Raport Badawczy

Research Report

RB/4/2015

Koncepcje modernizacji zarządzania i strategii długu publicznego przy wykorzystaniu metod optymalizacji i inteligencji obliczeniowej

L. Klukowski

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk

Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences

POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 3810100

fax: (+48) (22) 3810105

Kierownik Zakładu zgłaszający pracę:
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2015

Dr hab. Leszek Klukowski

Zakład Modelowania Komputerowego

Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa

Koncepcje modernizacji zarządzania i strategii długu publicznego przy wykorzystaniu metod optymalizacji i inteligencji obliczeniowej

Wstęp

Wysoki lub nadmierny poziom długu publicznego prowadzi do negatywnych skutków dla finansów publicznych i gospodarki, a nawet zagrożenia pułapką zadłużenia. Obecnie wiele krajów UE przekracza poziom zadłużenia lub/oraz deficytu określony w unijnej procedurze nadmiernego deficytu (również Polska). Dopuszczalny poziom jest określony nie tylko w procedurze nadmiernego deficytu, ale też w ustawodawstwie krajowym; może być też rozpatrywany w odniesieniu do stanu gospodarki i finansów publicznych (np. maksymalne zadłużenie dla krajów o niskim poziomie PKB wynosi 50% PKB). Nadmierne zadłużenie stwarza stałe trudności dla finansów publicznych, m.in.: napięcia w budżecie państwa (wskutek wysokich kosztów obsługi), konieczność uruchomienia rezerw, ograniczenia w realizacji niektórych celów. Ponadto, pogarsza warunki funkcjonowania gospodarki, m.in. w wyniku: zmniejszenia kredytu dla gospodarki, wzrostu opodatkowania, obniżenia ratingu (powodującego wzrost stóp procentowych).

Dług publiczny (wg ESA'2010) przekroczył w 2014 r. - kwotę 866,5 mld zł, co stanowi 50,1% PKB; w roku 2013 wielkości te wyniosły: 926,1 mld i 55,7%. Należy dodać, że wg ESA'95 kwota długu wyniosła, w roku 2013, 932,5 i 57% PKB; wzrost w stosunku do roku

2000 wyniósł ok. 18 pkt. proc. (zmiany w metodologii spowodowały więc „poprawę" wskaźników).

Koszty obsługi długu zbliżają się do 50 mld zł (bez uwzględnia umorzenia obligacji OFE); będą rosły – ze względu na znaczny poziom deficytu budżetowego. Oszczędności z tytułu kosztów długu, osiągnięte w wyniku racjonalnego zarządzania, mogą zapewnić niepomijalne korzyści, nie pociągając za sobą wydatków. Optymalizacja zarządzania długiem ma zatem istotne znaczenie dla finansów publicznych i gospodarki: umożliwia ograniczenie lub wyeliminowanie negatywnych skutków zadłużenia, a zwłaszcza minimalizację kosztów obsługi długu.

Celem pracy jest zwięzłe przedstawienie koncepcji w zakresie sformalizowanych metod optymalizacji zarządzania i strategii długu oraz omówienie efektów ich zastosowania. Problematyce tej poświęcone są m.in. prace autora i E. Kuby, wymienione w literaturze, oraz praca [Cleassens i in. 1998].

Praca składa się 6 części – omawiają one kolejno: tradycyjne zarządzanie długiem, zarządzanie z użyciem optymalizacji, zastosowanie inteligencji obliczeniowej w zarządzaniu oraz efekty optymalizacji i inteligencji obliczeniowej.

PODSTAWOWE CECHY TRADYCYJNEGO ZARZĄDZANIA DŁUGIEM I STRATEGI DŁUGU

Zarządzanie długiem polega na: określaniu poziomu i struktury długu, rodzajowej i wg wierzycieli oraz przepływów finansowych wynikających z długu. Jako podstawowy cel zarządzania przyjmuje się minimalizację kosztów obsługi, przy ograniczeniu ryzyka, głównie stopy procentowej, oraz spełnieniu warunków dotyczących pożądanych cech długu, np. średniej duracji, rozkładów terminów zapadalności, struktury instrumentów, itp. Strategia długu

uwzględnia dodatkowo cele i uwarunkowania makroekonomiczne w dłuższym horyzoncie czasu; podstawowym celem jest maksymalizacja dobrobytu.

