opracowane wcześniej rekomendacje i parametry.

Jedną z metod wspomagania złożonych strategicznych procesów decyzyjnych jest tzw. *roadmapping*, nazywany też w polskiej literaturze poprzez dosłowne tłumaczenie metodą *map drogowych*. Istotą *roadmappingu* jest:

- podział otoczenia analizowanej organizacji na warstwy, odpowiadające wzajemnie powiązanym i na ogół 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 $(n+1)$ -szej, co upraszcza wizualizację tych powiązań,
- uwzględnienie związków czasowych pomiędzy czynnikami (związki kauzalne, związki probabilistyczne, trendy, scenariusze, opisy dynamiki itp.),

- tworzenie diagramów zależności czynników uwzględniające różne relacje i ich nasilenie; ze względu na pozorne podobieństwa do sieci połączeń drogowych w problemie wyboru najkrótszej trasy przejazdu diagramy te nazywane są *roadmaps*,
- identyfikację na diagramach punktów kluczowych decyzji (podobnie jak w diagramach wpływu), tzw. kamieni milowych (*milestones*) oraz punktów bifurkacji trendów i scenariuszy,
- rozwiązywanie skojarzonych z diagramem problemów optymalizacji i wielokryterialne wspomaganie decyzji przy wykorzystaniu wiedzy zgromadzonej w bazie wiedzy organizacji oraz wiedzy zewnętrznej, w tym zwłaszcza wiedzy pochodzącej z badań foresightowych.

Zauważmy, że podobieństwo diagramów *roadmappingu* do diagramów PERT i wykresów Gantta wewnątrz każdej z warstw jest w dużej mierze pozorne i nie oddaje w pełni idei *roadmappingu*, który opiera się na asocjacyjnym wykorzystaniu związków między warstwami. Inną cechą szczególną *roadmappingu* 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 spojrzenie w przyszłość, niż w przypadku metod bazujących wyłącznie na wiedzy formalnej. W niniejszym artykule pokazano tylko wybrany fragment możliwości aplikacyjnych *roadmappingu*, a mianowicie *Roadmapping Technologiczny*, ukierunkowany na technologie przemysłu chemicznego i na problemy decyzyjne związane z ich wdrażaniem i komercjalizacją. W niniejszym artykule przedstawiono *roadmapping* jako narzędzie do:

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

z punktu widzenia przedsiębiorstw wdrażających nowe produkty lub technologie oraz organizacji zajmujących się wspomaganie rozwoju technologii i badań aplikacyjnych. W podsumowaniu (Rozdz. 4) wspomniano krótko o dalszych obszarach zastosowania tej metody (por. [17]).

Ze względu na różnorodność skali i obszarów zastosowań, brak jednolitego ujęcia metody *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 analizy, 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. Również nazewnictwo tej metody budzi kontrowersje ze względu na odmienny kontekst pojęcia *roadmappingu* w językach angielskim i polskim. W niniejszym artykule, który jest jednym z pierwszych w języku polskim poświęconych *roadmappingowi*, proponuje się równoważne określenie *roadmappingu* jako „Analizy Uwarunkowań i Scenariuszy Technologicznych”.

2. Problem Technologicznego Planowania Strategicznego

Jak wspomniano w Rozdz. I, 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 organizacjach tych *roadmapping* może pełnić dwie powiązane ze sobą funkcje:

- być sposobem praktycznego wykorzystania prognoz i wyników badań foresightowych wykonywanych w celu wspomaganie podejmowania decyzji strategicznych,
- stanowić podstawę do określenia zapotrzebowania na wyniki foresightu i innych badań prowadzonych dla zaspokojenia poznawczych i strategicznych potrzeb organizacji.

Poszczególne etapy *roadmappingu* technologicznego mogą przyjmować następującą formę:

- 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,
- d) podejmowania decyzji inwestycyjnych związanych z wprowadzaniem nowych produktów i technologii.

W etapach c) i d) 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 [12]), ryzyko związane z realizacją określonej strategii, oraz pozycja strategiczna firmy (w tym pozycja na rynku). W zależności od potrzeb organizacji mogą ponadto stosować specyficzne kryteria dodatkowe.

W niniejszym artykule sformułowano podstawowy problem rozwiązywany technikami *roadmappingu*, tj. wprowadzenie nowego produktu na rynek (znany w literaturze angielskiej jako *NPD – New Product Development*). 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.

