



**Jacek Kościuk\*, Judyta Cichocka\***

***Zastosowanie algorytmów optymalizacyjnych  
w badaniach nad wczesnośredniowieczną urbanistyką  
na przykładzie Placu Targowego w Abû Mînâ (Egipt)***

***The use of optimization algorithms  
in research on early medieval urban planning –  
the case of the Market Place in Abû Mînâ (Egypt)***

***Wprowadzenie***

Inspiracją do przeprowadzenia poniższej analizy była lektura dwu niezwykle interesujących artykułów dotyczących urządzeń handlowych i dróg komunikacyjnych. Pierwszy z tekstów, które zwróciły naszą uwagę, dotyczył różnic w aranżacji frontonów sklepów (a szczególnie szynków/barów) w Pompejach, Ostii i Rzymie [1]. Jego autor argumentuje niezwykle przekonująco, że różnice te są wynikiem wprowadzenia ścisłych regulacji budowlanych po wielkich pożarach Rzymu w 64, 69 i po wtórnie w 80 r. n.e. Według autora, lokalizacje pompejańskich szynków i dyspozycja ich frontów mają swe źródło w swoistej, zdroworozsądkowej „optymalizacji” ze względu na atrakcyjność dla potencjalnych klientów. Wyraźne są preferencje do umieszczenia szynków/barów przy głównych ulicach i/lub na ich skrzyżowaniach<sup>1</sup>, a dodatkowo wśród tych zlokalizowanych na skrzyżowaniach ponad połowa ma frontowe ludy umieszczone w miejscu optymalnym (odpowiednio, prawa lub lewa strona frontu) ze względu na obserwację napływających potencjalnych

***Introduction***

The following analysis was inspired by two especially interesting articles regarding public amenities and pedestrian connections. The first of them regarded the differences between the design of shopfronts (in particular bars) in Pompeii, Ostia, and Rome [1]. Its author argues quite convincingly that the differences result from the introduction of strict building regulations after great fires of Rome in 64, 69 and then in 80 CE. In the opinion of the author, the location of Pompeian bars and the exposure of their fronts was caused by a common-sense “optimization” due to attractiveness for potential clients. It is evident that the bars were preferably located by the main streets and/or at their intersections<sup>1</sup> and additionally more than half of those located at crossroads had their front counters most conveniently placed (to the right or to the left of the front) depending on the flow of potential clients<sup>2</sup>. Consequently, we have almost the same proportion of counters located to the right and to the left of the front<sup>3</sup>. The situation changed radically after the introduction of building regulations

\* Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej/Faculty of Architecture, Wrocław University of Science and Technology.

<sup>1</sup> 85% spośród 160 pompejańskich szynków ma lokalizację przy głównych ulicach, a jednocześnie na niemal dwu trzecich ze skrzyżowań głównych ulic odnajdujemy przynajmniej jeden szynk [1, s. 163].

<sup>1</sup> 85% of 160 Pompeian bars were located by the main streets, and at the same time at least one bar was located at almost two thirds of the main street intersections [1, p. 163].

<sup>2</sup> More than half of 72 bars were located at the main street intersections [1, p. 163].

<sup>3</sup> Respectively 66 and 87 [1, p. 164].

klientów<sup>2</sup>. W konsekwencji mamy niemal taką samą proporcję przykładów, kiedy ludy umieszczano po prawej lub lewej stronie frontu<sup>3</sup>. Sytuacja zmieniła się radykalnie po wprowadzeniu regulacji budowlanych po pożarach Rzymu w drugiej połowie I w. n.e. Ścisłe przestrzeganie nowych przepisów doprowadziło do daleko posuniętej unifikacji – zwłaszcza w odniesieniu do dyspozycji frontów. Praktycznie wszystkie znane nam szynki w Ostii – zdecydowana większość z nich wzniesiona w czasie ekonomicznej prosperity w II w. n.e. – mają ludy umieszczone po lewej stronie frontów, a drzwi po prawej<sup>4</sup>.

To interesujące studium uświadamia, jak istotnym elementem w kształtowaniu funkcjonalnej struktury miejskiej są naturalne, chciałoby się rzec, organiczne procesy rozwoju i wzajemnej stymulacji. W tym przypadku decydującą rolę odgrywały czynniki podaży, popytu i maksymalizacji zysku.

Drugim z tekstów, które nas zainspirowały, jest raport opublikowany na łamach „Nature” [2]. Raport odwołuje się do wcześniejszych prac tej samej grupy autorów [3], [4] eksperymentujących z użyciem *Physarum polycephalum*<sup>5</sup> jako medium symulującego kształtowanie się systemu rzymskich dróg na Bałkanach pomiędzy I w. p.n.e. a IV w. n.e. Autorzy zwracają jednocześnie uwagę na to, że „właściwości komputacyjne” *Physarum* przydatne w tego typu badaniach mogą być z powodzeniem symulowane przez algorytmy genetyczne.

Trudno jest oczywiście porównywać wczesnośredniowieczną Abû Mînâ z Pompejami u progu naszej ery. Jeśli jednak brać pod uwagę cytowane już powyżej obserwacje S. Ellisa [1] i aktualny stan naszej wiedzy dotyczącej wczesnośredniowiecznego osiedla w Abû Mînâ [5], to wspólnym elementem mogą być właśnie organiczne procesy kształtujące elementy ich struktury funkcjonalnej. Oczywiście, rzucające się w oczy różnice to sposób rozplanowania. Dziewięć funkcjonalnych stref Pompei charakteryzuje się regularną siatką ulic, która bez wątplenia jest wynikiem świadomych decyzji planistycznych (il. 1).

W przypadku wczesnośredniowiecznego osiedla w Abû Mînâ (il. 2) mamy do czynienia z nieregularną siatką ulic, która jest efektem organicznego rozwoju niekontrolowanego przez żadne zabiegi planistyczne [5, s. 86–88]. Obserwacje te idą w parze z naszym ogólnym poglądem na urbanistykę wczesnego średniowiecza we wschodniej części basenu Morza Śródziemnego. Jedną z powszechnie uznawanych cech ewolucji miast i osiedli tego okresu jest brak jakichkolwiek śladów planowania w skali urbanistycznej, a ich rozwój przestrzenny oparty był jedynie na naturalnych zasadach „organicznego” wzrostu. Ch. Bouras [6] twierdzi nawet, że nie znajdziemy żadnego przykładu śladów planowania w skali całego miasta. Biorąc pod uwagę

after great fires of Rome in the second half of the 1<sup>st</sup> century CE. The strict observance of the new regulations resulted in a far-reaching unification – especially in regard to the orientation of fronts. Practically all known bars in Ostia – a great majority of them were built during the economic prosperity in the 2<sup>nd</sup> century CE – had their counters placed to the left of the front and the doors to the right<sup>4</sup>.

This interesting study demonstrates the significance of the natural or even organic processes of growth and mutual stimulation in the shaping of the functional urban structure. In this case the crucial role was played by the factors regarding supply, demand, and profitability.

The other article which was our inspiration is the report published in “Nature” [2]. The report refers to an earlier study by the same group of authors [3], [4] experimenting with the use of *Physarum polycephalum*<sup>5</sup> as a medium simulating the development of the system of Roman roads in the Balkans between the 1<sup>st</sup> century BCE and the 4<sup>th</sup> century CE. The authors at the same time note that the “computation features” of *Physarum* useful in this kind of study can be successfully simulated by genetic algorithms.

Obviously it is difficult to compare early medieval Abû Mînâ to Pompeii at the beginning of our era. If, however, the observations by S. Ellis which have already been quoted above [1] and our current knowledge regarding the early medieval settlement in Abû Mînâ [5] are taken into consideration, then the very organic processes shaping the elements of their functional structure could be their common element. The obvious and evident differences include their layout. The nine functional parts of Pompeii with characteristic regular street network undoubtedly result from rational planning decisions (Fig. 1).