Zarządzanie długiem stosowane w Polsce polega na wdrażaniu określonego zestawu zasad „dobrej praktyki"; w pewnym zakresie jest to działanie deklaratywne. Zasady te wyznaczają zbiór dopuszczalnych wariantów decyzji oraz metody wyboru wariantu najlepszego. Zasady dobrej praktyki obejmują m.in.: transparentność działań emitenta, odpowiednie rozmiary emisji, standaryzację instrumentów dłużnych, konieczność osiągnięcia odpowiednich parametrów długu, np.: średniego okresu zapadalności, duracji, struktury długu krajowego i zagranicznego, struktury instrumentów, itp. Parametry długu mogą być poszerzone o dodatkowe cechy portfela długu, np. wynikające z zasad: indeksowania, immunizacji, dopasowania dochodów i wydatków, itp. (zob. [Jajuga K., Jajuga T., rozdz. 3, 1997]). Zastosowanie tych zasad, wraz z analizą i prognozą sytuacji zadłużenia oraz rynku finansowego, prowadzi do sformułowania kilku wariantów decyzji, zwykle trzech (pesymistycznego, realistycznego, optymistycznego), w zakresie struktury emisji i rozkładu w czasie, a następnie wyboru wariantu minimalizującego koszty obsługi, przy ograniczeniu na ryzyko. Ocena sytuacji na rynku finansowym i prognoza opierają się na stałych konsultacjach z NBP i z inwestorami (dilerami rynku pierwotnego).

Cele metodologii tradycyjnej i sformalizowanej – optymalizacyjnej są tożsame, natomiast różnica polega na instrumentarium. Jest oczywiste, że, ze względu na poziom złożoności problemu zarządzania i strategii długu, w sposób tradycyjny można osiągnąć w najlepszym przypadku rozwiązania suboptymalne, których odległość od rozwiązania optymalnego jest trudna do oceny. Wynika to z faktu, że optymalizowane problemy zawierają wiele zmiennych decyzyjnych, mają postać nieliniową i zależą od parametrów, które nie są wyznaczane w metodologii tradycyjnej, np.: długość horyzontu optymalizacji (przekraczająca 10 lat), wartości miar

ryzyka. Ponadto liczba dopuszczalnych wariantów decyzji jest, w obecnych realiach, znacznie większa, niż trzy. Dotychczasowe doświadczenia empiryczne, oparte na rozwiązaniach kilkuset problemów optymalizacyjnych, pokazują (zob. [Klukowski 2003]), iż obie metody prowadzą do istotnie różnych wyników. Wynika to m.in. z następujących cech metodologii tradycyjnej: zawężenia zbioru rozwiązań dopuszczalnych, w stosunku do rzeczywistego zakresu tego zbioru, ograniczonych możliwości uwzględnienia szerszego spektrum mierników ryzyka, nadmiernego uproszczenia kryteriów, np. sposobu wyrażania rentowności oraz arbitralności w formułowaniu warunków ograniczających, parametrów, itp. W konsekwencji, cele realizowane nie stanowią precyzyjnego, kompleksowego odzwierciedlenia celów deklarowanych. W szczególności, celem deklarowanym jest minimalizacja kosztów obsługi, natomiast realizowanym - minimalizacja ryzyka zwiększenia tych kosztów, w wyniku wzrostu stóp procentowych. Cel realizowany można osiągnąć np. przez emisję długoterminowych instrumentów stałoprocentowych, o wysokich rentownościach.

Fragmentaryczność oraz niejawna postać niektórych założeń sprzyjają podejmowaniu decyzji nie tylko nieoptymalnych, ale również zdecydowanie błędnych. Ryzyko takich decyzji jest niskie w krajach dysponujących doświadczoną, wysoko kwalifikowaną (i opłacaną) kadrą oraz w krajach, w których zarządzanie jest oceniane przez niezależnych ekspertów; odnosi się to zwłaszcza do krajów z stabilnymi stopami procentowymi. Stosowanie metod sformalizowanych wpływa na podniesienie poziomu kadr i ułatwia realizację funkcji kontrolnych.

Należy dodać, że w niektórych krajach stosuje się metody symulacyjne (zob. [*Danish Government Borrowing and Debt* 2000]) zamiast metod optymalizacyjnych (wskutek większej prostoty). Umożliwiają one wybór najlepszego wariantu w przyjętym zbiorze, określonym na podstawie analiz, diagnoz i prognoz. Wyniki takie nie mają, w ogólności, własności rozwiązań optymalnych, ale stanowią postęp w stosunku do metodologii tradycyjnej, ponie-

waż umożliwiają poszerzenie zbioru rozpatrywanych wariantów oraz ograniczenie zakresu arbitralności i heurystyki.