Problem 1. Wprowadzenie nowego produktu 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 przekryteria:

- 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 pozostawania 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,

$$s(k) := \sum_i p_i(k) \sigma_i(k),$$

gdzie $p_i(k)$ 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 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 kryterium można tu zastosować zdyskontowane przepływy pieniężne (*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, przy czym $C(0)$ jest inwestycją początkową,

t – ilość jednostek czasu od rozpoczęcia inwestycji technologicznej aż do planowanego momentu zakończenia produkcji T ,

$d = (d_1, \dots, d_t)$ – średnie przewidywane stopy dyskontowe w kolejnych okresach obrachunkowych (warto dodać, że stosowane na ogół modele 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.

$$C(k) = N_1(k) * p(k) + C_2(k) - C_3(k) - C_4(k) - N_2(k) * c(k), \quad k = 1, \dots, t. \quad (2)$$

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

Następnym etapem analizy inwestycji technologicznych w procesie roadmappingu może być identyfikacja opcji rzeczywistych, ich wycena (por. [2, 3, 5, 6, 10]) co pozwala na uwzględnienie w rozszerzonej zdyskontowanej wartości przepływów pieniężnych $EPNV$ (*Extended NPV*) wyceny dodatkowych wartości generowanych m.in. przez:

- możliwości wyboru różnych wariantów technologii, w tym praw do rezygnacji z wariantu wybranego wcześniej (por. [17]),
- prawo do sprzedaży licencji na opracowaną technologię,
- prawa do zaniechania inwestycji lub do odsprzedaży inwestycji „w budowie”,

- możliwości rozpoczęcia nowej inwestycji powiązanej z aktualnie wycenianą,
- możliwość kontynuacji procesu inwestycyjnego po zakończeniu inwestycji wycenianej,
- możliwość sprzedaży części lub całości przedsięwzięcia, itp., a także wycenę zobowiązań podjętych przez inwestora wobec osób trzecich, takich jak:
- zobowiązanie do odsprzedaży licencji lub patentu na opracowaną technologię,
- zobowiązań inwestycyjnych lub socjalnych wykraczających poza plan wynikający z rachunku ekonomicznego,
- zakazu dokonywania pewnych inwestycji finansowanych z zysku wypracowanego podczas procesu inwestycyjnego (np. zakaz wywozu środków z dywidendy poza granice kraju, w którym ulokowana jest inwestycja, nakaz reinwestowania środków w dalsze badania itp.)
- zobowiązanie do sprzedaży części lub całości przedsięwzięcia itp.

W odniesieniu do opcji kapitałowych, pierwsza grupa opcji odpowiada pozycji długiej, natomiast druga z wymienionych wyżej grup opcji interpretowana powinna być jako pozycja krótka, pomniejszająca wartość przedsięwzięcia.

Przy dodatkowym założeniu wzajemnej niezależności zidentyfikowanych opcji, zdyskontowana wartość oczekiwana przedsięwzięcia wyraża się wzorem:

$$ENPV(I, t, d) := NPV(I, t, d) + \sum_{i=1}^n OVI_i(I, t, d) - \sum_{j=1}^m OVS_j(I, t, d) \quad (3)$$

gdzie:

$NPV(I, t, d)$ wyrażone jest wzorem (1),

$OVI_i(I, t, d)$ – jest wartością i -tej opcji rzeczywistej (pozycja długa),

$OVS_j(I, t, d)$ – jest wartością j -tej opcji rzeczywistej (pozycja krótka).

Zakładamy, że wszystkie opcje zidentyfikowane zostały w otoczeniu procesu inwestycyjnego I i odnoszą się do tego samego okresu inwestowania T . We wzorze (3) uwzględnić można także wartości opcji otrzymanych w procesie inwestycji i nieznanymi w chwili jej rozpoczęcia (dodatknie dla pozycji długiej) oraz wartości opcji wystawionych w trakcie inwestowania (zobowiązań) – wartości ujemne, bez uwzględnienia ewentualnych premii uzyskanych za opcje wystawione, lub wpłaconych za opcje zidentyfikowane w otoczeniu inwestycji. Roadmapping pozwala także na prognozowanie wystąpienia dodatkowych opcji w trakcie procesu inwestycyjnego, które często mogą być modelowane jako tzw. opcje złożone (*compound options*).

Zagadnienie wyceny opcji rzeczywistych wykracza poza ramy niniejszego artykułu. Wspomnijmy jedynie, że dla większości opcji rzeczywistych konieczne jest stosowanie metod numerycznych odwołujących się do definicji kontraktu opcyjnego. Dla opcji rzeczywistych najczęściej stosowane są metody dwumianowe, por. np. [2], a także model *Blacka-Scholesa* dla opcji europejskich [3].

Zauważmy, że w kryteriach (1) i (3) uwzględnione zostały wartości przekryteriów k_0 , $T - k_0$, $c(t)$ i $s(t)$. To ostatnie zawarte jest w prognozie sprzedaży $N_1(t)$. Natomiast w kryterium (3) – dzięki uwzględnieniu opcji rzeczywistych – możliwe jest bardziej adekwatne modelowanie sytuacji strategicznej organizacji wdrażającej nowy produkt, czy technologię i rozważanie tym samym $s(t)$ jako kryterium wektorowego, skalaryzowanego poprzez wycenę opcji rzeczywistych.