The early medieval settlement in Abû Mînâ (Fig. 2) had an irregular network of streets which was an effect of organic growth not controlled by any urban planning [5, pp. 86–88]. These observations are consistent with our general opinion on early medieval urban planning in the eastern part of the Mediterranean Sea. One of the universally recognized features of the evolution of the cities and settlements in those times is the lack of any features of urban planning and their space development was based only on the natural principles of “organic” growth. In fact, Ch. Bouras [6] claims that it is impossible to find any traces of urban planning covering the entire city. Taking into account the whole historical context and especially the fact that Egypt severed the direct, cultural connection with Byzantium in the middle of the 7<sup>th</sup> century, such a claim can be even more relevant in reference to the early medieval settlement in Abû Mînâ.

The lack of traces of any urban planning and the evident principles of organic growth regard also the network of connections which anyway cannot be considered streets in the strict sense – they are rather free, undeveloped spaces used for connection purposes and they cannot be compared to the network of Roman streets in the Balkans. The principles of organic growth being the key factor in

<sup>2</sup> Ponad połowa z 72 szynków zlokalizowanych na skrzyżowaniach głównych ulic [1, s. 163].

<sup>3</sup> Odpowiednio, 66 i 87 [1, s. 164].

<sup>4</sup> Niemal 93% [1, s. 165].

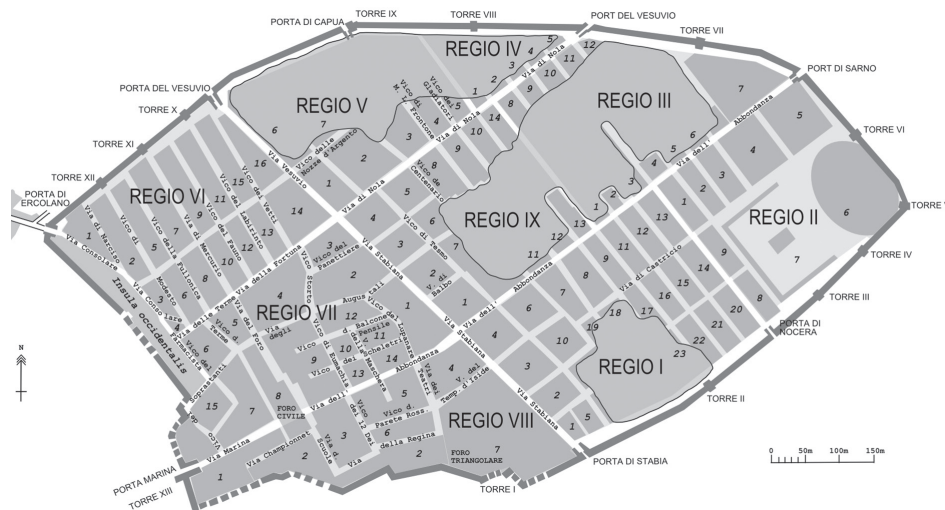
<sup>5</sup> Gatunek śluzowca, który choć nie jest bezpośrednio spokrewniony ani z roślinami, ani ze zwierzętami czy grzybami, ma niektóre cechy przypominające je wszystkie.

<sup>4</sup> Almost 93% [1, p. 165].

<sup>5</sup> A species of a slime mold which, although it is not related to plants, animals or fungi, demonstrates some features of all three of those groups.

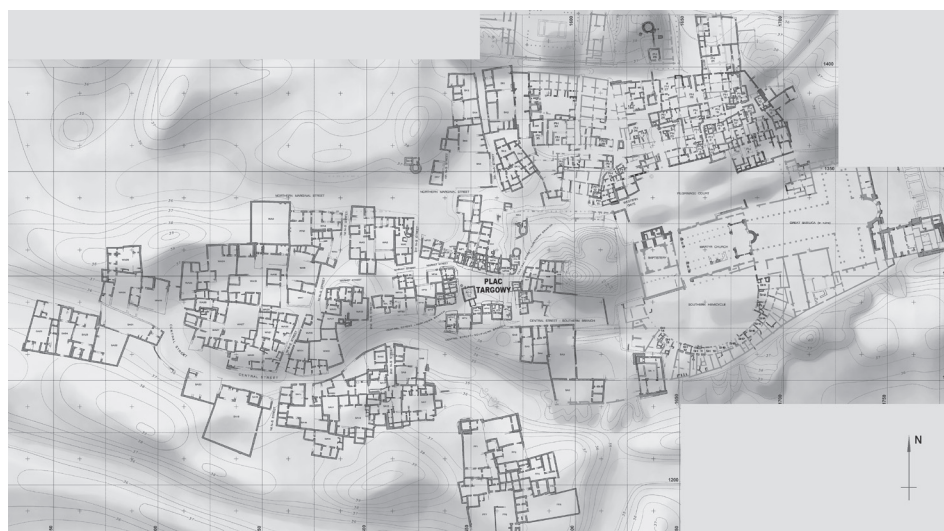
Il. 1. Pompeje (źródło: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eschebach\\_%C3%9Cbersicht\\_Pompeji\\_150dpi.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eschebach_%C3%9Cbersicht_Pompeji_150dpi.png) [data dostępu: 14.08.2017])

Fig. 1. Pompeii (source: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eschebach\\_%C3%9Cbersicht\\_Pompeji\\_150dpi.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eschebach_%C3%9Cbersicht_Pompeji_150dpi.png) [accessed: 14.08.2017])



Il. 2. Wczesnośredniowieczne osiedle w Abû Mînâ (oprac. J. Kościuk)

Fig. 2. Early medieval settlement in Abû Mînâ (drawn by J. Kościuk)



cały kontekst historyczny, a przede wszystkim zerwanie przez Egipt bezpośredniej kulturowej łączności z Bizancjum od połowy VII w., takie stwierdzenie może być tym bardziej stosowne w odniesieniu do wczesnośredniowiecznego osiedla w Abû Mînâ.

Brak śladów planowania, a jednocześnie wyraźnie widoczne zasady organicznego rozwoju dotyczą także rozplanowania ciągów komunikacyjnych, które trudno zresztą nazwać ulicami w ścisłym znaczeniu tego słowa – są to raczej wolne, niezabudowane przestrzenie służące właśnie celom komunikacji i ponownie trudno je porównywać z siecią rzymskich dróg na Bałkanach. Zasady organicznego rozwoju jako głównego czynnika kształtującego wczesnośredniowieczne osiedle odnajdujemy także analizując rozmieszczenie poszczególnych funkcji, a w szczególności *Placu Targowego* (il. 3).

Reasumując, przytoczone powyżej badania nasunęły nam pomysł zastosowania algorytmów genetycznych do analizy usytuowania *Placu Targowego* w Abû Mînâ właśnie jako efektu organicznego rozwoju będącego, w naszym przekonaniu, głównym czynnikiem kształtowania i rozwoju osiedla. Stanowi to jednocześnie właściwy przedmiot prezentowanego tutaj studium.

the shaping the early medieval settlement can be seen also when analyzing the location of individual public amenities and especially the *Market Place* (Fig. 3).

Summing up, the studies mentioned above inspired us to apply the genetic algorithms to analyze the location of the *Market Place* in Abû Mînâ as a result of organic growth being in our opinion the key factor in the development of the settlement and this is the subject of this study.

### Subject of research

The early medieval settlement which developed since the middle of the 9<sup>th</sup> century until the end of the 11<sup>th</sup> century in the southern part of old, late ancient city took the form of an elongated east–west orientated oval (ca 250 × 380 m) of the area of about 4.67 ha<sup>6</sup>. Two elements are evident in its structure (Fig. 2). The south-east part (ecclesiastical centre) including rebuilt *Martyr Church*, *Baptistry* and ruins of so called *Great Basilica*. It is bordered in the north by a part of the settlement surrounded by an outside wall which was

<sup>6</sup> About 11% of the area of late ancient Abû Mînâ from the turn of the 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> centuries.