Można wymienić wiele błędów w zarządzaniu i strategii długu, które zaistniały w Polsce, w ostatnich kilkunastu latach:

- przyjęcie stabilizacji relacji długu do PKB, jako celu strategicznego – w warunkach wysokiej inflacji prowadzi to do wzrostu deficytu, a w przypadku dobrej dynamiki PKB (na poziomie wzrostu potencjalnego) do „błędu w sztuce", ponieważ wzrost PKB powinien być źródłem poprawy sytuacji zadłużenia;
- nie zrealizowanie obniżki udziału zadłużenia w walutach obcych, w długu. Skarbu Państwa; doprowadziło to do zwiększenia narażenia na ryzyko walutowe, w warunkach niskiego, trwałego ratingu;
- zrealizowanie zadłużenia na poziomie wyższym, niż zakładały strategie długu, w okresie międzynarodowego kryzysu finansowego - spowodowało to ogromne obciążenie budżetu państwa kosztami obsługi długu, ze względu na wysokie stopy procentowe;
- finansowanie deficytu i refinansowanie długu Skarbu Państwa, w okresie wysokich stóp, instrumentami stałoprocentowymi o długim okresie życia – spowodowało to rozciągnięcie wysokich kosztów obsługi długu na wiele lat.

Skutki błędów w zarządzaniu długiem i strategii długu będą trwały wiele dekad; przyczynią się m.in. do obniżenia poziomu życia wskutek wysokiego opodatkowania.

KONCEPCJE ZARZĄDZANIA DŁUGIEM I STRATEGIA DŁUGU W UJĘCIU OPTYMALIZACYJNYM

Realizacja celów zarządzania długiem i strategii długu jest złożonym problemem decyzyjnym - wymaga sformułowania spójnego zestawu problemów optymalizacyjnych. Do ich roz-

wiązania niezbędne jest zastosowanie m.in. metod programowania matematycznego i teorii gier; zmienne decyzyjne tych problemów wyrażają poziom i strukturę sprzedaży instrumentów dłużnych w czasie. Sformułowanie numerycznej postaci problemów optymalizacyjnych wymaga ponadto zastosowania metod analitycznych, diagnostycznych i prognostycznych; do tego celu stosuje się metody z zakresu statystyki, ekonometrii i inteligencji obliczeniowej. Zastosowanie metod stochastycznych, zwłaszcza do celów predykcji, implikuje też wykorzystanie problemów optymalizacyjnych o takiej postaci (zob. [Grabowski W. rozdz. 19, 1980]). Istotnym składnikiem optymalizacji w zakresie długu jest ponadto wsad ekspercki.

Zastosowanie metod optymalizacji decyzji w praktyce wymaga:

- sformalizowania problemów decyzyjnych - w przypadku zastosowania programowania matematycznego jest to określenie postaci funkcji celu i warunków ograniczających,
- wyznaczenia niezbędnych parametrów tych problemów,
- opracowania algorytmów do efektywnego ich rozwiązania.

Ogólną postać problemu optymalizacyjnego (programowania matematycznego) można sformułować w następujący sposób:

zminimalizować koszty obsługi (rentowność) emitowanego długu,

przy warunkach ograniczających:

- potrzeby pożyczkowe budżetu (kapitał),
- własności emitowanego długu: poziom ryzyka, strukturę, terminy wykupu, itp.

Kryterium optymalizacji, tj. koszty obsługi długu, sformułowano w postaci iloczynu zawierającego:

- ilość sprzedawanych instrumentów dłużnych (zmienne decyzyjne) poszczególnych rodzajów (bonów i obligacji skarbowych),
- kapitał każdego instrumentu, z uwzględnieniem wykupywanych odsetek,

- rentowność, w postaci składanej stopy zwrotu.

Sformułowanie numerycznej postaci problemów optymalizacyjnych do zarządzania długiem wymaga określenia:

- rentowności instrumentów dłużnych w horyzoncie optymalizacji oraz kosztów obsługi (kryterium optymalizacji),
- horyzontu optymalizacji (inwestycji),
- miar ryzyka,
- innych pożądanych cech długu.

Istotne jest również zapewnienie:

- wysokiego poziomu adekwatności sformułowanych problemów do realiów,
- możliwości wdrożenia i stosowania w warunkach rutynowej pracy jednostki zarządzającej długiem,
- złożoności matematycznej nie wykraczającej poza typowy poziom wiedzy (program studiów doktoranckich).

