

# METODYKA BIM W ZARZĄDZANIU PRZEDSIĘWZIĘCIEM BUDOWLANYM

Wojciech KALISZ, Jerzy RUSIN, Andrzej TOMANA, Leonas USTINOVIČIUS

**Streszczenie:** W pracy zaproponowano nową koncepcję zarządzania przedsięwzięciem budowlanym, w której centralną rolę odgrywa metodyka BIM. Zastosowanie BIM na każdym etapie procesu budowlanego od projektu, do realizacji radykalnie zmienia dotychczasową praktykę zarządzania w budownictwie i pozwala zastosować rozwiązania znane z produkcji przemysłowej. Technologia BIM pozwala na wyeliminowanie większości błędów w modelu, który z reguły jest prototypem, a przede wszystkim pozwala zastosować efektywne metody planowania co jest słabością w stosowanych dotąd systemach zarządzania procesami budowlanymi.

**Słowa kluczowe:** BIM, Building Information Modeling, zarządzanie inwestycją budowlaną, planowanie harmonogramu inwestycji,

## 1. Wstęp

Obiekty budowlane stanowią specyficzny produkt, wykonywany na konkretne zamówienie, przez wielu współpracujących uczestników. Tradycyjny model przedsięwzięcia budowlanego (procesu inwestycyjnego) zakłada współpracę niezależnych jednostek projektowych oraz wykonawczych. Indywidualne przekonania uczestników procesu inwestycyjnego osłabiają efektywność realizacji. W inżynierii produkcji kluczowe jest wykorzystanie wiedzy i doświadczenia wszystkich uczestników procesu. Tym samym dąży się do osiągnięcia wspólnego celu, jakim jest optymalizacja przedsięwzięcia oraz maksymalna eliminacja strat, co czyni proces produkcji wydajnym na każdym etapie. Efektywność procesu budowlanego wymaga wprowadzenia bazowej struktury przekazywania informacji przy zastosowaniu systemowych ram porządkujących jego przebieg, uwzględniającą związki pomiędzy decyzjami projektowymi, a ostatecznymi efektami we wszystkich fazach budowlanego zamierzenia inwestycyjnego.

## 2. Proces budowlany

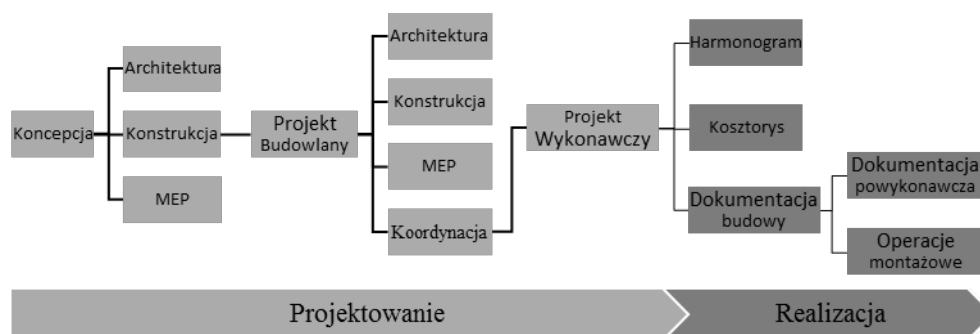
Obecnie w Polsce praktykowany jest tradycyjny model procesu budowlanego mający strukturę liniową – możemy wyróżnić etapy projektowania, planowania, realizacji użytkowania co ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Etapy procesu budowlanego. Opracowanie własne.

Etap koncepcji projektowej, będący kluczowym etapem całego procesu, tworzony jest przez architekta. Każda zmiana na etapie projektu koncepcyjnego jest stosunkowo łatwa we