Il. 3. Plac Targowy w Abû Mîna  
(oprac. J. Kościuk)

Fig. 3. Market Place in Abû Mîna  
(drawn by J. Kościuk)

### Przedmiot badań

Wczesnośredniowieczne osiedle, które rozwijało się od połowy IX do końca XI w. w południowej części dawnego, późnoantycznego miasta, przybrało formę mocno wydłużonego w kierunku wschód–zachód owalu (ca 250 × 380 m) i zajęło powierzchnię około 4,67 ha<sup>6</sup>. W jego strukturze (il. 2) dają się wyraźnie wydzielić dwa elementy. Część południowo-wschodnią zajmuje zespół sakralny składający się z przebudowanego *Kościoła Grobowego*, *Baptysterium* i ruin tzw. *Wielkiej Bazyliki*. Od północy przylega do niego otoczona zewnętrznym murem część przeznaczona, jak przypuszczamy, dla kleru i służby kościelnej [5, s. 72]. Na zachód od zespołu sakralnego leży świecki rejon osiedla.

Pomiędzy eklezjastyczną (wschodnią) a świecką (zachodnią) częścią osiedla położony jest niewielki plac (ca 20 × 28 m), w którego wszystkich pierzejach zlokalizowano sklepy i warsztaty. Jest to właśnie *Plac Targowy* wczesnośredniowiecznej Abû Mîna [7]. W bezpośrednim sąsiedztwie zidentyfikowano także wiele innych budynków handlowych – w sumie odkryto 31 sklepów i warsztatów, 5 piekarni i 1 młyn. Ten ostatni położony jest w centrum *Placu Targowego*.

*Plac Targowy* w Abû Mîna – zespół sklepów i warsztatów zlokalizowanych w pierzejach niemal kwadratowego placu – to wyjątek dla tego regionu i tej epoki [8]<sup>7</sup>. Uwagę zwraca także nadreprezentacja sklepów i warszta-

supposedly assigned for clergy and church staff [5, p. 72]. The main, secular part of the settlement is located to the west of the ecclesiastical compound.

Between the eastern and secular (western) part of the settlement, there is a small square (ca 20 × 28 m) with shops and workshops located on all of its sides. This is the very *Market Place* of the early medieval settlement [7]. Many of other public buildings – in total 31 shops and workshops, 5 bakeries and 1 mill – have been identified in its immediate neighborhood. That last structure is located in the center of the *Market Place*.

The *Market Place* in Abû Mîna – a complex of shops and workshops located on the sides of almost a rectangular square is exceptional for this region and those times [8]<sup>7</sup>. What should be noted is the obviously excessive number of shops and workshops<sup>8</sup> in relationship to the number of local population with about 205 dwellings, including 112 in the western part of the settlement. Another important aspect is the location of the *Market Place* – inside of the settlement and conveniently located between the ecclesiastical compound in the east and the secular settlement in the western part of Abû Mîna.

What factors then could have influenced such a concentration of public amenities in this very place? It should be kept in mind that in the 9<sup>th</sup>-century Abû Mîna did not serve the function of a local center<sup>9</sup>. What could be also

<sup>7</sup> A synthetic description of the commercial streets and squares at those times can be found in: [8, pp. 107–120].

<sup>8</sup> In total 42 buildings, including 3 pottery kilns and 2 lime kilns in the east part of the settlement.

<sup>9</sup> No settlements active between the middle of the 9<sup>th</sup> and the beginning of the 12<sup>th</sup> were found within the area of over 15 km from Abû Mîna [5, p. 150].

<sup>6</sup> Około 11% powierzchni późnoantycznej Abû Mîna z przełomu VI i VII w.

<sup>7</sup> Syntetyczne ujęcie „ulic i placów handlowych” tego okresu znajduje Czytelnik w: [8, s. 107–120].

tów<sup>8</sup> w stosunku do wielkości lokalnej populacji składającej się z około 205 gospodarstw domowych, w tym 112 w zachodniej części osiedla. Kolejnym wartym rozpatrzenia aspektem jest położenie *Placu Targowego* – wewnątrz osady i dobrze wyważone pomiędzy eklezjastycznym zespołem na wschodzie i świecką osadą w zachodniej części Abû Mînâ.

Jakie więc czynniki mogły wpłynąć na taką koncentrację urządzeń handlowych w tym właśnie miejscu? Należy pamiętać, iż IX-wieczna Abû Mînâ nie pełniła funkcji lokalnego centrum<sup>9</sup>. Pod uwagę brać także można przebiegające w pobliżu szlaki karawan, ale w tym przypadku, zgodnie z tradycją charakterystyczną dla tego regionu, plac targowy powinien być zlokalizowany na skraju osady, a nie w jej centrum. W sumie, analizując położenie *Placu Targowego* wczesnośredniowiecznego osiedla w Abû Mînâ, można dojść do wniosku, że pod względem dostępności komunikacyjnej podporządkowane ono było „klienteli” lokalnej.

### **Hipotezy badawcze, dane wyjściowe analiz i ich ograniczenia**

Można więc przyjąć, że diskutowana lokalizacja targowiska rządziła się mimo wszystko jakimiś racjonalnymi przesłankami. Wspomniany już ewidentny brak śladów planowania w skali urbanistycznej wskazuje na organiczne procesy rozwoju i wzajemnej stymulacji, gdzie – podobnie jak w omawianym na wstępie przypadku Pompejów – decydującą rolę odgrywały czynniki podaży, popytu i maksymalizacji zysku. Oczywiście, cały układ (zabudowania mieszkalne i położone wśród nich sklepy i warsztaty) musi być rozpatrywany dynamicznie. Jeśli pierwsze sklepy pojawiły się w miejscu zapewniającym optymalny dostęp dla ówczesnych mieszkańców, to zapewne i dla nowo powstających domostw dostępność (bliskość) *Placu Targowego* nie była bez znaczenia. Takie nowo powstające domostwa, położone dogodnie względem załączków *Placu Targowego* akcelerowały z kolei proces koncentracji sklepów i warsztatów w tym rejonie.

Jeśli przyjąć takie założenia, to *Plac Targowy* wczesnośredniowiecznego osiedla w Abû Mînâ powinien znaleźć się w miejscu najbardziej dogodnym dla lokalnej społeczności – innymi słowy, w miejscu, które jest najłatwiej dostępne dla ogółu *klienteli*. W tym momencie pojawia się naturalnie pytanie o strukturę takiej klienteli. Postawimy tutaj trzy robocze hipotezy.

#### **HIPOTEZA I**

*Plac Targowy* w równej mierze obsługiwał wschodnią, eklezjastyczną część osiedla, i zachodnią – świecką.

#### **HIPOTEZA II**

*Plac Targowy* służył wyłącznie mieszkańcom zachodniej, świeckiej części osiedla<sup>10</sup>.

<sup>8</sup> W sumie 42 budynki, wliczając także 3 piece garncarskie i 2 wapienniki we wschodniej części osiedla.

<sup>9</sup> W promieniu ponad 15 km od Abû Mînâ nie stwierdzono istnienia żadnych osad funkcjonujących pomiędzy połową IX a początkiem XII w. [5, s. 150].

<sup>10</sup> Jest bardzo wątpliwe, aby kler i służba kościelna korzystały na co dzień ze sklepów i warsztatów skupionych wokół *Placu Targowego*. Kościół prowadził w tym czasie stosunkowo samodzielną działalność gospodarczą, tylko częściowo przenikającą się z „rynkiem świeckim”.

taken into consideration are the routes used by caravans going nearby. However, according to the tradition characteristic of this region, the *Market Place* should be located at the border of the settlement and not in its center. Summing up, when analyzing the location of the *Market Place* of the early medieval settlement in Abû Mînâ, it could be concluded on the basis of its accessibility that it was designed for the benefit of the local “clientele”.