Optymalne kompleksowe zarządzanie długiem wymaga rozwiązania problemów decyzyjnych na dwóch poziomach – strategicznym (makroekonomicznym) i operacyjnym. Na poziomie makroekonomicznym zmiennymi decyzyjnymi są: wielkość deficytu budżetowego i zadłużenia w okresie wieloletnim, a funkcją celu (maksymalizowaną) dynamika wzrostu PKB lub konsumpcji. Na poziomie operacyjnym zmiennymi decyzyjnymi są: struktura emisji zaciąganego długu oraz rodzaje i zakres transakcji wykonywanych na istniejącym długu. Do łącznej optymalizacji strategii długu i kosztów długu zaproponowano w pracy [Klukowski 2005] koncepcję optymalnego sterowania dwupoziomowego. Posiada ona różne funkcje celu na obu poziomach, a także nieidentyczną częstotliwość (w czasie) rozwiązywania problemów decyzyjnych.

W pracach autora oraz E. Kuby opracowano metody optymalizacji następujących problemów decyzyjnych:

- struktury instrumentów dłużnych (bonów i obligacji) sprzedawanych na przetargu;
- struktury instrumentów sprzedawanych w ustalonym okresie czasu;
- struktury instrumentów sprzedawanych w ustalonym okresie czasu, z uwzględnieniem wielowariantowości stóp procentowych;
- struktury sprzedaży instrumentów w horyzoncie trzyletniej strategii zarządzania długiem - warianty deterministyczny i stochastyczny (zob. [Klukowski 2009]);
- operacji przedterminowego wykupu (refinansowania) instrumentów z równoczesną sprzedażą instrumentów na pozyskanie środków na wykup;
- transakcji swap polegającej na zamianie stopy procentowej – ze stopy zmiennej na stałą;

Dokonanie postępu w zakresie optymalizacji zarządzania i strategii długu nie sprowadza się jedynie do innowacyjnego wykorzystania metod sformalizowanych - jest też wyzwaniem intelektualnym.

PRZYKŁADY PROBLEMÓW OPTYMALIZACYJNYCH DO OPERACYJNEGO ZARZĄDZANIA DŁUGIEM

Podstawowymi narzędziami, zastosowanymi do optymalizacji operacyjnego zarządzania długiem są metody programowania matematycznego: liniowe, wypukłe i stochastyczne [Grabowski 1980, Dantzig 1964]) oraz metody oparte na teorii gier dwuosobowych. Funkcja celu takich problemów wymaga określenia postaci rentowności i kapitału każdego instrumentu dłużnego.

Formuła $\varphi_i(x_i)$ określająca rentowność (i-tego) instrumentu dłużnego w postaci składanej stopy zwrotu, odpowiadająca sprzedaży na przetargu x_i nominałów, ma postać:

$$\varphi_i(x_i) = ((\sum_{t=1}^{n-1} S_{it} \prod_{j=t+1}^{n} (1+r_{ij}) + N + S_{in})/I_0(x_i))^{1/n} - 1, \qquad (1)$$

gdzie:

x_i - liczba nominałów i-tego instrumentu dłużnego,

S_{it} – przepływ finansowy generowany przez i-ty instrument, w okresie t,

r_{ij} – stopa procentowa (odsetkowa) i-tego instrumentu, w okresie j,

$I_0(x_i)$ – kwota inwestycji, tj. średnia cena instrumentu w chwili sprzedaży,

n – okres inwestycji w latach,

N – wartość nominału instrumentu dłużnego.

Kapitał $K_i(x_i)$ instrumentu dłużnego, płacony na przetargu, jest równy nominałowi pomniejszonemu o dyskonto i powiększonemu o wykupywane odsetki (jest to tzw. cena brudna):

$$K_i(x_i) = M - d_i(x_i) - C_i,$$

gdzie:

$d_i(x_i)$ - średnie dyskonto i-tego instrumentu,

C_i - kwota odsetek i-tego instrumentu, wykupywanych na przetargu,

przy czym średnie dyskonto wyraża się zależnością:

$$d_i(x_i) = \begin{cases} v_{i1}; & 0 < x_i \le \pi_{i1}, \\ (\pi_{i1}v_{i1} + (x_i - \pi_{i1})v_{i2})/x_i; & \pi_{i1} < x_i \le \sum_{j=1}^{2}\pi_{ij}, \\ (\pi_{i1}v_{i1} + \pi_{i2}v_{i2} + (x_i - \pi_{i1} - \pi_{i2})v_{i3})/x_i; & \sum_{j=1}^{2}\pi_{ij} < x_i \le \sum_{j=1}^{3}\pi_{ij}, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

gdzie:

v_{ik} – cena jednostkowa i-tej obligacji w k-tej ofercie (uporządkowanie ofert wg malejącej

ceny);

π_{ik} – liczba nominałów i-tej obligacji w k-tej ofercie.