Jak wspomniano wcześniej, dalszymi kryteriami stosowanymi w procesie strategicznego planowania technologicznego są miary ryzyka inwestycji. Można tu zastosować, zamiennie lub równocześnie:

- A. wariancję lub semiwariancję funkcji $NPV(I, t, d)$ lub $ENPV(I, t, d)$ (por. (1)-(2)),
- B. prawdopodobieństwo utraty płynności organizacji podczas inwestycji, wyznaczone w procesie roadmappingu na podstawie analizy przepływów pieniężnych $C(k)$ i ich zależności od czynników wewnętrznych i zewnętrznych zorganizowanych w warstwy,
- C. prawdopodobieństwo osiągnięcia celów inwestycji technologicznej, które wpływa na odchylenia NPV lub $ENPV$ 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, możliwość wejścia na nowe rynki, osiągnięcie przewagi konkurencyjnej, zdobycie klientów strategicznych itp. Wskaźniki te mogą mieć postać punktów lub (częściej) zbiorów referencyjnych, a roadmapping zawiera także problem optymalizacji portfela przedsięwzięć/projektów [13]. Elementem roadmappingu jest także często ocena możliwości implementacji wybranej technologii w określonych ramach finansowych i czasowych oraz przy dostępności pozostałych zasobów niezbędnych do wdrożenia, ocena możliwości stworzenia odpowiedniego systemu dystrybucji itp.

Konieczność wzięcia pod uwagę wielu kryteriów jednocześnie przekształca problem (1)-(3) w problem optymalizacji wielokryterialnej. Natomiast założenie, że w problemie planowania produkcji optymalizujemy kryteria (1) lub (3) oraz kryteria związane z ryzykiem, traktowane jako funkcje czasu końcowego T , prowadzi do sformułowania dyskretnego problemu dynamicznej optymalizacji wielokryterialnej:

$$[J \ni I \rightarrow (ENPV(I, t_1, \cdot), \dots, ENPV(I, t_2, \cdot))] \rightarrow \max \quad 4)$$

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 (4) stopa dyskontowa nie jest zmienną decyzyjną, lecz zewnętrzną zmienną losową, której wartości szacowane są w procesie prognozowania. Gdy $ENPV = NPV$, wówczas problem (4) równoważny jest problemowi:

$$[J \ni I \rightarrow (NPV(I, t_1, \cdot), \frac{C(t_1 + 1)}{\prod_{1 \leq j \leq t_1 + 1} (1 + d_j)}, \dots, \frac{C(t_2)}{\prod_{1 \leq j \leq t_2} (1 + d_j)})] \rightarrow \max \quad 5)$$

Ostatecznie problem optymalizacji wielokryterialnej rozwiązywany podczas roadmappingu w celu wyboru strategii technologicznej może być zapisany jako

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

$$[J \ni I \rightarrow (R(I, t_1, \cdot), \dots, R(I, t_2, \cdot))] \rightarrow \min \quad 6)$$

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

Określenie zarówno wartości prekryteriów, jak i zależności pomiędzy prekryteriami, a wartościami *cash-flow* i w konsekwencji kryterium $ENPV$, a także miar ryzyka $R(I, t_2, \cdot)$, jak i – przede wszystkim – z reguły niepoddającym się łatwo opisowi formalnemu kryteriom pozycji strategicznej S w problemie (6) wymaga zbadania zależności pomiędzy technologiami, produktami, rynkami zbytu i prognozami otoczenia rynkowego, ekonomicznego i politycznego, oraz opracowania i zastosowania prognoz technologicznych. Wszystkie elementy

i czynniki są wzajemnie powiązane, przy czym w problemach praktycznych ilość powiązań jest bardzo duża, a ich charakter jest zwykle niejednorodny: deterministyczny, stochastyczny, rozmyty, zależny od decydenta w problemie (6), od innych decydentów oraz od innych powiązań.

W następnym rozdziale przedstawimy prosty przykład związany z produkcją biopaliw płynnych.

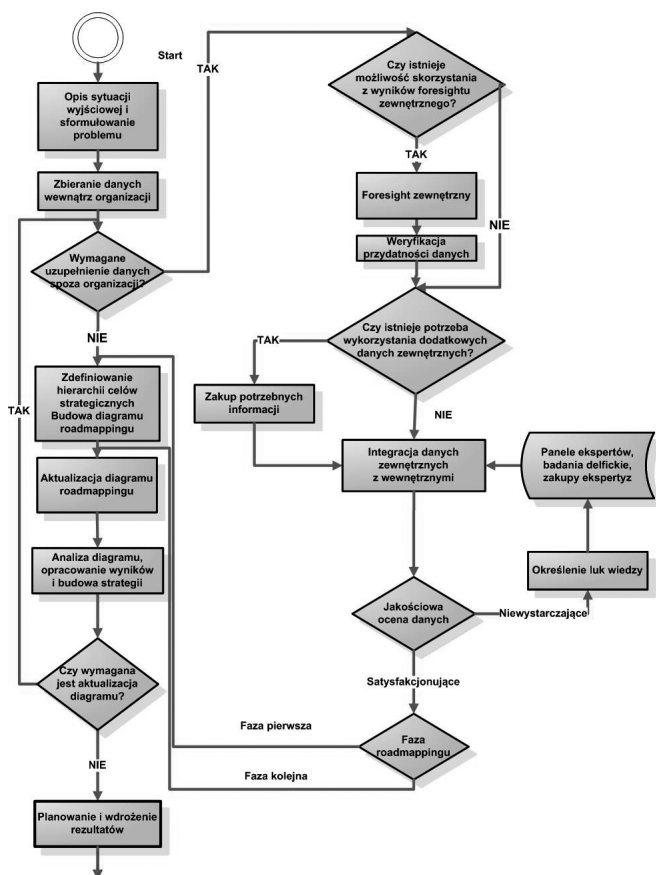
3. Przykład zastosowania roadmappingu technologicznego: prognozowanie rozwoju technologii biopaliw płynnych

