

## MODELE NUMERYCZNE WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ ARCHITEKTONICZNYCH I KONSTRUKCYJNYCH

*Streszczenie: Przedmiotem pracy są modele numeryczne dwóch zespołów budynków zdefiniowane w języku programowania Formian oraz opisy dwóch projektów koncepcyjnych przygotowanych na międzynarodowy konkurs architektoniczny eVolo2015, dla potrzeb których modele te opracowano. Projektowane budynki są posadowione na systemie fundamentu zespolonego, który wykonany za pomocą szczelnych skrzyń odpowiednio połączonych ze sobą umożliwia budowanie platform unoszących się na wodzie, stanowiących podstawy do wznoszenia na nich obiektów wielopiętrowych. Platformy te mogą być zamocowane blisko wybrzeża lub swobodnie pływać z dala od niego. W tym drugim wypadku będą one stanowić podstawę dla samowystarczalnych żywnościowo i energetycznie jednostek osiedleńczych. Proponowane megastruktury mają niekiedy złożone kształty, dlatego zastosowanie ich modeli numerycznych, zdefiniowanych za pomocą odpowiednich parametrów przyjętych przez programistę, znacząco ułatwia proces projektowy szczególnie podczas częstego dokonywania modyfikacji kształtów obiektów. Zestawy stosownych parametrów w połączeniu z odpowiednimi funkcjami języka programowania Formian sprawiają, że proces projektowania nawet bardzo skomplikowanych struktur jest stosunkowo szybki i bardzo efektywny.*

## NUMERICAL MODELS OF SELECTED ARCHITECTONIC AND STRUCTURAL SOLUTIONS

*Abstract: The subject of the paper refers to numeric models of two complexes of buildings defined in programming language Formian and to descriptions of two conceptual designs prepared for the international architectonic competition eVolo2015, for needs of which these models have been worked out. The designed buildings are supported on the system of combined foundation, which is made by means of the leak proof boxes suitably connected together and creating bases for construction of multi-storey buildings. These platforms can be fastened close to the sea shore or they can be free floating artificial islands in a far distance from it. In the second case they will be the bases for the energy and food self-sufficient floating settlements. The proposed mega-structures are of complex shapes therefore application of numerical models of them, defined by the programmer with help of suitably assumed sets of parameters, makes the design process significantly easier, particularly during frequent modifications of the building shapes. Sets of appropriate parameters in connection of suitable functions of the programming language Formian make the design process, of even very complex structures, the relatively fast and efficient task.*

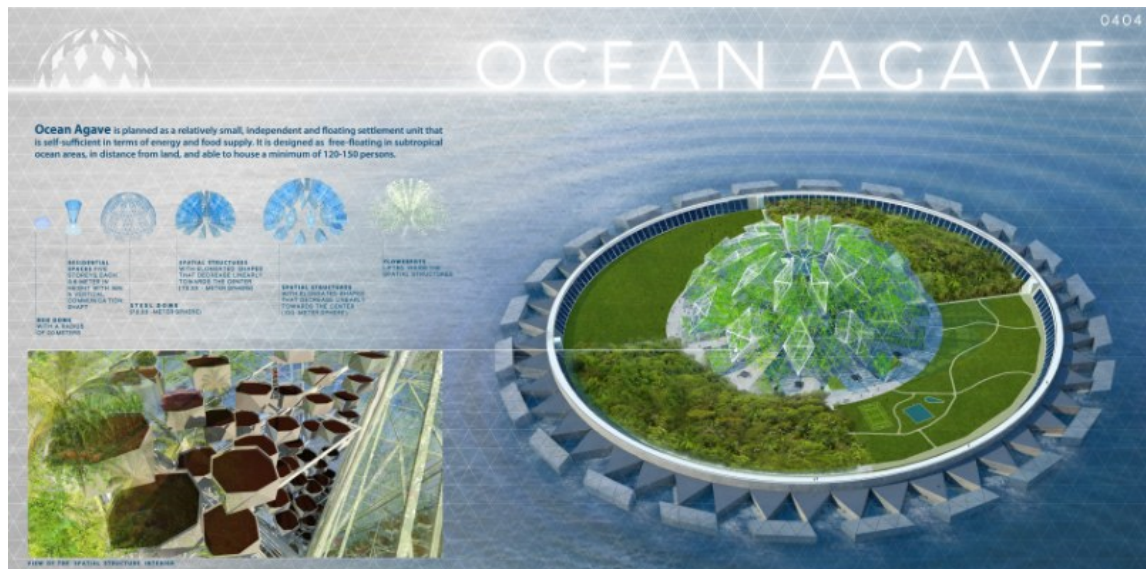
*Słowa kluczowe: modele numeryczne, język programowania Formian*  
*Keywords: numerical models, programming language Formian*