Wielkość kapitału jednostkowego nie jest stała - zależy od poziomu sprzedaży – zwiększenie sprzedaży obniża średni kapitał, ponieważ w przypadku aukcji z wieloma cenami wiąże się z akceptacją ofert o rosnącym dyskoncie. Kapitał jednostkowy jest funkcją empiryczną, o postaci wynikającej z ofert przetargowych.

Funkcje określające kapitał i rentowność są, wskutek stosowania aukcji z wieloma cenami, funkcjami przedziałami liniowymi lub nieliniowymi; ich iloczyn (średnioroczny koszt obsługi) jest - w ogólnym przypadku - nieliniową, dyskretną funkcją empiryczną. Przyjęte w kryterium optymalizacji ma postać:

$$\min_{\mathbf{x}} [\sum_{i=1}^{L} x_i \varphi_i(x_i) K_i(x_i)], \qquad (2)$$

gdzie:

L – liczba instrumentów dłużnych uwzględnionych w optymalizacji;

$\mathbf{x}$ - wektor zmiennych decyzyjnych;

Przykładowa funkcja celu minimalizująca koszty obsługi obligacji dwu- i pięcioletnich, przy założeniu pięcioletniego horyzontu optymalizacji (n=5), ma postać:

$$\min_{\mathbf{x}} [x_1 (M - d_1(x_1)) \varphi_1(x_1) + x_2 (M - d_2(x_2) - C_2) \varphi_2(x_2)], \qquad (3)$$

$$\varphi_1(x_1) = \left(\left(M / \left(M - d_1(x_1) \right) \right) \prod_{j=3}^{5} \left(1 + r_{1j} \right) \right)^{1/n} - 1,$$

$$\varphi_2(x_2) = \left(\left(M * R \sum_{k=1}^{4} \prod_{j=k+1}^{5} \left(1 + r_{2j} \right) + M(1+R) \right) \Big/ \left(M - d_2(x_2) + C_2 \right) \right)^{1/n} - 1,$$

gdzie:

C_2 – odsetki od nominału obligacji pięcioletniej wykupywane na przetargu;

r_{ij} – stopa procentowa odpowiadająca i-temu instrumentowi, w roku j,

$d_i(x_i)$ – dyskonto i-tej obligacji, odpowiadające sprzedaży równej x_i.

Warunki ograniczające problemów optymalizacyjnych do zarządzania długiem można podzielić na dwa rodzaje – pierwszy jest określony przez sytuację budżetu państwa oraz politykę monetarną NBP, drugi - przez pożądane właściwości długu.

Przykładowe warunki ograniczające poziom kapitału i ryzyka mają postać

$$\sum_{i=1}^{L} x_i(M - d_i(x_i)) \geq A \qquad (A \text{ - wymagany poziom kapitału}), \qquad (4)$$

$$e \leq \sum_{i=1}^{L} \delta_i x_i / \sum_{i=1}^{L} x_i \leq f \quad (\text{ograniczenie duracji; } \delta_i \text{ – duracja } i\text{-tego instrumentu}), \qquad (5)$$

$\mathbf{z}' \mathbf{S}\, \mathbf{z} \leq \lambda$ (λ>0, **S** - macierz kowariancji lub/oraz semiwariancji, **z** – wektor wyrażający udział poszczególnych instrumentów w portfelu). (6)

Rozwiązanie optymalne powyższego problemu zapewniało w praktyce obniżkę kosztów obsługi o ok. 0,2%, w stosunku do rzeczywistej decyzji.

Jest oczywiste, że niektóre parametry występujące w funkcji celu oraz w warunkach ograniczających są prognozami, np. przyszłe rentowności, poziom potrzeb pożyczkowych (kapitał), które można uznać za realizacje zmiennych losowych. Znając ich rozkłady, można nadać zadaniom optymalizacyjnym postać stochastyczną (zob. [Klukowski 2009]).

Rozwiązywane dotychczas problemy decyzyjne dotyczące długu publicznego, zawierają od kilku do kilkudziesięciu zmiennych decyzyjnych oraz warunków ograniczających. Doświadczenia wskazują, iż zwiększenie liczby zmiennych, nie stwarza istotnych problemów numerycznych.

Przydatnym narzędziem do ograniczania ryzyka, wynikającego ze zmienności rynkowych stóp procentowych, są, obok warunków ograniczających mierniki ryzyka, modele z teorii gier.