wdrożeniu i wprowadzona w odpowiednim etapie odbywa się bez dodatkowych kosztów lub opóźnień. Kolejne etapy: budowlany oraz wykonawczy, odbywają się przy wsparciu pracujących równocześnie specjalistów branżowych, dodających do projektu kolejne elementy, bazując na podkładach architektonicznych bez równoczesnej koordynacji międzybranżowej. Poszczególne działania nie są w odpowiedni sposób opisane, a uczestnicy procesu nie znają swojego miejsca w strukturze oraz zakresu czynności. Przy takim schemacie działań możliwość optymalizacji czy wariantowania jest ograniczona. Często na kolejnym etapie zmiana założeń jest niemożliwa lub bardzo kosztowna. W tradycyjnym podejściu dokumentacja wykonawcza stanowi bazę do przeprowadzenia procedur przetargowych. W ogólnie przyjętym standardzie projekt wykonawczy nie zawiera jednak informacji istotnych z punktu widzenia procedur zamówień i logistyki oraz zapewnienia jakości. Każde zakłócenia spowodowane brakiem informacji wpływa na wydłużenie czasu realizacji i wzrost kosztów a w wielu przypadkach kończy się wykonaniem obiektu, który wymaga opracowania projektu zamiennego ponieważ potencjalni wykonawcy sporządzają oferty najczęściej w sposób dowolny. Często spotykaną sytuacją jest zamiana technologii w trakcie przygotowywania oferty lub w trakcie trwania robót budowlanych. Tak realizowany proces budowlany powoduje więc przesunięcie planowania (planowanie kosztów i harmonogramu), do etapu realizacji i w konsekwencji zaburza przepływ informacji (rysunek 2).



Rys. 2. Tradycyjny model procesu budowlanego. Opracowanie własne.

### 3. BIM

W przemyśle projektowanie części maszyn już od lat 90' powszechnie korzysta z technik modelowania bryłowego. Rozwój informatycznych technik wspomagających projektowanie doprowadził do zaawansowanych technik modelowania, koordynacji prac projektantów, zarządzania projektem, technik wizualizacji i renderingu. W przemyśle maszynowym powstały techniki skanowania, inżynierii odwrotnej, druku 3D i otwarty format opisujący dane modeli bryłowych (STEP). Standardem jest korzystanie z modeli 3D, na podstawie których powstają dane dla produkcji i generowana jest dokumentacja 2D. Produkcja w przemyśle ma charakter powtarzalny i każdy błąd może być powielany, wypracowano więc techniki symulacji pozwalające na etapie modelu uniknąć błędów i kolizji, które skutkowałyby w fazie użytkowania.

W budownictwie mamy z zasady do czynienia z tworzeniem prototypów. W tym procesie stosowane są głównie techniki 2D, a jako nośnik dokumentacji dominuje papier (w Polsce ponad 90%). W takim środowisku badanie kolizji i prowadzenie symulacji jest

niemożliwe. W dodatku, w budownictwie - w stosunku do przemysłu – mamy do czynienia z rozbudowaną warstwą informacji o elementach składowych budowli.

Powyższe porównanie ma na celu uzasadnienie celowości poszukiwania w budownictwie metod pozwalających osiągnąć jakość projektowania i wykonania porównywalną z produkcją przemysłową. Aby to osiągnąć, trzeba ten proces osadzić w świecie wirtualnym, gdzie wszystko powinno odzwierciedlać świat rzeczywisty takie jak lokalizacja, model terenu, dane geodezyjne i geologiczne, infrastruktura, informacje dotyczące własności, dane klimatyczne itp. W takim świecie powstaje wirtualny model budowli, który zawiera wszystkie informacje geometryczne i poza geometryczne. Umożliwia to modelowanie procesu inwestycyjnego i prowadzenie różnych symulacji na modelu wirtualnym, w tym wykrywanie kolizji. Akronim BIM (Building Information Modeling) nawiązuje do istoty tej informatycznej technologii w budownictwie. Wypracowała ona (i nadal wypracowuje) standardy w zakresie projektowania, wymiany modeli (format IFC jest rozwinięciem STEP) i kooperacji.

Warto tu wyjaśnić, że dotychczas mówiąc o projektowaniu, mieliśmy na myśli dobór parametrów geometrycznych budowli; w przypadku gdy przedmiotem pracy projektanta są parametry na płaszczyźnie (np. długość i szerokość ścian etc.) mówimy o projektowaniu 2D i odpowiednio 3D gdy praca odbywa się w trzech wymiarach. Efektem projektowania geometrycznego jest model, który jest przedmiotem symulacji i doboru parametrów pozageometrycznych – czasu realizacji, kosztów i wielu innych. Model BIM stworzył możliwości efektywnego i automatycznego tworzenia przedmiarów, zestawienia materiałów, planowania harmonogramu i kosztów, czyli projektowania w dodatkowych wymiarach 4D i 5D [1] oraz szeregu niekonwencjonalnych działań takich jak np. zarządzania zmianami w projekcie [2, 8].