## 1. WPROWADZENIE

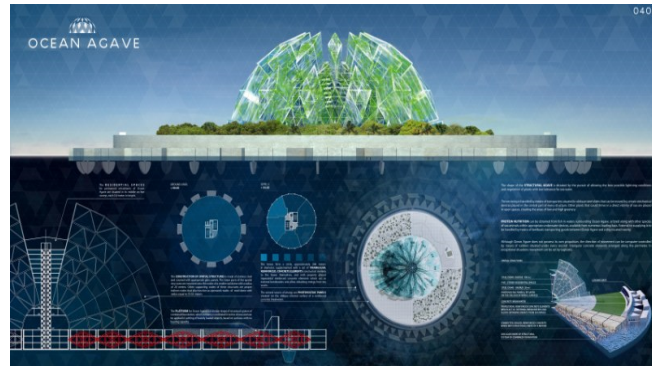
Podczas projektowania struktur architektonicznych o skomplikowanych kształtach należy czasami dość radykalnie modyfikować przyjętą na początku formę budynku lub zespołu budynków. Modele numeryczne takich obiektów mogą być zdefiniowane w języku programowania Formian przy użyciu stosownie dobranych parametrów [1, 2, 3]. Dzięki odpowiedniej zmianie wartości tych parametrów nawet gruntowna modyfikacja przyjętej wstępnie formy projektowanego obiektu jest zadaniem stosunkowo prostym, co jest szczególnie ważne w przypadku projektowych opracowań konkursowych przygotowywanych z reguły w krótkim czasie. Prezentowane modele numeryczne przygotowano dla potrzeb takich opracowań projektowych, które jednocześnie ilustrują możliwości potencjalnych zastosowań systemu fundamentu zespolonego [4, 5, 6, 7] jako konstrukcji pływających platform stanowiących podstawy dla budynków wielopiętrowych.

## 2. OPIS KONCEPCJI ORAZ MODEL NUMERYCZNY OCEAN AGAVE

Pierwszym z przedstawianych jest projekt Ocean Agave, czyli Oceanicznej Agawy, taką nazwę nadano temu obiektowi dla podkreślenia funkcjonalnych oraz formalnych cech charakterystycznych tego założenia. Całość zaprojektował autor przy współpracy technicznej pozostałych członków zespołu, którymi byli Wojciech Kocki i Maciej Rębielak. Plansze przedstawiające całość projektu pokazano na rys. 1 oraz na rys. 2.



Rys. 1. Plansza pierwsza projektu konkursowego dotyczącego obiektu nazwanego Ocean Agave



Rys. 2. Druga plansza projektu konkursowego dotyczącego obiektu nazwanego Ocean Agave