W dotychczasowych pracach zastosowano m.in. model gry dwuosobowej ze skończoną liczbą strategii, uwzględniający przypadek wariantowych prognoz stóp procentowych (niezbędnych w funkcji celu); umożliwia on dokonanie wyboru jednego z wariantów – również w warunkach braku funkcji prawdopodobieństwa na zbiorze wariantów (zob. [Klukowski 2003, rozdz. 6]). W przypadku tym zastosowano rozwiązanie minimaksowe, tj. minimalizujące maksymalną stratę, najostrożniejsze, z punktu widzenia emitenta długu. Elementami gry, wymagającymi zdefiniowania, są: gracze i ich strategie oraz funkcja straty. Graczami w grze są: emitent oraz inwestorzy (łącznie), a strategiami – warianty prognoz; elementy funkcji (macierzy) straty mają postać:

$$w_{sr} = \Phi_s(x_s^*) - \Phi_s(x_r^*), \qquad (s=1, ..., u;\ r=1, ..., u) \qquad (7)$$

gdzie:

$\Phi_s(\cdot)$ - funkcja o postaci (2), odpowiadająca s-temu wariantowi prognozy,

x_s^*, x_r^* - rozwiązania optymalne odpowiadające – odpowiednio – s-temu oraz r-temu wariantowi prognozy,

u – liczba wariantów prognoz.

Elementy macierzy strat (7) wyrażają przyrost średniorocznego kosztu obsługi długu, wynikający z przyjęcia decyzji (rozwiązania) x_r^* (optymalnej dla r-tego wariantu prognozy), w przypadku, gdy zrealizuje się wariant s-ty. W pracach Klukowski 2003, podano uogólnienie funkcji (7) na przypadek, gdy rozwiązanie x_r^* nie spełnia warunków ograniczających zadania odpowiadającego wariantowi s-temu. Gra o powyższej postaci ma zawsze rozwiązanie optymalne; w przypadku kryterium minimaksowego może mieć ono postać zrandomizowaną, wyznaczaną przy użyciu problemu programowania liniowego.

Powyższe fakty pokazują, że problemy sformułowane do optymalizacji zarządzania długiem charakteryzują się wyższym poziomem złożoności, niż „klasyczne" zadania optymaliza-

cji portfela instrumentów finansowych (zob. [Jajuga K., Jajuga T. 1997]. Na szczególne podkreślenie zasługuje uwzględnienie realiów przetargów na instrumenty dłużne, które skutkują występowaniem nieliniowych funkcji empirycznych oraz wszechstronne ujęcie problemu ryzyka.

METODY INTELIGENCJI OBLICZENIOWEJ W ZARZĄDZANIU DŁUGIEM

Inteligencja obliczeniowa jest obszerną grupą metod przeznaczonych do przetwarzania informacji przy użyciu systemów komputerowych; obejmuje ona sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne oraz teorię zbiorów rozmytych i przybliżonych. Metody te można scharakteryzować przez następujące atrybuty: opierają się na algorytmach sformalizowanych, umożliwiających stworzenie programów komputerowych, jak też mogą wykorzystywać pewne rodzaje heurystyk. Zawierają one procedury: wnioskujące, uczące, samoorganizujące, itp., tzn. mają cechy intelektu człowieka. Dlatego też umożliwiają wykonywanie przez komputery niektórych zadań wykonywanych przez ludzi - specjalistów. Głównym ich zastosowaniem jest wzmocnienie intelektu człowieka, a nie jego zastąpienie. Systemy oparte na inteligencji obliczeniowej, do rozwiązywania złożonych problemów, są opracowywane z udziałem specjalistów z danej dziedziny.

W przypadku problematyki zarządzania i strategii długu metody inteligencji obliczeniowej mogą znaleźć zastosowanie do celów: analitycznych, diagnostycznych, prognostycznych i decyzyjnych (zob. Klukowski, Kuba 2004]). Podstawowym przeznaczeniem tych metod jest:

- określenie prognoz: makroekonomicznych (dynamika PKB, koniunktura), stanu finansów publicznych (dochody, wydatki, deficyt budżetowy, dług), zmiennych rynku finansowego (stopy procentowe, kursy walutowe), sytuacji monetarnej (inflacja, stopy ustalane przez NBP),

- wykonanie analiz i diagnoz stanu zadłużenia (poziom i struktura długu, ryzyko wynikające z zmienności stóp procentowych i kursów walutowych),

- wyznaczenie parametrów niezbędnych w problemach optymalizacyjnych (mierniki ryzyka, zakresy zmiennych, struktura instrumentów),

- generowanie wstępnych decyzji w zakresie celowości emisji długu i transakcji na nim, na podstawie sytuacji na rynku instrumentów dłużnych.