Czynnością wstępną, konieczną do zainicjowania roadmappingu jest określenie celów procesu, zasobów i zakresu rozwiązywanych problemów. W niniejszym przykładzie zakładamy, że rozwiązywanym problemem jest Problem 1, a jego sformalizowanym sformułowaniem problem (6). Pierwszym etapem roadmappingu jest zebranie danych i określenie luk wiedzy dotyczących otoczenia Problemu 1, która zostaje następnie uwzględniana przy oszacowaniach $C(k)$, R , S i reguł kompromisowego wyboru strategii technologicznej w problemie (6). Roadmapping technologiczny prowadzony z punktu widzenia obecnego lub potencjalnego producenta biopaliw płynnych wymaga analizy dużej ilości trendów, zdarzeń i parametrów z różnych dziedzin, takich jak ceny paliw, cykle koniunkturalne na rynkach rolnych, koszty produkcji nawozów mineralnych, inicjatywy legislacyjne, decyzje producentów silników samochodowych itp. Należy też doprecyzować cele strategiczne organizacji i zinterpretować je jako kryteria w problemie optymalizacji (6), mogą nimi być np. maksymalizacja przyszłych korzyści (zysku, pozycji strategicznej na rynku, potencjału technologicznego firmy). Konieczne jest przy tym uwzględnienie wszystkich istotnych aspektów sytuacji biznesowej organizacji. Optymalizacja dokonywana będzie poprzez wybór wariantów inwestycji technologicznych, strategii zawierania umów z producentami lub eksporterami roślin energetycznych lub pozyskiwania terenów pod ich uprawę, przy uwzględnieniu wiedzy pozyskiwanej w procesie roadmappingu, integrowanej z wiedzą dostępną wcześniej, wizualizowanej w diagramach roadmappingowych i poddawanej analizie i dyskusji uczestników procesu.

Ogólny schemat procesu roadmappingu dla Problemu 1 pokazany jest na rysunku 1, a problemy decyzyjne i wdrożenie procesu roadmappingu przedstawione zostały na rysunku 2.

Diagramy konstruowane w procesie *roadmappingu* są projekcją alternatywnych wizji przyszłości w obszarach ważnych dla działalności danej organizacji, zatem każde działanie podejmowane w tym procesie ma związek z prognozowaniem, a analiza dynamiki jest nieodzownym jego elementem. Z tego względu niezwykle istotna jest możliwość wykorzystania zarówno odpowiednich wyników badań foresightowych, jak i oprogramowania [7, 9], które pozwala na hierarchiczną dekompozycję procesu poprzez potraktowanie diagramu roadmappingowego jako grafu lub hipergrafu [16] i analizę poszczególnych podgrafów dwudzielnych.

W przykładzie roadmappingu dotyczącym biopaliw głównym źródłem danych był raport foresightowy [18] wykonywany przez Centrum Transferu Technologii Fundacji Progress & Business na zlecenie Komisji Europejskiej w ramach ESTO (*European Science and Technology Observatory*) oraz jego późniejsze aktualizacje. W analizie strategicznej biopaliw płynnych zgodnej z Problemem 1 oraz (6)



Rys. 1. Schemat przetwarzania informacji w procesie tworzenia diagramów roadmappingowych

Fig. 1. The scheme of information processing during the process of building roadmapping diagrams