### **Research hypotheses, input data for analyses and their limitations**

It can be then assumed that the location of the *Market Place* in question was governed after all by some rational assumptions. The already mentioned evident lack of traces of urban planning indicates organic processes of growth and mutual stimulation where – similarly to Pompeii mentioned at the beginning – the decisive role was played by the factors connected with the supply and demand as well as profit maximization. Obviously, the whole layout (residential buildings as well as the shops and workshops located between them) must be considered dynamically. If the first shops were established in the place providing the optimum access for the residents, then the accessibility (proximity) of the *Market Place* was surely also important for new dwellings. Such newly built dwellings located conveniently next to what later turned into the *Market Place* accelerated the process of concentration of shops and workshops in this area.

If such assumptions are made, then the *Market Place* of the early medieval settlement in Abû Mînâ should have been located in the most convenient place for the local community – in other words in a place which is the easiest accessible for the whole *clientele*. A question emerges then here concerning the structure of such a clientele. The following are our three working hypotheses.

#### **HYPOTHESIS I**

The *Market Place* served equally the eastern, ecclesiastical and the western, secular part of the settlement.

#### **HYPOTHESIS II**

The *Market Place* served exclusively the residents of the western, secular part of the settlement<sup>10</sup>.

#### **HYPOTHESIS III**

The *Market Place* served the residents of the western, secular part of the settlement and some unspecified group of pilgrims who still visited the sacred center around the tomb of St Menas.

The point of reference to verify those three hypotheses is the number of residents of individual parts of the settlement, including the size of individual dwellings [5, pp. 131–135]<sup>11</sup>. The hypothetical number of residents of

<sup>10</sup> It is highly doubtful that clergy and church staff used the shops and workshops located around the *Market Place* daily. The church conducted relatively independent commercial operations at that time, only with tenuous connections with the “secular market”.

<sup>11</sup> Table 15 presented in [5] shows the reconstructed number of residents for individual buildings in the western part of the settlement and tables 16 and 17 in its eastern part.

### HIPOTEZA III

*Plac Targowy* służył mieszkańcom zachodniej, świeckiej części osiedla i bliżej nieokreślonej grupie pielgrzymów, którzy nadal odwiedzali centrum sakralne wokół grobu św. Menasa.

Punktem wyjścia pozwalającym na weryfikację tych trzech hipotez jest liczba mieszkańców w poszczególnych częściach osiedla z uwzględnieniem liczby osób zamieszkujących poszczególne domostwa [5, s. 131–135]<sup>11</sup>. Dla wschodniej, eklezjastycznej części osiedla hipotetyczna liczba mieszkańców to 265 osób, dla części zachodniej, świeckiej – 452 osoby. W naszej analizie liczba mieszkańców w poszczególnych domostwach będzie stanowiła wagę, z jaką mogły one ciążyć w kierunku najdogodniejszego miejsca, gdzie mogły lokalizować się sklepy i warsztaty.

Kolejnym elementem symulacji będzie plan zabudowy wczesnośredniowiecznego osiedla z naniesioną siatką wszystkich możliwych połączeń wzdłuż istniejącej sieci ulic oraz liczbą mieszkańców w poszczególnych domostwach. Dla każdej z trzech hipotez przygotowano odrębny plan przedstawiający siatkę możliwych połączeń komunikacyjnych, który stanowił materiał wyjściowy do dalszych analiz (il. 5–7).

W oczywisty sposób tak przygotowane dane mają swoje ograniczenia. Pierwszym jest przyjęcie założenia, że liczba mieszkańców w poszczególnych domostwach odpowiada realiom wczesnośredniowiecznej Abû Mînâ. Trzeba mieć jednak świadomość, że w tego typu badaniach natura dostępnych danych charakteryzuje się z reguły małą wiarygodnością statystyczną<sup>12</sup>. Istotną rolę odgrywa też fakt, że pomimo wysiłków badaczy interpretacja takich danych źródłowych jest w nieunikniony sposób obciążona pewną dozą subiektywizmu<sup>13</sup>. W naszej sytuacji stajemy więc przed dylematem, czy poprzestać na suchym relacjonowaniu przypadkowo ocalałych fragmentów przeszłości, czy też mamy prawo pokusić się o próby jej rekonstrukcji, z natury rzeczy ułomne, ale zawsze stanowiące krok w kierunku poznania – nawet jeśli w przyszłości zostaną one poddane krytyce. Wierzymy, że mamy do tego prawo.

Kolejne ograniczenie związane jest z rekonstruowaną siatką możliwych połączeń komunikacyjnych. Wspomniana powyżej dynamika wzajemnych interakcji pomiędzy lokalizacją „usług” i domostw mieszkalnych oraz fakt, że nie mamy pełnego obrazu chronologii tych interakcji stanowią trudne wyzwanie. Jedyny spójny obraz, którym

the eastern, ecclesiastical part of the settlement is 265 people, whereas that number for its western, secular part is 452 people. In our analysis the number of residents in individual dwellings shall be the weight with which they could have been drawn towards the most convenient area where the shops and workshops could have been located.

Another element of the simulation shall be the layout of the early medieval settlement with the network of all possible connections along the existing streets and the number of residents in individual dwellings. A separate plan with a network of possible connections was prepared for each of the three hypotheses, which was the input material for further analyses (Fig. 5–7).

Obviously, such prepared input data have some limitations. The first of them is the assumption that the number of residents in individual dwellings reflects the reality of early medieval Abû Mînâ. It should be remembered that the nature of available input data in this type of research is by the rule of poor statistical credibility<sup>12</sup>. Furthermore, a significant role is played by the fact that in spite of the researchers' efforts the interpretation of such source data is always somewhat subjective<sup>13</sup>. In our situation we face then the dilemma whether it is enough to describe randomly preserved original fragments of the past or we are entitled to make attempts at reconstructing it, which, in spite of being imperfect, still would always be a step towards new knowledge – even though in the future it could be criticized. We believe that we have the right to do it.

Another limitation regards the reconstruction of the network of possible pedestrian connections. The mentioned above dynamics of mutual interactions between the location of “services” and residential dwellings as well as the fact that we do not have the full chronology of those interactions pose a difficult challenge. The only coherent picture at our disposal is the final layout of pedestrian connections in the last stage of existence of Abû Mînâ. The relative chronology of the structures built around the *Market Place* can prove helpful (Fig. 4). It indicates that the complex of buildings MP 24–25 (Fig. 3) was built in the latest stage of development of the surroundings of the *Market Place*. As it blocked the important connection between the north-west corner of the *Market Place* and the areas located further north – which can prove highly significant for the whole simulation as it could distort the picture of the roads network of the earlier stages – we decided not to take into account the existence of that building in the network of pedestrian