Z perspektywy dotychczasowych efektów wdrożenia BIM w budownictwie, najwyżej można ocenić etap projektowania. Na dalszych etapach nie ma jeszcze wypracowanych dobrych praktyk. Utrwalona jest m.in. mylna, według autorów, tradycja aby szczegółowe kalkulacje i harmonogram tworzone były na etapie projektu wykonawczego czy budowlanego co może mieć tylko charakter szacunkowy i wykracza poza kompetencje projektantów. Dzięki BIM istnieje możliwość zastosowania w budownictwie metod planowania i symulacji zbliżonych do efektywnych metod znanych w produkcji przemysłowej, co teraz pokażemy. W metodyce BIM mamy zestaw reguł integrujących zasoby ludzkie związane z projektem inwestycji budowlanej określane jako IPD (Integrated Project Delivery) czyli Zintegrowana Realizacja Przedsięwzięć [1], w którym nacisk położony jest na organizacyjno-prawne aspekty współpracy w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym. W zasadzie IPD nie dotyczy kwestii technologicznych i rozwiązań informatycznych z wyjątkiem tych, które dotyczą wymiany danych podczas kooperacji.

#### **4. Koncepcja zintegrowanego procesu budowlanego**

Tradycyjny proces budowlany nie jest przystosowany do efektywnego stosowania BIM na wszystkich jego etapach. Dotyczy to głównie udziału projektowania poza geometrycznego - 4D, 5D i 6D na etapie planowania i realizacji wraz z odpowiednimi technikami zwiększającymi skuteczność tych etapów.

Biorąc pod uwagę analogię procesu powstawania projektu w procesie budowlanym do metod inżynierii oprogramowania oraz realizacji obiektu do metod planowania produkcji proponuje się nowy model procesu budowlanego. Stwarza on warunki do zastosowania na

etapie projektu rozwiązań inżynierii oprogramowania zaś na etapie budowy rozwiązań znanych z metod zarządzania produkcją.

Oznacza to, że proponowany model procesu budowlanego na etapie koncepcji, koordynacji i projektowania może być zarządzany według schematów i standardów znanych w inżynierii oprogramowania. Z kolei proces realizacji obiektu należy traktować jak proces analogiczny do procesu produkcji (planowanie i realizacja) z wykorzystaniem metod kontroli i jakości produkcji. Planowanie na poziomie globalnym (całej inwestycji) i analiza ryzyka odbywa się na etapie projektowania (w trakcie wyboru wariantu optymalnego). Planowanie lokalne – krótkookresowe - odbywa się w trakcie realizacji obiektu. W tej wersji planowania sterowanie operacjami prowadzone jest w taki sposób, żeby spełnić założenia projektowe dotyczące warunków konstrukcyjnych, zapewnienia jakości, terminu realizacji i budżetu. Jest to podejście odmienne w porównaniu do tradycyjnego modelu, w którym projektant narzuca rozwiązania, które są szczegółowo kalkulowane i planowane bez uwzględnienia specyfiki przedsiębiorstwa, potencjału ludzkiego, możliwości finansowych i technicznych, które są w kompetencji wykonawcy.

Punktem wyjściowym proponowanej koncepcji zintegrowanego procesu budowlanego był przegląd metodyki projektowej brytyjskiej Izby RIBA „Plan of work” [3] i metod znanych w inżynierii oprogramowania oraz planowaniu produkcji. Na podstawie analizy przypadków obiektów zrealizowanych zidentyfikowano miejsca problemowe oraz zależności czasowe. Opracowano etapy procesu budowlanego, przy zastosowaniu metodyki BIM i systemowych ram porządkujących jego przebieg w jedną zorganizowaną strukturę działania, uwzględniającą związki pomiędzy decyzjami projektowymi, a ostatecznymi efektami. Proponowany schemat procesu inwestycyjnego ilustruje rysunek 3 oraz tabele, gdzie kolorami zaznaczono odpowiadające sobie etapy.

Wyszczególniono uczestników etapów, określono dane wejściowe i wyjściowe do kolejnych etapów oraz kluczowe zadania (tabela 1 i 2).

Etap 1 – koncepcja – przygotowanie koncepcji projektowej.