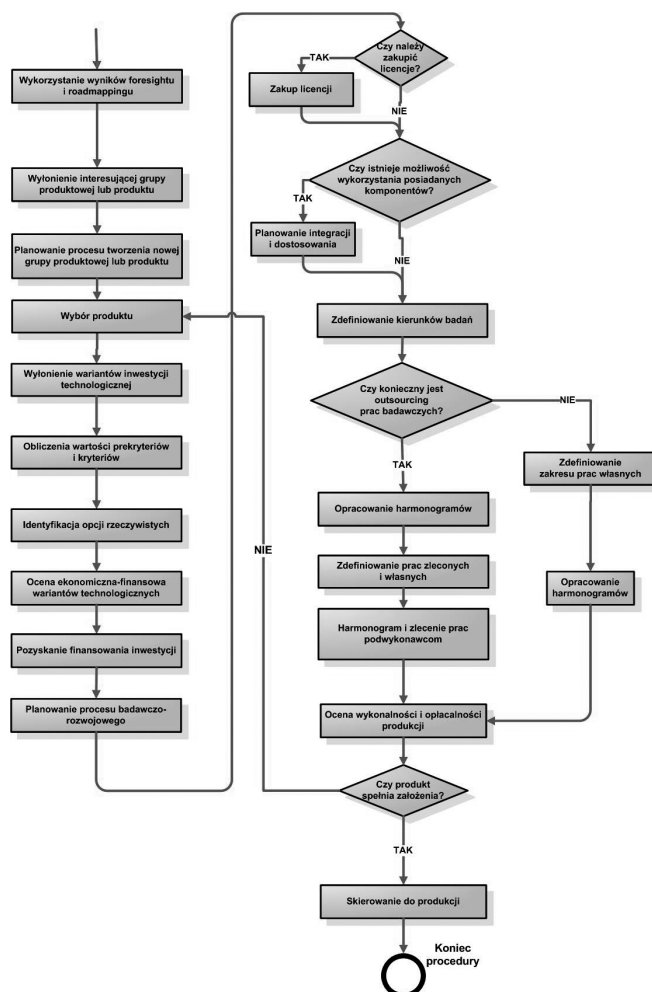
rozważanymi produktami do badań i wdrożeń jest grupa biopaliw płynnych opartych na biodieslu rzepakowym lub pochodzącym z recyklingu zużytych olei spożywczych oraz bioetanol. Do bezpośredniej analizy zdefiniowano dwie warstwy:

- Produktu
- Technologii,

a do analizy otoczenia w procesie roadmappingu wybranych zostało 5 warstw:

- Rynek (paliw kopalnych, rolne, nawozów mineralnych)
- Czynniki polityczne i legislacyjne (legislacja krajowa i UE oraz przepisy eksportowe potencjalnych dostawców biopaliw spoza UE)
- Otoczenie ekologiczno-społeczne (akceptacja dla biopaliw przez kierowców, zagadnienia emisji CO₂)
- Otoczenie ekonomiczne (terms of trade, popyt na usługi transportowe, dynamika GDP itd.)
- Badania naukowe (projekty badawcze związane z rozwojem paliw alternatywnych, opracowywanie paliw syntetycznych i innych konkurencyjnych dla biopaliw, biotechnologie, chemia węglowodorów).

Każda z warstw zawierała ponadto od 2 do 5 podwarstw, np. warstwa produktu zawierała linie produktową czystego lub domieszkowego biodiesla (20% do 100%), bioetanolu pozyskiwanego w drodze fermentacji z produktów skrobiowych, bioetanolu z celulozy i odpadów, estry metylowe, biopaliwa płynne syntezy mikrobio-



Rys. 2. Problemy decyzyjne rozwiązywane przy pomocy roadmappingu w procesie wyboru i wdrażania produkcji nowego produktu

Fig. 2. The decision problems solved during the technological roadmapping process for NP

logicznej. Łącznie analizowano 22 podwarstwy, co stanowi typową liczbę dla złożonych procesów roadmappingu.

Zgodnie z rysunkami 1 i 2, proces roadmappingu został podzielony na 4 fazy:

A. Działania wstępne, polegający na przygotowaniu merytorycznych oraz logistycznych podstaw roadmappingu. Określony został zakres projektu wraz z jego ograniczeniami i celami oraz sformułowano problem (6). Roadmapping biopaliw płynnych ma stanowić proces wspomagania decyzji inwestycyjnych producenta w horyzoncie najbliższych pięciu lat oraz budowy strategii technologicznej do roku 2020, zgodnie z horyzontem czasowym wykorzystywanych wyników foresightu biopaliw. Podejmowane decyzje powinny także umożliwić wyznaczenie perspektyw badawczych dla paliw konkurencyjnych wobec biopaliw płynnych oraz strategii marketingowych i planu zakupów know-how. Ustalono zakres wykorzystania dostępnych danych foresightowych [18] oraz danych z pozostałych źródeł.

B. Konstrukcja diagramu roadmappingu poprzez analizę powiązań pomiędzy wyodrębnionymi siedmioma warstwami modelowanych obiektów oraz badanie trendów, scenariuszy i skutków podejmowanych decyzji dla elementów wewnątrz tych warstw. W omawianym przykładzie prowadziło to do wstępnej analizy 21

grafów dwudzielnych, z których po analizie związków strukturalnych pomiędzy warstwami wybrano 12 istotnych związków, z tego I (Technologie-Produkty-Rynek) analizowany był jako hipergraf opisujący relacje ternarne pomiędzy elementami tych warstw.

Ze względu na ograniczone zasoby, badanie zależności czasowych pomiędzy elementami diagramu, trendów rynkowych i makroekonomicznych oraz ewolucji technologii oparte było w większości na wynikach uzyskanych w projektach foresightowych. Parametry dynamiki obiektów wewnątrz warstw były określane w scenariuszach lub modelach ekonometrycznych i wykorzystywane w symulacjach opartych na modelach zdarzeń dyskretnych [14]. Inne współczynniki tych równań, opisujące zależności międzywarstwowe, były z reguły momentami zmiennych losowych opisujących te związki. Wartości kryteriów optymalizacji – projekcje zysku, ryzyka, pozycji strategicznej na rynku paliw odgrywały rolę drugorzędną, natomiast istotne było ich uporządkowanie dla różnych scenariuszy.