Projektowany obiekt ma w rzucie poziomym kształt koła o średnicy ponad 400,00 metrów, a w jego centrum jest usytuowany budynek zawierający część mieszkalną oraz część użytkową uformowaną w postaci kilkudziesięciu ukośnych struktur, których długość jest równa 100,00 metrom, a kierunki ich osi ogniskują się w punkcie centralnym tego koncentrycznego założenia. Przestrzeń tych ukośnych struktur jest przeznaczona do uprawy roślin tzw. kontynentalnych, natomiast roślinność dobrze znosząca klimat morski jest uprawiana na otwartym terenie Ocean Agave. Wokół obwodu rozmieszczony jest falochron, którego elementy składowe służą do pozyskiwania energii z ruchu fal morskich, a w obszarach licznych niewielkich basenów są rozmieszczone urządzenia niezbędne do hodowli ryb i innych stworzeń morskich. Idealnie w centrum Ocean Agave znajduje się obiekt usytuowany pionowo o wysokości równej 73,33 metra zawierający pomieszczenia mieszkalne dla stałych mieszkańców oraz osób odwiedzających lub mogących tam czasowo przebywać. Ta samowystarczalna energetycznie i żywnościowo jednostka osadnicza jest usytuowana na podstawie w postaci odpowiednio skonstruowanej formy fundamentu zespolonego. Model numeryczny głównej części tej megastruktury definiuje program Agawa1, jego treść całości przedstawiono niżej w postaci możliwej do bezpośredniego zastosowania w wymaganym oprogramowaniu Formian. Graficzna reprezentacja wyniku wykonania tego programu jest pokazana na rys. 3.