Istotną cechą metod inteligencji obliczeniowej jest fakt, iż mogą działać permanentnie oraz bazować na ogromnej ilości danych, napływających na bieżąco z systemów informacyjnych. Dane te mogą mieć postać nieprecyzyjną – numeryczną i semantyczną. Człowiek – ekspert nie jest w stanie wykonywać takich zadań analitycznych, natomiast może absorbować wyniki metod inteligencji obliczeniowej, w postaci ocen, prognoz, proponowanych decyzji, itp. Przyspiesza to podejmowanie decyzji oraz podnosi ich jakość i obiektywność.

EFEKTY ZASTOSOWANIA METOD OPTYMALIZACJI I INTELIGENCJI OBLICZENIOWEJ

Zastosowanie metod optymalizacji długu wraz z inteligencją obliczeniową wymaga wiedzy z wielu dziedzin - głównie finansów publicznych, długu i rynku finansowego oraz metod sformalizowanych i ich algorytmów komputerowych. Zapewnia jednak korzyści niewspółmierne do nakładów, stanowi również wkład do systemu społeczeństwa opartego na wiedzy. Zasadnicze efekty można sformułować w następujący sposób:

- uzyskanie kompleksowego, obiektywnego, jednorodnego (z punktu widzenia matematyki finansowej) rozwiązania najważniejszych zagadnień optymalizacji zarządzania i strategii długu publicznego, z użyciem kryterium minimalizacji kosztów obsługi, przy ograniczeniach na potrzeby pożyczkowe, ryzyko i inne cechy emitowanego portfela instrumentów dłużnych;

- uzyskanie numerycznej postaci problemów ilościowych (optymalnego portfela długu, jego ryzyka, itp.) i jakościowych (np. niezbędnego zastawu instrumentów dłużnych), w warunkach dużej zmienności prognoz rynku finansowego;

- kompleksowa realizacja zadań obliczeniowych w sposób zautomatyzowany, z wykorzystaniem wiedzy pochodzącej z algorytmów inteligencji obliczeniowej i od ekspertów, z uwzględnieniem wiedzy przybliżonej; umożliwia to szybkie, efektywne (m.in. z punktu widzenia kosztów obliczeń) i niezawodne zrealizowanie wielu wariantów obliczeń, przy różnych założeniach wejściowych.

Scharakteryzowana powyżej metodologia zarządzania i strategii długu przewyższa niewspółmiernie metodologie tradycyjne, eliminuje w maksymalnym stopniu decyzje błędne, oraz zwiększa odporność na błędy prognoz. Ponadto stwarza interdyscyplinarny obszar do współpracy z zapleczem badawczo-rozwojowym i eksperckim, m.in. z zakresu: finansów publicznych, optymalizacji, inteligencji obliczeniowej oraz predykcji makroekonomicznej i finansowej.

Metodologia taka została opracowana, w zarysowanym powyżej zakresie, w ministerstwie finansów, pod koniec lat 90-tych ubiegłego wieku. Zaniechanie tego nurtu spowodowało, w opinii autora, ruch wsteczny w rozwoju zarządzania długiem długu oraz znaczne straty dla finansów publicznych.

LITERATURA

Cleassens S., J, Kreuser, L., Seigel L, R.J.-B. Wets (1998) *A tool for Strategic Asset Liability Management*. World Bank Working Paper, Research Project Ref. No. 681-23, Washington, DC.

Danish Government Borrowing and Debt 2000. Danmark Nationalbank, Copenhagen.

Dantzig G., B. (1964) *Linear programming and extensions.* Princeton University Press, Princeton.

Grabowski W. (1980) *Programowanie matematyczne*, PWE Warszawa.

Jajuga K., Jajuga T. (1997) *INWESTYCJE, instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa.* PWN, Warszawa.

Klukowski L. (2002) *Optymalizacja zarządzania długiem Skarbu Państwa.* Bank i Kredyt nr 9, 2002.

Klukowski L. (2003) *Optymalizacja decyzji w zarządzaniu instrumentami dłużnymi Skarbu Państwa.* WSISiZ, Seria: Monografie, Warszawa.

Klukowski L. (2005) *Kompleksowa optymalizacja zadłużeniem Skarbu Państwa.* [w:] Studziński J., Drelichowski L., Hryniewicz O. (ed.): Zastosowania informatyki w nauce, technice i zarządzaniu. IBS PAN, Seria: Badania Systemowe, vol. 41, Warszawa.