Ważnym etapem Fazy B był interakcyjny proces wyszukiwania powiązań obiektów wewnątrz warstw, a następnie ich weryfikacji i opisu ilościowego przez grupy zadaniowe przy współpracy ekspertów zewnętrznych. Pośrednie rezultaty tego etapu były wielokrotnie dyskutowane przez panele eksperckie i aktualizowane. Podobnie przebiegał proces identyfikacji opcji rzeczywistych, którymi okazało się prawo do odsprzedaży instalacji biodiesla inwestorowi zagranicznemu. Za pomocą opcji opisać można także możliwość wykorzystania technologii lub instalacji nabytej dla konkretnego produktu w dalszych produktach lub usługach przeznaczonych dla innych segmentów rynku, np. nabyte specjalistyczne cysterny mogą być podnajmowane z zyskiem innym firmom. W przypadku identyfikacji opcji pewna trudność polega na tym, że opcje rzeczywiste nie stanowią odrębnych obiektów, lecz odpowiadają dodatkowym relacjom pomiędzy obiektami w tej samej lub w różnych warstwach, wobec czego ich wykrywanie nie jest czynnością rutynową.

W fazie C opracowano raport z roadmappingu wraz z opisem diagramu oraz rekomentacjami dla decydentów.

Diagram wizualizujący zależności przyczynowo-skutkowe otoczenia wybranego produktu, grupy produktów lub technologii w pewnym horyzoncie czasowym jest podstawowym wynikiem roadmappingu, jednakże do jego wdrożenia konieczne jest sporządzenie raportu zawierającego dane źródłowe, objaśnienia do diagramu oraz rekomendacje dla decydentów. Szczegółowy diagram i raport opracowano ostatecznie dla biodiesla. Raport zawierał ilościowe i jakościowe opisy zależności przyczynowo-skutkowych dla obiektów diagramu, analizę konsekwencji podejmowanych decyzji inwestycyjnych i mapę scenariuszy do roku 2020. Szczegółowo opisano w nim wewnątrzwarstwowe związki kauzalne, takie jak:

- W warstwie Badań Naukowych – spodziewane wyniki badań naukowych w zakresie biotechnologii, chemii węglowodorów, badań podstawowych w zakresie konwersji energii, w tym m.in. przewidywane następstwa czasowe wyników badań z różnych dziedzin, ich wzajemny wpływ, ewolucja dziedzin badawczych,
- W warstwie Technologii – dostępność technologii produkcji biodiesla i dodatków do niego w wyniku wdrażania wyników badań własnych, zakupu licencji, zakupu know-how,
- Sposobności rozwojowe w warstwach Rynek, Produkty i Technologie – identyfikacja i prognozy czynników rozwojowych pro-

dukcyj i sprzedaży, strategię wprowadzania biodiesla na rynek, prognozowana substitucja paliw płynnych.

Obszerny zbiór relacji między warstwami dotyczył głównie zależności jednostronnych, np. wpływu polityki w zakresie opłat za emisje gazów cieplarnianych na perspektywę sprzedaży biodiesla (wpływ warstw Polityka i Ekologiczno-Społecznej), prognoz rozwoju ruchu kołowego (Otoczenie Ekonomiczne), wpływu rozwoju badań w zakresie ogniw paliwowych i magazynowania wodoru na powstanie paliw i sposobów napędu konkurencyjnych dla biopaliw (Badania Naukowe, Technologie) itd. Sprzężenia zwrotne występowały głównie pomiędzy warstwami Produktu, Rynku i Technologii, gdzie technologie będące w dyspozycji producenta wykorzystywane mogą być do projektowania i wytwarzania kolejnych produktów, a dopasowanie produktów do warunków rynku, a w konsekwencji wielkość sprzedaży decydują o możliwościach rozwoju posiadanych technologii lub zakupu nowych. W zależności od potencjału badawczego organizacji relacje pomiędzy projektami badawczymi – obiektami warstwy „Badania Naukowe”, a odpowiadającymi im obiektami w warstwie „Technologie” mogą być wzajemnie zależne (firma prowadzi badania) lub zależność jest tylko zapisem posiadanej wiedzy o wdrażaniu wyników badań w zewnętrznych instytucjach badawczych. Jak wspomniano, elementem Raportu Roadmappingowego jest również zbiór rekomendacji dla decydentów, które można traktować jako konwersję elementów diagramu w warstwach Produkty i Technologie (i – częściowo – Rynek, co dotyczy działań marketingowych) na konkretne działania, zadania lub projekty, podejmowane w zależności od spełnienia warunków logicznych określanych przez pozostałe warstwy oraz w zależności od preferencji decydentów.