### Agawa1

(\*)Siatka górna(\*)

```
Trojkt1={ [25.877936,0.0,96.576457;49.571939,6.5286243,86.60254],[49.571939,6.5286243,86.60254;49.571939,-6.5286243,86.60254],[49.571939,-6.5286243,86.60254;25.877936,0.0,96.576457]};
```

```
Trojkt2={ [49.571939,-6.5286243,86.60254;70.710678,0.0,70.710678],[70.710678,0.0,70.710678;49.571939,6.5286243,86.60254]};
```

```
T1=Trojkt1#Trojkt2;
```

```
Trojkt3={ [70.710678,0.0,70.710678;85.861119,-11.307909,49.571939],[70.710678,0.0,70.710678;85.861119,11.307909,49.571939],[85.861119,-11.307909,49.571939;85.861119,11.307909,49.571939]};
```

```
Trojkt4={ [85.861119,11.307909,49.571939;96.576457,0.0,25.877936],[85.861119,-11.307909,49.571939;96.576457,0.0,25.877936]};
```

```
T2=Trojkt3#Trojkt4;
```

```
T3={ [96.576457,0.0,25.877936;99.14388,13.057248,0.0],[96.576457,0.0,25.877936;99.14388,-13.057248,0.0],[99.14388,-13.057248,0.0;99.14388,13.057248,0.0]};
```

```
PasG=T1#T2#T3;
```

```

(*)Pręty poziome górne (*)
N1={[25.877936,0.0,96.576457;25.55024,6.8449092,96.576457]};
N2={[70.710678,0.0,70.710678;68.302109,18.298135,70.710678]};
N3={[96.576457,0.0,25.877936;93.28684,24.991544,25.877936]};
PretZwor={[25.877936,0.0,96.576457;0,0,100]};
ModSiatG=N1#N2#N3#PasG#PretZwor;
SiatGT=ros(1,2,0,0,24,15)|ModSiatG;(*)Pełna siatka górna(*)
(*)Budowanie siatki dolnej(*)
TrojD1={[5.1755872,0.0,19.315291;9.9143878,1.3057248,17.320508],[5.1755872,0.0,
19.315291;9.9143878,-1.3057248,17.320508],[9.9143878,-
1.3057248,17.320508;9.9143878,1.3057248,17.320508]};
TrojD2={[9.9143878,1.3057248,17.320508;14.142135,0.0,14.142135],[9.9143878,-
1.3057248,17.320508;14.142135,0.0,14.142135]};
D1=TrojD1#TrojD2;
TrojD3={[14.142135,0.0,14.142135;17.172223,2.2615818,9.9143878],
[17.172223,2.2615818,9.9143878;17.172223,-
2.2615818,9.9143878],[14.142135,0.0,14.142135;17.172223,-2.2615818,9.9143878]};
TrojD4={[17.172223,2.2615818,9.9143878;19.315291,0.0,5.1755872],[17.172223,-
2.2615818,9.9143878;19.315291,0.0,5.1755872]};
D2=TrojD3#TrojD4;
D3={[19.315291,0.0,5.1755872;19.828776,2.6114496,0.0],[19.315291,0.0,5.1755872;
19.828776,-2.6114496,0.0],[19.828776,-2.6114496,0.0;19.828776,2.6114496,0.0]};
PasD=D1#D2#D3;(*)Pas siatki dolnej(*)
(*)Pręty poziome DOLNE (*)
M1={[5.1755872,0,19.315291;5,1.3395,19.315291]};
M2={[14.142135,0.0,14.142135;13.660421,3.6596267,14.142135]};
M3={[19.315291,0,5.1755872;18.657367,4.9983086,5.1755872]};
PretZwoD={[5.1755872,0,19.315291;0,0,20]};
ModSiatD=PasD#M1#M2#M3#PretZwoD;(*)Pręty poziome DOLNE (*)
SiatDT=ros(1,2,0,0,24,15)|ModSiatD;(*)Pełna siatka dolna(*)
<>(*)Moduły struktury głównej(*) clear;
Kraw1={[5.1755872,0.0,19.315291;25.877936,0.0,96.576457]};
Kraw2={[9.9143878,-1.3057248,17.320508;49.571939,-6.5286243,86.60254]};
Kraw3={[9.9143878,1.3057248,17.320508;49.571939,6.5286243,86.60254]};