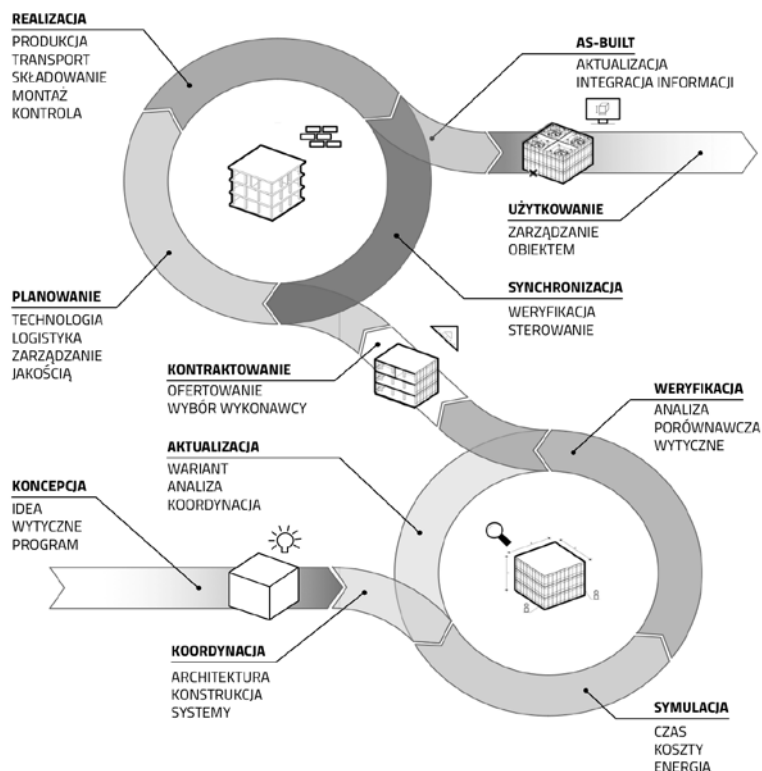
Etap 2 – koordynacja – zbudowanie modelu zawierającego przyjęte założenia w poprzednim etapie, skoordynowane branżowe. Kluczowe jest odpowiednie przypisanie informacji do każdego obiektu modelu.

Etap 3 – projektowanie – etap składa się z podzadań, które realizowane są w sposób iteracyjny do osiągnięcia optymalnego rozwiązania. Symulacja – na podstawie modelu koordynacyjnego i zadanych kryteriów budowane są kolejne warianty w środowisku 5D, następnie odbywa się weryfikacja wariantu i przekazywane są wytyczne do kolejnego podzadania, którym jest aktualizacja modelu. Wynikiem tych operacji jest wyłonienie modelu 5D, w którym do danego elementu przypisane są informacje: wyniki obliczeń statyczno-wytrzymałościowych. Zdaniem autorów etap projektowania powinien odzwierciedlać rzeczywisty proces realizacji z uwzględnieniem struktury i kolejności wykonywania robót budowlanych – od montażu konstrukcji do prac wykończeniowych.

W tym celu wprowadzono definicję modelu 6D jako rozwinięcie modelu 3D o informacje dotyczące operacji montażowych konstrukcji obiektu. Istnieje powszechna zgoda co do określenia projektowania geometrycznego jako 3D, ale w sprawie kolejnych wymiarów nie ma już takiej umowy; na potrzeby niniejszego artykułu przyjęto oznaczać przestrzeń danych montażowych jako 6D, choć zwykle jest on używany w kontekście projektowania parametrów energetycznych.

Na etapie projektowania model geometrii 3D budowany jest na ogólnym poziomie szczegółowości (LOD 100) a do elementów przypisywane są informacje – wytyczne do

projektowania szczegółowego na etapie realizacji. Powyższe założenie powoduje eliminację dokumentacji wykonawczej 2D. Podstawą realizacji jest model 6D, w którym zawarte są interaktywne instrukcje montażowe.



Rys. 3. Proponowany model budowlanego procesu inwestycyjnego.  
Opracowanie własne.

Etap 4 – kontraktowanie – istotną zmianą w stosunku do tradycyjnego procesu jest etap wyboru wykonawcy, w którym materiałami przetargowymi jest wyłoniony w drodze symulacji model 5D z założonym czasem realizacji (kamienie milowe) oraz przewidywanym kosztem budowy. Wybór wykonawcy nie odbywa się na podstawie kryterium ceny, możliwe jest zastosowanie kryterium kosztu życia obiektu ze względu na automatyczny sposób porównania ofert.