Faza D. Działania uzupełniające i wdrożenia.

W branży produkcji biopaliw cykl życia technologii był dotąd stosunkowo długi, przy czym najszybszy postęp technologiczny dotyczy technologii umożliwiających produkcję biodiesla w skali pojedynczego gospodarstwa rolnego, a także produkcję bioetanolu i biogazu z różnego rodzaju odpadów. W omawianych badaniach brano pod uwagę także biopaliwa płynne wytwarzane z biogazu. Wdrożenie wybranej w procesie roadmappingu strategii inwestycyjnej zajmuje od 2 do 5 lat, konieczne są zatem okresowe aktualizacje rekomendacji, uwzględniające zmienne warunki ekonomiczno-rynkowe, zgodnie z opracowanym harmonogramem. W przypadku biopaliw celowa jest coroczna aktualizacja rezultatów i rekomendacji roadmappingu z udziałem ekspertów zewnętrznych, ze szczególnym uwzględnieniem zmieniającej się w cyklach rocznych sytuacji na rynkach rolnych. Natomiast wdrażanie rezultatów roadmappingu dokonywane może być siłami własnymi producenta biopaliw.

4. Uwagi końcowe

Oprócz przedstawionego tu problemu wdrażania nowego produktu lub technologii, w organizacjach takich jak instytucje finansowe, agencje rządowe, instytucje badawcze *roadmapping* może być wykorzystany również do dalszych zadań, do których należą m.in.:

- tworzenie polityki (*policy-making*),
 - budowa strategii korporacyjnych, sektorowych i produktowych,
 - budowy strategii naukowo-badawczych i innowacyjnych.
- Jednym z pozostałych kluczowych zastosowań metodologii ro-

admapping jest dostosowanie produkcji do uregulowań prawnych lub potrzeb strategicznych jednostki nadrzędnej (Państwa, organizacji ponadnarodowych itp.). Sytuacja taka występuje, gdy zmieniające się uwarunkowania prawne wymuszają na organizacjach (przedsiębiorstwach, grupach producenckich itp.) dostosowanie produktów i usług do aktualnego ustawodawstwa. Roadmapping jest wtedy w stanie wspomóc proces decyzyjny i wskazać kilka możliwych scenariuszy dających podobne efekty (np. dostosowanie procedur stosowania substancji chemicznych do norm REACH [1], ograniczenia emisji CO₂ itp.), i jednocześnie optymalizujących dodatkowe kryteria organizacji, np. kosztowe (najtańsze rozwiązanie), czasowe (najwcześniejsze osiągnięcie pożądanych parametrów), czy też związanych z perspektywami poprawy pozycji strategicznej organizacji (np. wydatki na promocję działań proekologicznych, informację o spełnianiu wymagań REACH, norm EMAS, ISO itp.).

Zauważyć trzeba, że ściśle sformułowanie kryteriów optymalnego działania napotyka często na trudności ze względu na duży poziom niepewności co do wyniku finansowego podejmowanych działań oraz niepewną jakościową ocenę skutków przyjęcia określonych strategii. W takich sytuacjach wskazane jest wprowadzenie dodatkowych kryteriów związanych z ryzykiem (ERM – Enterprise Risk Management lub FRM – Financial Risk Management), co pozwala na formalne sformułowanie problemu wielokryterialnej optymalizacji dynamicznej, którego rozwiązanie wspomaga wybór strategii dostosowawczej.

Większe przedsiębiorstwa chemiczne mogą być także zainteresowane przeprowadzeniem roadmappingu naukowo-badawczego, traktowanego jako narzędzie wspomagania decyzji w zarządzaniu działem badawczo-rozwojowym organizacji oraz budowy strategii naukowo-badawczej. Roadmapping naukowo-badawczy, którego celem jest jedynie określenie priorytetów badawczych i technologicznych, jest często wspólnym przedsięwzięciem kilku współpracujących instytucji. Projekty tego typu, zakładające współpracę zespołu instytucji z kilku krajów Europejskiego Obszaru Badawczego (ERA) kwalifikują się do dofinansowania w ramach Programów Ramowych Badań i Prezentacji UE, inicjatyw COST, EUREKA i in. Celem takich projektów może być m.in.:

- Stworzenie portfela projektów badawczych i rozwojowych i dokonanie przydziału środków finansowych w oparciu o ocenę skutków realizacji tych projektów,
- priorytetyzacja inwestycji w badania naukowe i prace rozwojowe,
- priorytetyzacja kierunków badań zgodnie ze strategią biznesową organizacji.

Bardziej szczegółowe porównanie zastosowań i wariantów roadmappingu podane jest m.in. w [11, 16].