Kraw4={[14.142135,0.0,14.142135;70.710678,0.0,70.710678]};
Modul1=Kraw1#Kraw2#Kraw3#Kraw4#D1#T1;
Kraw5={[17.172223,-2.2615818,9.9143878;85.861119,-11.307909,49.571939]};
Kraw6={[17.172223,2.2615818,9.9143878;85.861119,11.307909,49.571939]};
Kraw7={[19.315291,0.0,5.1755872;96.576457,0.0,25.877936]};
Modul2=D2#T2#Kraw4#Kraw5#Kraw6#Kraw7;
Kraw8={[19.828776,-2.6114496,0.0;99.14388,-13.057248,0.0]};
Kraw9={[19.828776,2.6114496,0.0;99.14388,13.057248,0.0]};
Modul3=Kraw7#Kraw8#Kraw9#D3#T3;
Modul22= ver(1,2,0,0,15)|Modul2;
use&,vt(2),vm(2),c(1,2),c(4,10),vh(247,-129,135,0,0,0,0,1);
Unit1=Modul1#Modul22#Modul3;
draw Unit1; <> clear;
AgavP=ros(1,2,0,0,12,30)|Unit1;
use&,vt(2),vm(2),c(1,2),c(4,10),vh(-2247,-129,550,0,0,0,0,1);
draw AgavP; <> clear;

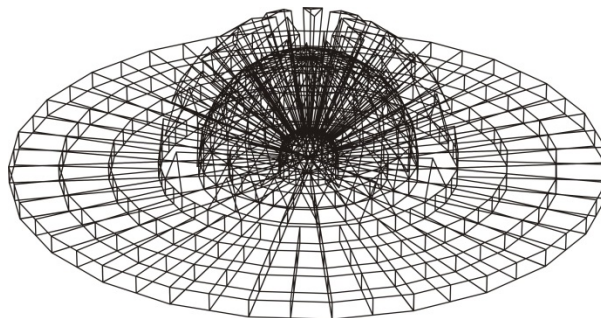
```



```

m=0.73333333;
SiatX=dil(1,m)|dil(2,m)|dil(3,m)|SiatGT;
Agave1=SiatX#SiatDT#AgavP;
use&,vt(2),vm(2),c(1,2),c(4,10),vh(-2247,-129,550,0,0,0,0,1);
draw Agave1;
<> clear; (*)Podstawa(*)
m=-12;(*)Parametr głębokości fundamentu podstawy(*)
Kraw1={99.14388,13.057248,0.0;19.828776,2.6114497,0.0}};
Kraw2={99.14388,-13.057248,0.0;19.828776,-2.6114497,0.00}};
PoprzA={99.14388,13.057248,0.0;99.14388,-13.057248,0.0}};
PoprzB={72.705512,9.5753159,0.0;72.705512,-9.5753159,0.0}};
PoprzC={52.876735,6.9638659,0.0;52.876735,-6.9638659,0.0}};
PoprzD={19.828776,2.6114497,0.0;19.828776,-2.6114497,0.0}};
BazaG=Kraw1#Kraw2#PoprzA#PoprzB#PoprzC#PoprzD;
BazaD=tran(3,m)|BazaG;
Slup1=pex|lam(2,0)|{99.14388,13.057248,0.0;99.14388,13.057248,m],[72.705512,9.5753159,0.0;72.705512,9.5753159,m],[52.876735,6.9638659,0.0;52.876735,6.9638659,m],[19.828776,2.6114497,0.0;19.828776,2.6114497,m]};
UnitBazy=BazaG#BazaD#Slup1;
SerceB=ros(1,2,0,0,12,30)|ver(1,2,0,0,7.5)|{19.318754,5.1754941,0.0;0,0,0],[19.318754,5.1754941,m;0,0,m]};
use&,vt(2),vm(2),c(1,2),c(4,10),vh(-2247,-129,2550,0,0,0,0,1);
BazaP=ros(1,2,0,0,24,15)|UnitBazy;
Centrum=BazaP#SerceB#Agave1; draw Centrum;<> clear;
(*)Baza zewnętrzna(*)
PlytaGor=pex|lam(2,0)|{99.14388,13.057248,0.0;197.29632,25.983925,0.0],[99.14388,0.0,0.0;197.29632,0.0,0.0],[197.29632,25.983925,0.0;197.29632,0.0,0.0],[164.57884,21.675033,0.0;164.57884,0.0,0.0],[131.866135,17.366139,0.0;131.866135,0.0,0.0]};
Bpionowe=pex|lam(2,0)|{197.29632,25.983925,0.0;197.29632,25.983925,m],[197.29632,0.0,0.0;197.29632,0.0,m],[99.14388,0.0,0.0;99.14388,0.0,m],[131.866135,17.366139,0.0;131.866135,17.366139,m],[131.866135,0.0,0.0;131.866135,0.0,m],[164.57884,21.675033,0.0;164.57884,21.675033,m],[164.57884,0.0,0.0;164.57884,0.0,m]};
PlytaDol=tran(3,m)|PlytaGor;
UnitZ1=PlytaGor#PlytaDol#Bpionowe;
PasZewn=ros(1,2,0,0,24,15)|UnitZ1;
use&,vt(2),vm(2),c(1,2),c(4,10),vh(2247,129,1150,0,0,0,0,1);
StrCALA1=BazaP#SerceB#Agave1#PasZewn;
draw StrCALA1;(*)Patrz Rysunek 3(*) <>