Etap 5 – budowa – etap składa się z trzech części następujących po sobie cyklicznie. Na podstawie modelu referencyjnego oraz warunków kontraktu tworzony jest szczegółowy plan przygotowania produkcji: wybór elementów wykonywanych w danym cyklu, dobór technologii wykonania, harmonogram szczegółowy i procedury zarządzania jakością. Informacje zapisywane są w modelu 6D, który przekazywany jest na plac budowy, gdzie odbywają się operacje montażowe i kontrola jakości. W finalnej części cyklu odbywa się synchronizacja modelu 6D oraz opracowywane są założenia dotyczące kolejnych cykli produkcji. W momencie zmian projektowych, pozwala to na sprawdzenie historii decyzji projektowych, powrót do miejsca problemowego, dokonanie korekty, a następnie określenie zakresu oddziaływania zmiany w przygotowaniu produkcji kolejnego cyklu.

Tab. 1. Przepływ informacji w proponowanym modelu procesu budowlanego.

	Etap 1 - koncepcja	Etap 2 - koordynacja	Etap 3 - projektowanie		
			Symulacja	Weryfikacja	Aktualizacja
Uczestnicy	inwestor architekt konstruktor (konsultacja)	- architekt - konstruktor - instalatorzy - rzeczoznawcy - nadzór inwestorski	- architekt - konstruktor	- architekt - konstruktor - instalatorzy - rzeczoznawcy - inwestor - nadzór inwestorski	- architekt - konstruktor
Dane wejściowe	Program funkcjonalno użytkowy (PFU)	- model koncepcyjny - materiały wizualne - schematy ideowe i funkcjonalne	- model koordynacyjny lub model 5D - wariant zaktualizowany - kryteria analizy - termin realizacji - koszt inwestycji - koszty eksploatacji	model 5D - kolejny wariant	wytyczne do aktualizacji
Kreowane zadania	- kreowanie bryły - założenia konstrukcyjne - adaptacja PFU	analiza architektoniczna i konstrukcyjna	optymalizacja możliwych rozwiązań według zadanych kryteriów	ocena wariantu	aktualizacja modelu 5D
Dane wyjściowe	model koncepcyjny: - geometria - schematy ideowe i funkcjonalne	model koordynacyjny: - architektura - konstrukcja - instalacje	model 5D - kolejne warianty	wytyczne do aktualizacji lub model referencyjny 5D (wynik końcowy optymalizacji)	model 5D - wariant zaktualizowany

Źródło: Opracowanie własne.

Etap 6 – As-Built – w etapie As-built tworzony jest model 7D, w którym zawierane są informacje dotyczące wbudowanych elementów (dokumentacja powykonawcza, instrukcje dotyczące eksploatacji).

Etap 7 – Użytkowanie – końcowy etap, w którym model stanowi bazę danych do zarządzania obiektem.

## 6. Wnioski

Przedstawiona w niniejszej pracy koncepcja budowlanego procesu inwestycyjnego konsekwentnie wykorzystuje metodykę BIM na każdym etapie procesu, a nie - jak to jest obecnie praktykowane – głównie w fazie projektowania.

Proponowane podejście umożliwia przekształcenie dotychczasowego, procesu w nową dyscyplinę inżynierską, opartą na metodyce BIM oraz sprawdzonych praktykach zarządczych. Istotnym faktem jest możliwość zapewnienia niezmiennej i wysokiej jakości, ponieważ kryteria akceptacji są uzgadniane i zatwierdzone przez inwestora we wczesnych fazach procesu - podobnie czas i budżet.

Naturalną ścieżką staje się dostosowanie procesu do wytycznych normy ISO 9001, która jest przeznaczona do zastosowania tam, gdzie konieczne jest zachowanie przez dostawcę zgodności z określonymi wymaganiami na wielu etapach, które obejmują projektowanie, rozwój produktu, produkcję, instalację oraz serwisowanie.

Tab. 2. Przepływ informacji w proponowanym modelu procesu budowlanego.