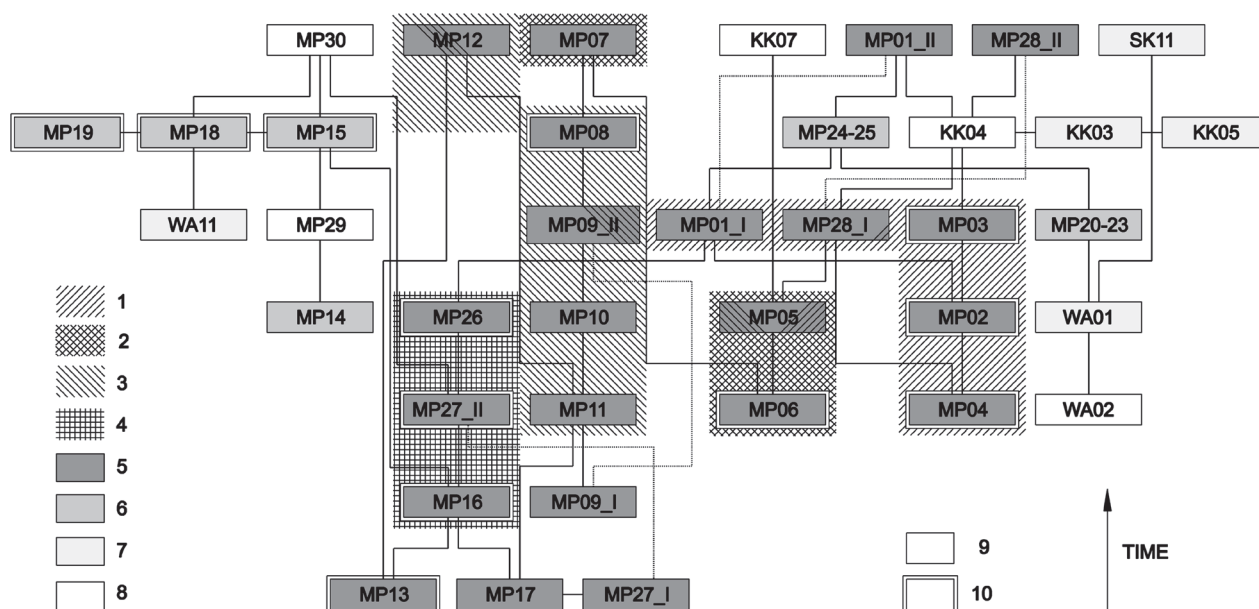
<sup>11</sup> Tabela 15 przedstawiona w pracy [5] podaje zrekonstruowaną liczbę mieszkańców dla poszczególnych budynków w zachodniej części osiedla, a tabele: 16 i 17 w części wschodniej.

<sup>12</sup> Skomplikowane historyczne procesy – warunkujące przetrwanie do naszych czasów fragmentów dawnej rzeczywistości, które moglibyśmy traktować jako dane źródłowe – sprawiają, że zawsze mamy do czynienia z wybiórczym i przypadkowym obrazem przeszłości.

<sup>13</sup> Można w tym miejscu przytoczyć, nieodosobnioną zresztą, opinię prof. Daniela Beauvois: *Każde pokolenie mierzy się z nią [historią] na nowo, odkrywa nowe źródła, archiwa, dokumenty. Ja daję ludziom swoją narrację, ale po mnie przyjdzie ktoś inny i będzie się z tą materią mierzył na nowo*. Cytat pochodzi z wywiadu z Profesorem w Gazecie Wrocławskiej z 27.11.2010, *Nie istnieje żadna obiektywna historia*; <http://www.gazetawroclawska.pl/artukul/337895,nie-istnieje-zadna-obiektywna-historia,5,id,t,sa.html> [data dostępu: 6.10.2017].

<sup>12</sup> Due to the complicated historical processes – determining the preservation the original fragments of old reality until our times which we could consider source data – we always have to deal with a selective and incomplete picture of the past.

<sup>13</sup> We could refer here to Professor Daniel Beauvois's opinion which is not that unique anyway: *Each generation deals with it [history] on its own, discovers new sources, archives, documents. I provide people with my own narrative but there will be somebody else after me who will have to deal with that matter again*. The quote comes from the interview with the Professor at “Gazeta Wrocławska” from 27.11.2010, *Nie istnieje żadna obiektywna historia*; <http://www.gazetawroclawska.pl/artukul/337895,nie-istnieje-zadna-obiektywna-historia,5,id,t,sa.html> [accessed: 6.10.2017].



Il. 4. Względna chronologia budynków wokół *Placu Targowego* w Abû Mîna: 1 – północna pierzeja *Placu Targowego*, 2 – wschodnia pierzeja *Placu Targowego*, 3 – południowa pierzeja *Placu Targowego*, 4 – zachodnia pierzeja *Placu Targowego*, 5 – sklepy i warsztaty położone bezpośrednio przy *Placu Targowym*, 6 – sklepy i warsztaty położone poza *Placem Targowym*, 7 – piekarnie, 8 – inne budynki, 9 – sklepy i warsztaty z jednym pomieszczeniem, 10 – sklepy i warsztaty z dwoma pomieszczeniami (oprac. J. Kościuk)

Fig. 4. Relative chronology of the buildings around the *Market Place*: 1 – northern side of the *Market Place*, 2 – eastern side of the *Market Place*, 3 – southern side of the *Market Place*, 4 – western side of the *Market Place*, 5 – shops and workshops located directly by the *Market Place*, 6 – shops and workshops located outside of the *Market Place*, 7 – bakeries, 8 – other buildings, 9 – shops and workshops with a single room, 10 – shops and workshops with two rooms (drawn by J. Kościuk)

dysponujemy, to finalny układ połączeń komunikacyjnych w ostatniej fazie istnienia Abû Mîna. Pewną pomocą może nam służyć względna chronologia budowli wzniesionych wokół *Placu Targowego* (il. 4). Wynika z niej, że zespół budynków MP 24–25 (il. 3) powstał w najpóźniejszej fazie formowania się otoczenia *Placu Targowego*. Ponieważ zablokował on ważne z punktu widzenia komunikacji połączenie północno-zachodniego naroża *Placu Targowego* z terenami położonymi dalej na północ – co może mieć bardzo istotne znaczenie dla całej symulacji, wypaczając obraz układu komunikacyjnego faz wcześniejszych – zdecydowaliśmy się nie uwzględniać istnienia tego budynku w siatce połączeń komunikacyjnych służącej jako dane wyjściowe do poniższych analiz (il. 5–7).

### Metoda analizy

Dotychczasowe badania nad *dostępnością dla pieszych* (ang. *walkability*) były prowadzone głównie w kontekście transportu, marketingu i jakości życia [9]–[12]. W przedstawionym przez nas opracowaniu analiza dostępności dla pieszych wykorzystana została w celu ustalenia środków ciężkości dla trzech różnych hipotez rozkładu mieszkańców wczesnośredniowiecznego osiedla Abû Mîna, opisanych już w poprzednim rozdziale.

Zgodnie z przyjętym założeniem o organicznym rozwoju osiedla, kształtowanego głównie przez czynniki podaży, popytu oraz maksymalizacji zysku, *Plac Targowy* powinien rozwinąć się w okolicach naturalnego środka ciężkości osiedla, tak aby z jednej strony zapewnić dogodny dostęp mieszkańców, a z drugiej maksymalizować zysk

connections which serves as input data for the following analyses (Fig. 5–7).

### Method of analysis

The research which has been done so far on *walkability* has been conducted mainly in the context of transportation, marketing, and the quality of life [9]–[12]. The analysis of walkability in the study presented by us was applied to determine the centroids for the three different hypotheses of distribution of the residents of the early medieval settlement in Abû Mîna described already in the previous chapter.

In compliance with the assumption of organic growth of the settlement determined mainly by the supply and demand as well as profit maximization the *Market Place* should have developed in the area of the natural centroids of the settlement. Such a location would have provided the residents with a convenient access, maximize the profit of the owners of the shops and workshops and increase the chances of attracting as many clients as possible. In our opinion the results of such analyses can also shed some light on the issue of the end of pilgrimages to Abû Mîna and possible functional and economic relations between the secular and ecclesiastical part of the settlement.

In the presented analyses the centroid of the settlement is understood as a place in the network of pedestrian connections for which the sum of access roads for all residents is as low as possible. It is then a single-criterion, two-dimensional optimization problem where one of the variables selects a line in the network of pedestrian

właścicieli sklepów i warsztatów – czyli zwiększać szanse pozyskania najliczniejszej klienteli. W naszym rozumieniu wyniki tych analiz mogą także rzucić nowe światło na problem końca ruchu pielgrzymkowego do Abû Mînâ i ewentualnych relacji funkcjonalno-ekonomicznych pomiędzy świecką a eklezjastyczną częścią osiedla.