Na zakończenie należy podkreślić, że metodologia Roadmappingu Technologicznego stanowi efektywny schemat organizacyjny dla tworzenia i aktualizacji baz wiedzy, pozwala na sformułowanie i rozwiązanie problemów optymalizacji wielokryterialnej w odniesieniu do wyboru strategii organizacji biorąc pod uwagę jednocześnie wiele punktów widzenia. Realizacja pilotażowych projektów roadmappingu w przedsiębiorstwach chemicznych, z udziałem ekspertów z zakresu metodyki roadmappingu i foresightu oraz specjalistów branżowych, powinna pozwolić na budowę zindywidualizowanych systemów wspomagania decyzji opartych na tech-

nikach roadmappingowych, które w przyszłości zminimalizują czas interakcji z ekspertami zewnętrznymi i zapewnią efektywność procesu przetwarzania wiedzy eksperckiej podczas aktualizacji strategii technologicznych opracowanych w programach pilotażowych. Usługi proinnowacyjne zawierające m.in. badania rynku i roadmapping technologiczny oferowane są przez Centrum Transferu Technologii Fundacji Progress and Business w Krakowie, a obecnie prowadzone są starania o objęcie ich dofinansowaniem Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

Literatura

1. Angerer G., Sartorius Ch., Skulimowski A.M.J. i in.: *Implementation of REACH in the New Member States. Part one: Overview of the Chemical and Speciality Chemical Sector in the New Member States*. European Commission DG JRC – IPTS, EUR 22790 EN/1, 2007, s. 129; Part two: *Business Case Studies in Selected New Member States*, EUR 22790 EN/2, 2007, s. 71.
2. Benninga S., Tolkowsky E.: *Real options-an introduction and an application to R&D valuation*. The Engineering Economist, 2002, **2** (47), s. 151-168.
3. Black F., Scholes M.: *The pricing of options and corporate liabilities*. Journal of Political Economy, 1973, **81**, s. 637-659.
4. Borodako K.: *Aspekty metodologiczne i funkcjonalne projektów foresightu technologicznego*. W: Andrzej M.J. Skulimowski (Red.): *Transfer Technologii w Informatyce i Automatyce*. Progress&Business Publishers, Kraków, 2006, s. 377-399.
5. Constantinides G. M.: *Theory of Valuation: Overview and Recent Developments*. River Edge: World Scientific, 2005.
6. Cox J., Ross S.A., Rubinstein M.: *Option Pricing: A Simplified Approach*. Journal of Financial Economics, 1974, **(7)**, s. 229-264.
7. Duckles M.J., Coyle J.E.: *Purdue's Center for Technology Roadmapping: A Resource for Research and education in Technology Roadmapping*. West Lafayette: Purdue University, 2002.
8. Howard R.A., Matheson J.E.: *Influence Diagrams*. Decision Analysis, 2005, **2** (3), s. 127-143.
9. Lee S., Park Y.: *Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules*. Technological Forecasting and Social Change, 2005, **72**, s. 567-583.
10. Neil D.J., Hickey N.A.: *The Option Value of Investment in R&D*. W: J. Farok (Red.), *Valuation of Intangible Assets in Global Operations*, Westport: Greenwood publishing Group Inc., 2001, s. 125-146.
11. Petrick I.J., Echols A.E.: *Technology roadmapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions*. Technological Forecasting and Social Change, 2004, **71**, s. 81-100.
12. Skulimowski A.M.J.: *Decision Support Systems Based on Reference Sets*. Kraków, Wydawnictwo AGH, 1996.
13. Skulimowski A.M.J.: *Application of dynamic rankings to portfolio selection*. W: João O. Soares, Joaquim P. Pina, Margarida Catalão-Lopes (Red.) *New developments in financial modelling*, Newcastle: CSP Cambridge Scholars Publishing, 2008. *Proceedings of the 41st Meeting of the Euro Working Group on Financial Modelling: Lisbon, Portugal, November, 2007*, **8-9**, s. 196-212.
14. Skulimowski A.M.J.: *Applications of dynamic multicriteria rankings in technological forecasting*. Reports of the Department of Mathematical Information Technology. Series A. Collections, 2008, No. A 1/2008, s. 139-148.
15. Skulimowski A.M.J.: *Framing New Member States and Candidate Countries Information Society Insights*. W: Ramon Compano i Corina Pascu (Red.) „Prospects for a Knowledge-Based Society in the New Members States and Candidate Countries”, Publishing House of the Romanian Academy, January 2006, s. **5-1**.
16. Skulimowski, A.M.J., Pukocz P.: *Podstawy metodyki roadmappingu dla technologii produktowych i procesowych*. Problemy Eksploatacji, 2009 (zgłoszone do druku).
17. Skulimowski A.M.J., Rotter, P.: *Zastosowanie analizy wielokryterialnej do planowania i wyboru wariantów inwestycji*. W: T. Trzaskalik (Red.) *Modelowanie Preferencji a Ryzyko'04*, Katowice, 2004, s. 461-480.
18. Skulimowski A.M.J., Szczygieł J.: *Quantitative assessment and forecasts of bio-fuels production capability in Poland until 2020. Country Report on Poland*. W: „ESTO Study on Techno-economic feasibility of large-scale production of bio-fuels in EU-candidate countries”, DG-JRC, IPTS Sewilla 2002, s. 20.