```



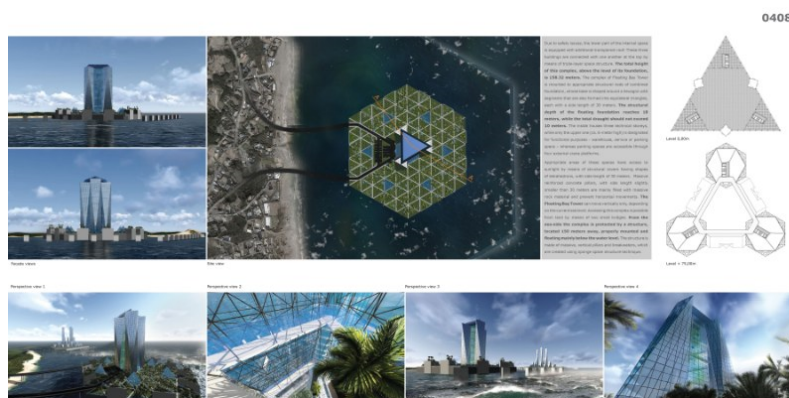
Rys. 3. Wizualizacja modelu numerycznego zdefiniowanego za pomocą programu Agawa1

### 3. OPIS KONCEPCJI ORAZ MODEL NUMERYCZNY FLOATING BAY TOWER

Drugi projekt przygotowany na ten sam konkurs ma nazwę Floating Bay Tower i jego dwie plansze są pokazane na rys. 4 oraz na rys. 5. Tak jak poprzednio całość założenia zaprojektował autor przy współpracy technicznej tym razem nieco innego zespołu, w skład którego wchodził Wojciech Cieplucha i Maciej Rębielak. Przedmiotem głównym projektu był obiekt Floating Bay Tower, czyli Pływająca Wieża Zatoki, utworzony przez zespół trzech połączonych ze sobą budynków, z których każdy ma postać odpowiednio wydłużonego ośmiościanu o wysokości 150,00 metrów, zawiera 36 kondygnacji typowych i ma podstawę trójkąta równobocznego o długości boku równej 30,00 metrom. Obiekt o tak złożonej formie jest usytuowany w centrum płaskiej, sześciokątnej podstawy zbudowanej z trójkątnych szczelnych stalowo-żelbetowych skrzyń mających długość boku zbliżoną do 30,00 metrów. Skrzynie te są jednymi z głównych składników systemu fundamentu zespolonego o wysokości konstrukcyjnej równej 18,00 metrom i zawierającego trzy kondygnacje, będącego podstawą unoszącego się na wodzie budynku zlokalizowanego w zatoce chronionej odpowiednim układem falochronów wykonanych tak, aby pełniły głównie rolę łamaczy dużych fal morskich.



Rys. 4. Pierwsza plansza projektu konkursowego dotyczącego obiektu Floating Bay Tower



Rys. 5. Plansza druga projektu konkursowego dotyczącego obiektu Floating Bay Tower

Górna kondygnacja podstawy jest przeznaczona dla wielu funkcji użytkowych, w tym na m.in. parkingi i usługi handlowe. Unosząca się w zatoce tak ukształtowana sztuczna wyspa

jest połączona z lądem za pośrednictwem dwóch mostów, których ostatnie przęsła są odpowiednio połączone z konstrukcją samej platformy sześciokątnej. Na każdym boku podstawy znajdują się dwa masywne pylony zakotwione w dnie morskim i umożliwiające swobodne ruchy całego projektowanego kompleksu jedynie w kierunku pionowym w zależności od aktualnego stanu morza.

Program definiujący w języku programowania Formian modele numeryczne wszystkich obiektów zaplanowanych na potrzeby tego projektu konkursowego jest bardzo złożony i długi. Dlatego poniżej zaprezentowano jedynie jego część pod nazwą Wyspa Sześciokątna, dotyczącą definiowania modelu numerycznego obiektu złożonego z trzech budynków umieszczonych na opisaniej wcześniej sześciokątnej podstawie, która ma być wykonana w odpowiedniej postaci systemu fundamentu zespolonego.