W prezentowanych analizach środek ciężkości osiedla rozumiany jest jako miejsce w sieci połączeń komunikacyjnych, dla którego suma dróg dojścia dla wszystkich mieszkańców jest możliwie najniższa. Jest to więc jedno-kryteriowy, dwuwymiarowy problem optymalizacyjny, gdzie jedna ze zmiennych wybiera linię w sieci połączeń komunikacyjnych, a drugi parametr określa położenie punktu na wybranej linii. Tak wybrane miejsce stanowi rozwiązanie o pewnej jakości, którą określa przedstawiona poniżej funkcja celu:

$$f(w, p) = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

gdzie:

$f(w, p)$  – to funkcja celu rozumiana jako średnia ważona wszystkich najkrótszych ścieżek między wejściami do zabudowań mieszkalnych a środkiem ciężkości, dla której wagą jest liczba mieszkańców korzystających z poszczególnych ścieżek,

$p$  – oznacza długość najkrótszej ścieżki dojścia pomiędzy wejściem do zabudowania mieszkalnego a środkiem ciężkości, obliczoną z pomocą kalkulatora topologii liniowej wykorzystującego algorytm A\*<sup>14</sup>,

$w$  – to waga dla poszczególnych ścieżek, reprezentowana przez liczbę mieszkańców korzystających z konkretnej ścieżki, czyli liczba mieszkańców startująca z korespondującego dla danej ścieżki punktu początkowego, a więc w konsekwencji liczba mieszkańców danego zabudowania<sup>15</sup>,

$N$  – oznacza liczbę punktów startowych, czyli liczbę budynków mieszkalnych uwzględnianych dla danej hipotezy; dla hipotezy I  $N=143$ , dla hipotezy II  $N=114$ , a dla hipotezy III  $N=115$ .

Funkcja celu umożliwia bezpośrednie porównanie rozpatrywanych rozwiązań. Punkty z niższą wartością funkcji celu są jakościowo lepszymi rozwiązaniami, ponieważ reprezentują miejsca o krótszym średnim dystansie dla każdego mieszkańca, a więc są lepszymi kandydatami na poszukiwany środek ciężkości osiedla.

Jakościowe porównanie generowanych rozwiązań pozwala algorytmom optymalizacyjnym *uczyć się*, gdzie poszukiwany punkt (środek ciężkości) może znaleźć się na siatce ulic. W naszych badaniach użyliśmy algorytmu należącego do kategorii metod inteligencji rozproszonej (ang. *Particle Swarm Optimization* – PSO). Proces został przeprowadzony z użyciem optymalizatora *Silvereye* [14] i pozwolił wyznaczyć środki ciężkości dla poszczególnych hipotez. W kolejnych ewaluacjach algorytm zmieniał parametry symulacji, które wyznaczają położenie potencjalnego

connections and the other parameter determines the location of the point on the selected line. The place selected in this way is the result of certain quality which is expressed in the following objective function:

$$f(w, p) = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

where:

$f(w, p)$  – is the objective function understood as a weighted average of all shortest paths between the entries to the residential buildings and the centroid for which the weight is the number of residents using the individual paths,

$p$  – is the length of the shortest path between the entry to the residential building and the centroid calculated with the use of the linear topology calculator using algorithm A\*<sup>14</sup>,

$w$  – is the weight for individual paths represented by the number of residents using a specific path, that is the number of residents starting from the starting point corresponding to a specific path, that is consequently the number of residents of a given building<sup>15</sup>,

$N$  – is the number of starting points that is the number of residential buildings taken into account for a given hypothesis; for hypothesis I  $N=143$ , for hypothesis II  $N=114$ , and for hypothesis III  $N=115$ .

It is possible to use the objective function to directly compare the results in questions. The points of the lowest value of the objective function are qualitatively better results because they represent the places of shorter average distance for each resident and consequently they are better candidates to be the centroid of the settlement.

The qualitative comparison of the generated results enables the optimization algorithms to *learn* where the centroid can be located in the network of streets. We used in our research the algorithm from the category of *Particle Swarm Optimization* (PSO). The process was conducted with the use of *Silvereye* optimizer [14] and it helped to determine the centroids for each of the hypotheses. In subsequent evaluations, the algorithm changed the parameters of simulation which determine the location of the potential centroid, trying to minimize the objective function after each iteration<sup>16</sup>. In other words, the algorithm was trying to find the global minimum of the function. The input parameters for the minimum value of the objective function determine the point which is the centroid. Due to the heuristic character of PSO algorithm, the optimization process was conducted ten times for each hypothesis and the effects presented in the following paragraphs are the best results found after the end of all 10 processes.

<sup>14</sup> Algorithm A\* is the algorithm which uses heuristics to find the shortest path in weighted graphs [13].

<sup>15</sup> An assumption was made here that for individual dwellings the potential interest in public amenities shall be proportional to the number of residents in a given dwelling.

<sup>16</sup> For PSO one iteration has a specific number of evaluations corresponding to the number of particles, in the described process each iteration had 20 evaluations.

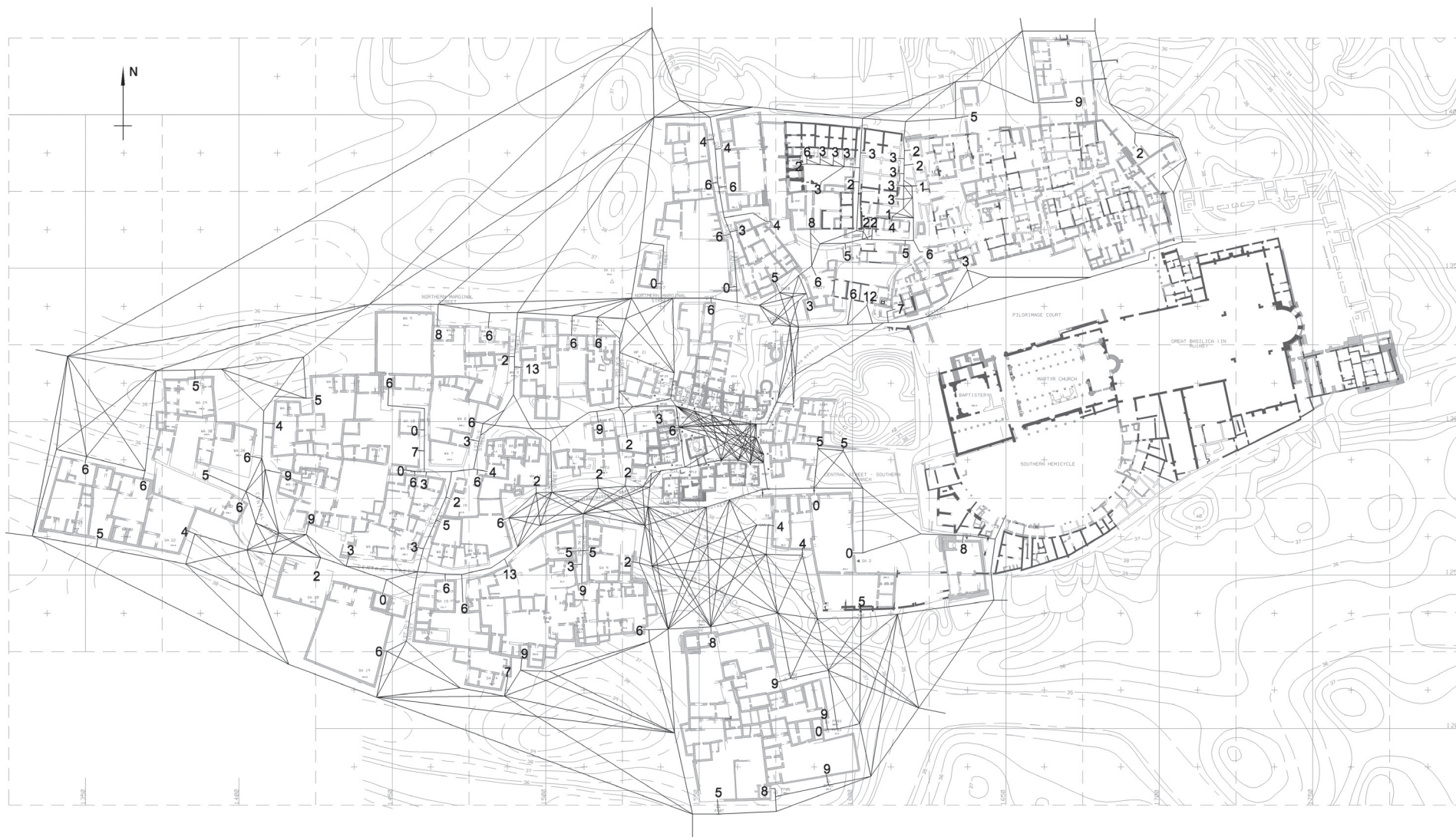
<sup>14</sup> Algorytm A\* jest algorytmem, który posługuje się heurystyką w celu znalezienia najkrótszej ścieżki w grafach ważonych [13].