	Etap 4 - kontraktowanie	Etap 5 - budowa			Etap 6 - As-Built	Etap 7 - użytkowanie
		Planowanie	Realizacja	Synchronizacja		
Uczestnicy	- inwestor - nadzór inwestorski - oferenci	- wykonawca - architekt - nadzór inwestorski	- wykonawca - nadzór inwestorski	- wykonawca - nadzór inwestorski - architekt	- wykonawca - nadzór inwestorski - architekt	- inwestor - zarządca
Dane wejściowe	- model referencyjny 5D (wynik końcowy optymalizacji) zintegrowany z SIWZ	- model referencyjny 5D lub model 6D - zaktualizowany - moce przerobowe - warunki kontraktu	- model 6D - kolejne fazy	- model 5D - kolejne fazy raport postępu prac raport jakości	- model 6D	- model 7D
Kluczowe zadania	- weryfikacja ofert - wybór wykonawcy	- planowanie produkcji	- operacje montażowe	- synchronizacja modelu - weryfikacja postępu prac - wytyczne do planowania	- aktualizacja informacji modelu	- zarządzanie obiektem
Dane wyjściowe	- warunki kontraktu	- model 6D - kolejne fazy budowy - harmonogram - projekt technologiczny - instrukcje - zarządzanie jakością	- raport postępu prac - raport zapewnienia jakości	- model 6D - zaktualizowany	- model 7D	- model do kolejnego cyklu życia obiektu

Źródło: Opracowanie własne.

Zdaniem autorów może to stanowić istotny postęp w realizacji przedsięwzięć budowlanych. Propozycje zawarte w niniejszym artykule autorzy zamierzają zweryfikować na rzeczywistych przedsięwzięciach. Przedmiotem oceny będzie sposób w jaki zaproponowana koncepcja pozwala przeprowadzić integrację całego procesu oraz jakie są szczegółowe potrzeby w tym zakresie w przedsiębiorstwach projektowych i wykonawczych. Będzie to podstawą opracowania ostatecznych założeń, a następnie koncepcji systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie budowlanym procesem inwestycyjnym, który wykorzystuje innowacyjne koncepcje modelowania informacji o budowlani w połączeniu ze sprawdzonymi i efektywnymi metodami inżynierii programowania i planowania produkcji.

## Literatura

1. Tomana A., BIM Innowacyjna technologia w budownictwie. Podstawy, standardy, narzędzia. Builder, Kraków, 2016.
2. Juszczak M., Tomana A., Bartoszek M.: Current Issues of BIM-based Design Change Management, Analysis and Visualization, Procedia Engineering, Volume 164, 2016, Pages 518–525, Selected papers from Creative Construction Conference 2016.
3. Riba Plan of Work, [pdf] 2013

4. Strona internetowa: <http://www.nationalbimstandard.org/>
5. Łabuda W., Podejście zwinne a tradycyjne do projektów wytwarzania oprogramowania, Zeszyty Naukowe WWSI, No 13, Vol. 9, 2015, s.57-87
6. Kaczmarczyk W., Przegląd zaawansowanych modeli planowania produkcji, referat wygłoszony na II Warsztatach Naukowych dla doktorantów w dyscyplinie Inżynieria Produkcji w dniu 26 czerwca 2014 w Krakowie.
7. Sołowiej A., Zarządzanie jakością przy produkcji oprogramowania, czyli jakość to będzie (w następnym wydaniu), XIII Konferencja PLOUG, Kościelisko, 2007.
8. Migilinskas D., Ustinovichius L., Computer-Aided Modelling, Evaluation and Management of Construction Projects According to PLM Concept, Proceeding, CDVE'06 Proceedings of the Third international conference on Cooperative Design, Visualization, and Engineering Pages 242-25

Mgr inż. Wojciech KALISZ  
4inv sp. z o.o.  
00-124 Warszawa, ul. Rondo ONZ 1  
tel./fax: +48 510683159  
e-mail: wkalisz@4inv.pl

Mgr inż. arch. Jerzy RUSIN  
BIM Point Sp. z o.o.  
30-702 Kraków, ul. Lipowa 4D  
tel. +48 608663747  
e-mail: jerzyrusin@bimpoint.pl

Dr inż. Andrzej TOMANA  
Datacomp sp. z o.o.  
30-552 Kraków, ul. Gen. H. Dąbrowskiego 24,  
tel./fax +48 124129977  
e-mail: a.tomana@datacomp.com.pl

Prof. zw. dr hab. inż. Leonas USTINOVIČIUS  
Międzynarodowy Chiński i Środkowo-Wschodnioeuropejski  
Instytut Logistyki i Nauki o Usługach  
Wydział Zarządzania Politechniki Białostockiej  
Białystok University of Technology  
16-001 Kleosin, O. Tarasiuka str. 2  
tel./fax: +48 85 746 98 02, fax +48 85 663 19 88  
e-mail: leonas959@gmail.com