### Wyspa Sześciokątna

```
clear;
s=sqrt(3);(*)Parametr geometryczny(*)
m=6;(*)Gęstość podziału siatki(*)
gf=-18;(*)Głębokość fundamentu(*)
use &, vm(2),c(1,1),vt(2),vh(340,-240,135,0,0,0,0,1);
top=genid(m,m,30,s*15,15,-
1)|{[0,0,0;30,0,0],[30,0,0;15,s*15,0],[15,s*15,0;0,0,0]};(*)Trójkątna siatka podstawowa
górna(*)
bot=tran(3,gf)|top;(*)Trójkątna siatka podstawowa dolna(*)

KRpion1={[0,0,0;0,0,gf],[30,0,0;30,0,gf],[15,s*15,0;15,s*15,gf]};
krPionW=genid(m,m,30,s*15,15,-1)|KRpion1;
PojSF=top#krPionW#bot;(*)Pojedynczy trójkątny segment fundamentu(*)

Tall2=tran(2, 2*s*15)|tran(1,150)|Byd1W2;
Tall3=tran(2, 4*s*15)|tran(1,120)|Byd1W1;
Zespol=PojSF#Byd1W3#Tall2#Tall3;
use &, vm(2),c(1,1),vt(2),vh(40,-540,335,0,0,0,0,1);
draw Zespol;
<>
clear;
WXtall=dil(3,2)|Byd1W1;
tallX=tran(2, 2*s*15)|tran(1,150)|WXtall;
tallY=tran(2, 2*s*15)|tran(1,90)|WXtall;
tallZ=tran(2, 4*s*15)|tran(1,120)|WXtall;
use &, vm(2),c(1,1),vt(2),vh(40,-540,9999335,0,0,0,0,1);
Zespol3=tallX#tallY#tallZ;
<>
clear;
draw PojSF#Zespol3;
<>
clear;
Zespol3a=tran(1,-135)|tran(2,-3*15*s)|Zespol3;
use &, vm(2),c(1,1),vt(2),vh(240,-1540,490,0,0,0,0,1);
Zespol3=Pole6#Zespol3a;
draw Zespol3;
```

W programie Wyspa Sześciokątna celowo zastosowano jedynie bardzo proste funkcje języka programowania Formian, co umożliwia jego łatwą modyfikację także przez osobę niebędącą autorem tego programu. Taka cecha programu może być szczególnie przydatna w przypadku pracy zespołowej polegającej na uzupełnianiu i wymienianiu się zadaniami przez poszczególnych członków zespołu projektowego.

#### 4. UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Projektowanie systemów konstrukcyjnych o skomplikowanych kształtach jest zadaniem złożonym, trudnym i czasochłonnym. Efektywność procesu projektowania istotnie wzrasta dzięki zastosowaniu odpowiednich narzędzi umożliwiających parametryczne definiowanie modeli numerycznych, dzięki którym względnie łatwo i szybko można w niemal dowolny sposób modyfikować formy projektowanych systemów. Takim narzędziem jest język programowania Formian posiadający bogaty zestaw funkcji podstawowych oraz bardziej złożonych pozwalających projektantom na dużą swobodę w operowaniu szerokim wachlarzem dowolnie zmienianych kształtów w celu nadawania projektowanym obiektom unikatowych form architektonicznych. Modele numeryczne definiowane w Formianie ułatwiają ponadto współpracę między wieloma specjalistami z różnych dziedzin podczas wykonywania dokumentacji technicznych obiektów budowlanych.

#### LITERATURA

- [1] Nooshin H.: *Formex configuration processing in structural engineering*, Elsevier Science Publishers, London and New York, 1984.
- [2] Nooshin H., Disney P.: *Formex Configuration Processing II*, "International Journal of Space Structures", Vol. 17, No 1, 2002, s. 1-50.
- [3] Nooshin H., Disney P., Yamamoto, C.: *Formian*, Multi-Science Publishing Co. Ltd., 1993.
- [4] Rębielak J., *Systemowy fundament zespolony*, zgłoszenie patentowe, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, nr P.394745, 2011.
- [5] Rębielak J.: *Koncepcja zespolonej postaci fundamentu oraz struktury nośnej budynku*, XV Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa–Jurata, 9-13 maja 2011 r., tom 2, s. 269-278, „Mechanik”, nr 7, 2011, s. 619.
- [6] Rębielak J.: *Combined form of structural system proposed for tall buildings*, Taller, Longer, Lighter-Proceedings of IABSE-IASS Symposium, London, 2011, s. 308.
- [7] Rębielak J.: *System of combined foundation for tall buildings*, "Journal of Civil Engineering and Architecture", Vol. 6, No 12, December 2012, (Serial No 61), s. 1627-1634.