<sup>15</sup> W tym miejscu przyjęto założenie, że dla poszczególnych domostw potencjalne zainteresowanie urządzeniami handlowymi będzie proporcjonalne do liczby mieszkańców w danym domostwie.





Il. 5. Siatka połączeń komunikacyjnych dla hipotezy I (oprac. J. Kościuk)  
Fig. 5. Network of pedestrian connections for hypothesis I (drawn by J. Kościuk)



II. 6. Siatka połączeń komunikacyjnych dla hipotezy II (oprac. J. Kościuk)

Fig. 6. Network of pedestrian connections for hypothesis II (drawn by J. Kościuk)



Il. 7. Siatka połączeń komunikacyjnych dla hipotezy III. Środek ciężkości Placu Targowego oznaczony czarnym punktem ●, poszukiwaną wartość zmiennej  $w$  oznaczono jako X (oprac. J. Kościuk)  
 Fig. 7. Network of pedestrian connections for hypothesis III. The centroid of the Market Place marked with a black dot ●, the requested value of the variable  $w$  is marked as X (drawn by J. Kościuk)

środku ciężkości, starając się w następnej iteracji<sup>16</sup> minimalizować funkcję celu. Innymi słowy, algorytm dążył do znalezienia globalnego minimum funkcji. Parametry wejściowe dla minimalnej wartości funkcji celu określają punkt, którym jest środek ciężkości. Ze względu na heurystyczny charakter algorytmu PSO, dla każdej hipotezy proces optymalizacji został przeprowadzony dziesięciokrotnie, a wyniki prezentowane w kolejnych paragrafach są najlepszymi rozwiązaniami znalezionymi po zakończeniu wszystkich 10 procesów.

### **Dyskusja wyników i wnioski**

Symulacje przeprowadzone dla trzech hipotez przyniosły interesujące wyniki, które mogą stanowić przyczynek do dalszej dyskusji nad rozwojem, a zarazem zmierzchem wczesnośredniowiecznej Abû Mînâ.

#### *Symulacja dla hipotezy I*

Symulowany środek ciężkości dla układu obejmującego mieszkańców zarówno wschodniej, eklezjastycznej części osiedla, jak i zachodniej – świeckiej wypada na północny wschód od faktycznej lokalizacji wczesnośredniowiecznego *Placu Targowego*, wykazując wyraźne ciążenie w kierunku części eklezjastycznej.

Jeśli więc przyjąć, że nasze założenie, iż zasady organicznego rozwoju, a w szczególności czynniki podaży, popytu i maksymalizacji zysku jako głównego czynnika kształtującego wczesnośredniowieczne osiedle są poprawne, to wnioskować można, że eklezjastyczna część osiedla nie odgrywała istotnej roli w lokalizacji *Placu Targowego*. W przeciwnym wypadku powinien on być się znaleźć bliżej znaku X zaznaczonego na ilustracji 7 – *nota bene*, właśnie w miejscu, gdzie w okresie świetności Abû Mînâ (VI w.) znajdowały się liczne sklepy i warsztaty ulokowane w północnym portyku otaczającym *Dziedziniec Pielgrzymów przed Bazyliką Grobową* [5, s. 40, ryc. 18].

Wniosek, że eklezjastyczna część osiedla nie odgrywała istotnej roli w lokalizacji *Placu Targowego*, zgodny jest ze zgłaszanymi już powyżej wątpliwościami, czy kler i służba kościelna korzystały na co dzień ze skupionych tam sklepów i warsztatów.

Warto też zwrócić uwagę na ciąg komunikacyjny najbardziej obciążony ruchem mieszkańców (il. 8). Łączy on symulowany środek ciężkości całego układu z północno-wschodnim narożnikiem *Placu Targowego*, gdzie skumulowała się większość ruchu pochodzącego właśnie z zachodniej – świeckiej części osiedla.

#### *Symulacja dla hipotezy II*

Ciekawe wyniki przyniosła także symulacja dla hipotezy II, czyli sytuacji, kiedy *Plac Targowy* miałby służyć wyłącznie mieszkańcom zachodniej – świeckiej części osiedla.

<sup>16</sup> Dla PSO jedna iteracja zawiera określoną liczbę ewaluacji odpowiadającą liczbie cząsteczek, w opisanym procesie każda iteracja zawierała 20 ewaluacji.

### **Discussion of the results and conclusions**

The simulations conducted for three hypotheses provided interesting results which might contribute to the further discussion on the development as well as the fall of early medieval Abû Mînâ.

#### *Simulation for hypothesis I*

The simulated centroid for the layout including the residents both of the eastern, ecclesiastical and the western, secular part of the settlement was established north-east of the actual location of the early medieval *Market Place*, demonstrating an evident draw in the direction of the ecclesiastical part.

If it is assumed that the principles of organic growth, and especially the supply and demand as well as profit maximization, being the main factors shaping the early medieval settlement, are correct, then it can be concluded that the ecclesiastical part of the settlement did not play a significant role in the location of the *Market Place*. Otherwise, it would have been located in the neighborhood of the point marked as X in Figure 7 – in fact this is the place where during its prosperity (the 6<sup>th</sup> century) Abû Mînâ had numerous shops and workshops located in the north portico surrounding the *Pilgrimage Court* in front of *Martyr Church* [5, p. 40, Fig. 18].

The conclusion that the ecclesiastical part of the settlement did not play a significant role in the location of the *Market Place* is consistent with the doubts brought up earlier whether the clergy and church staff used the shops and workshops located there daily.

It should be noted that the heaviest traffic of the residents was along the pedestrian connections between the simulated centroid of the whole layout and the north-east corner of the *Market Place* with the most of traffic coming from the western, secular part of the settlement (Fig. 8).

#### *Simulation for hypothesis II*

Some interesting results were also provided by the simulation for hypothesis II that is the situation when the *Market Place* would have been used exclusively by the residents of the western, secular part of the settlement.

As intuitively predicted, the centroid of the pedestrian connections moved west, closer to the center of the western part of the settlement. Although it is not the location suggested in the earlier publications [5, p. 151]<sup>17</sup>, it must be kept in mind that the applied optimization algorithm does not account for local topography [5]<sup>18</sup> – in this case

<sup>17</sup> Fig. 35, p. 111 and Fig. 38, p. 114.