Klukowski L., Kuba E. (2001) *Minimization of public debt servicing costs based on nonlinear mathematical programming approach.* Control and Cybernetics, vol. 30, no 1. IBS PAN, Warsaw.

Klukowski L., Kuba E. (2004) *Koncepcja zastosowania metod sztucznej inteligencji w zarządzaniu długiem Skarbu Państwa.* Bank i Kredyt nr 2, 2004

Klukowski L., (2010) *OPTIMIZATION OF PUBLIC DEBT MANAGEMENT IN THE CASE OF STOCHASTIC BUDGETARY CONSTRAINTS.* In: Trzaskalik T., Wachowicz T. (eds.) MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING'09, The University of Economics in Katowice, Katowice 2010.

Streszczenie

Wysoki lub nadmierny poziom długu publicznego stwarza stałe trudności dla finansów publicznych, m.in.: napięcia w budżecie państwa (wskutek wysokich kosztów obsługi), konieczność uruchomienia rezerw, ograniczenia w realizacji niektórych celów. Ponadto, pogarsza warunki funkcjonowania gospodarki, m.in. z powodu: zmniejszenia kredytu dla gospodarki, wzrostu opodatkowania, obniżenia ratingu (powodującego wzrost stóp procentowych). Wysoki, sub-kryzysowy poziom zadłużenia wymaga efektywnego – optymalnego – systemu zarządzania długiem i strategii długu. Zarządzanie polega na: określaniu poziomu i struktury długu, rodzajowej i wg wierzycieli oraz przepływów finansowych wynikających z długu. Jako podstawowy cel zarządzania przyjmuje się minimalizację kosztów obsługi, przy ograniczeniu ryzyka, głównie stopy procentowej, oraz spełnieniu warunków dotyczących pożądanych cech długu. Strategia długu uwzględnia dodatkowo cele i uwarunkowania makroekonomiczne w dłuższym horyzoncie czasu; podstawowym celem jest maksymalizacja dobrobytu.

Realizacja celów zarządzania długiem i strategii długu jest złożonym problemem decyzyjnym - - wymaga sformułowania spójnego zestawu problemów optymalizacyjnych. Do ich rozwiązania niezbędne jest zastosowanie metod programowania matematycznego i teorii gier. Sformułowanie numerycznej postaci problemów optymalizacyjnych wymaga też zastosowania metod analitycznych, diagnostycznych i prognostycznych, z zakresu statystyki, ekonometrii i inteligencji obliczeniowej. Istotnym składnikiem optymalizacji w zakresie długu jest ponadto wsad ekspercki.

W opinii autora tego tekstu, nie jest możliwe zapewnienie rzeczywistej optymalności zarządzania i strategii długu bez zastosowania wymienionego powyżej instrumentarium. Nieoptymalność powoduje znaczące straty dla finansów publicznych, m.in. wskutek nadmiernych kosztów obsługi (ich poziom zbliża się do 50 mld zł rocznie).

Słowa kluczowe: optymalizacja zarządzania i strategii długu publicznego, zastosowanie programowania matematycznego, teorii gier i inteligencji obliczeniowej,

Concept of modernization of management and strategy of public debt on the basis of mathematical programming and computational intelligence

Summary

High or excessive level of public debt results in permanent difficulties for public finance, especially: tension in state budget (in the consequence of high servicing costs), necessity of activation of reserves, limitation in some expenditures. Moreover, it deteriorates conditions of operating of economy, as a result of: reduction of credit, increase of taxation, decrease of rating (causing of increase of interest rates). High, sub-crisis level of debt requires effective – optimal – system of management and strategy. The debt management consists of: determining of debt level and structure, accordingly to type of instruments and creditors and financial flows resulting from the debt. The main purpose of the management is minimization of servicing costs, under constraints for risk level, especially interest rate, and satisfying of conditions about required debt features. Debt strategy takes into account macroeconomic targets and conditions; the basic is maximization of welfare.

Realization of purposes of debt management is the complex decision problem – it requires formulation of coherent set of optimization problems. They can be solved with a use of mathematical programming methods and theory of games. Formulation of numerical form of optimization problems require application of analytic, diagnostic and forecasting methods, based on statistics, econometrics and computational intelligence. Important part of debt optimization is also experts' component.

In the author opinion it is not possible to guarantee actual optimization of debt management and strategy without application of the mentioned above methodology. Lack of optimality indicates significant losses for the public finance, especially as a result of excessive servicing costs (their level approach the level of 50 milliards of Polish zlotys).

Keywords: optimization of management and strategy of public debt, application of mathematical programming, theory of games and computational intelligence

JEL: H68, H63, C44, C45