<sup>18</sup> As already mentioned, this is a drawback of our simulation and a solution to this problem would require introducing an additional parameter which would take into account the gradient of individual sections of the network of possible pedestrian connections. It is, however, difficult to determine the value of such a parameter and the introduction of such a variable of estimate values only intuitively might affect the results of the whole simulation in an unpredictable way.

Zgodnie z intuicyjnymi przewidywaniami środek ciężkości układu komunikacyjnego przesunął się w kierunku zachodnim, bliżej centrum zachodniej części osiedla. Nie jest to wprawdzie lokalizacja sugerowana we wcześniejszych publikacjach [5, s. 151]<sup>17</sup>, ale musimy pamiętać, że zastosowany algorytm optymalizacyjny nie uwzględnia lokalnej topografii [5]<sup>18</sup> – w tym wypadku nachylenia terenu, na którym znalazły się drogi komunikacyjne w tym rejonie. W miejscu wskazanym przez algorytm stosunkowo strome zbocze o spadku w granicach 26% nie tylko utrudniało poruszanie się, zachęcając do wyboru innych dróg biegnących bardziej równoległe do poziomic, ale i czyniło sam obszar mało przydatnym do zorganizowania placu targowego. Najbliższy, względem wyznaczonego w symulacji, teren sprzyjający lokalizacji targowiska położony jest nieco bardziej na północ, po północnej stronie piekarni WA 11. Co ciekawe, w bezpośrednim sąsiedztwie znajdują się dwa sklepy (MP 19) izolowane od głównego zespołu handlowego na *Placu Targowym* (il. 3). Jeśli weźmiemy pod uwagę ustalenia dotyczące względnej chronologii sklepów i warsztatów (il. 4), to okaże się, że zarówno piekarnia WA 11, jak i sklepy MP 19 powstały stosunkowo późno. Być może był to właśnie moment, kiedy praktycznie ustał ruch pielgrzymkowy do Abû Mîná i dotychczasowe położenie *Placu Targowego* stało się mało dogodne dla mieszkańców zachodniej części stanowiących teraz jedyną klientelę. Dalsze badania terenowe mogą pozwolić na zweryfikowanie takiej hipotezy.

Ponownie warto zwrócić uwagę na ciąg komunikacyjny najbardziej obciążony ruchem mieszkańców (il. 9). Łączy on symulowany środek ciężkości całego układu, tym razem z południowo-zachodnim narożnikiem *Placu Targowego*, gdzie dla hipotezy II kumuluje się większość ruchu pochodzącego głównie z północnej – świeckiej części osiedla. Zarówno więc w przypadku hipotezy I, jak i II teren, gdzie faktycznie powstał *Plac Targowy*, jest miejscem koncentracji ruchu dla obu symulacji.

### Symulacja dla hipotezy III

Hipoteza III zakładała, że *Plac Targowy* służył mieszkańcom zachodniej, świeckiej części osiedla, a jednocześnie bliżej nieokreślonej grupie pielgrzymów, którzy nadal odwiedzali centrum sakralne wokół grobu św. Menasa. Tym razem algorytm optymalizacyjny poszukiwał więc odpowiedzi na pytanie, jak liczna musiała być grupa potencjalnych klientów *Placu Targowego* – zlokalizowanego tam, gdzie on się rzeczywiście znajduje – dla których punktem wyjścia był plac przed *Bazyliką Grobową*.

Wyniki symulacji (il. 10) określiły liczebność takiej grupy na mniej więcej 90 osób. Jeśli więc przyjąć, że faktyczna lokalizacja *Placu Targowego* podporządkowała się

the gradient of the area with the roads network. The relatively steep slope with the gradient of up to 26% in the place indicated by the algorithm not only made it difficult to move but also encouraged the choice of other roads going more parallel to the contour lines and made the area itself less useful to organize the *Market Place*. The area which would be closest to the point indicated in the simulation and topographically useful for the location of a market place is situated slightly more to the north on the northern side of the bakery WA 11. Interestingly, there are two shops in the immediate neighborhood (MP 19) isolated from the main commercial compound in the *Market Place* (Fig. 3). If findings regarding the relative chronology of shops and workshops are taken into account (Fig. 4), it will turn out that both the bakery WA 11 and the shops MP 19 were built relatively late. It might have been when the pilgrimages to Abû Mîná practically stopped and the location of the *Market Place* became less convenient for the residents of the western part who were then the only clients. Further field research might help verify such a hypothesis.

It is worth drawing attention again to the pedestrian connections with the heaviest traffic of the residents (Fig. 9). It combines the simulated centroid of the whole layout this time with the south-west corner of the *Market Place* where for hypothesis II most traffic coming mainly from the northern – secular part of the settlement accumulates. Both in case of hypothesis I and hypothesis II the area where the *Market Place* was actually located is the place of concentration of traffic for both simulations.

### Simulation for hypothesis III

Hypothesis III assumed that the *Market Place* was used by the residents of the western, secular part of the settlement as well as some unspecified group of pilgrims who still visited the religious center around the tomb of St Menas. This time then the optimization algorithm was looking for the answer to the following question: How big was the group of potential clients of the *Market Place* in its actual location for whom the starting point was the square in front of *Martyr Church*?

The results of the simulation (Fig. 10) determined the number of such a group at more than 90 people. If then it is assumed that the actual location of the *Market Place* was governed by the organic processes suggested by us, it should be stated that it was affected by the additional group of potential clients approaching from the direction of *Martyr Church*. That group accounted for about 12% of the whole population of early medieval Abû Mîná or about 20% of the residents of its western, secular part. In both cases it is then a significant part of the whole population. Unfortunately, we cannot unequivocally define the composition of that group. It might have been exclusively pilgrims or, in spite of the doubts brought up earlier, some residents (about 34%) of the eastern, ecclesiastical part of the settlement or both in an unspecified proportion.

Regardless of the assumption of one of the three interpretations the results of the simulation conducted for hypothesis III indicate the influence of the cult of St Menas – either in the form of the continuation of the

<sup>17</sup> Ryc. 35, s. 111 i ryc. 38, s. 114.

<sup>18</sup> Jak już wspomnieliśmy, stanowi to pewien mankament naszej symulacji i rozwiązanie tego problemu wymagałoby wprowadzenia dodatkowego parametru, który uwzględniałby nachylenie poszczególnych odcinków sieci możliwych połączeń komunikacyjnych. Trudno jest jednak określić wartości takiego parametru, a wprowadzenie takiej zmiennej o wartościach szacowanych jedynie intuicyjnie mogłoby w nieprzewidywalny sposób wpływać na wyniki całej symulacji.



II. 8. Wyniki symulacji dla hipotezy I. Grubość linii obrazuje symulowane potoki ruchu na poszczególnych ciągach komunikacyjnych (oprac. J. Cichocka)

Fig. 8. The results of the simulation for hypothesis I. The thickness of the line demonstrates the simulated flows of traffic in individual pedestrian connections (drawn by J. Cichocka)



II. 9. Wyniki symulacji dla hipotezy II. Grubość linii obrazuje symulowane potoki ruchu na poszczególnych ciągach komunikacyjnych (oprac. J. Cichočka)  
Fig. 9. The results of the simulation for hypothesis II. The thickness of the line demonstrates the simulated flows of traffic in individual pedestrian connections (drawn by J. Cichočka)



Il. 10. Wyniki symulacji dla hipotezy III. Grubość linii obrazuje symulowane potoki ruchu na poszczególnych ciągach komunikacyjnych (oprac. J. Cichocka)

Fig. 10. The results of the simulation for hypothesis III. The thickness of the line demonstrates the simulated flows of traffic in individual pedestrian connections (drawn by J. Cichocka)



sugerowanym przez nas organicznym procesom, stwierdzić wypada, że miała na nią wpływ dodatkowa grupa potencjalnych klientów nadchodząca od strony *Bazyliki Grobowej*. Grupa ta stanowiła około 12% całej populacji wczesnośredniowiecznej Abû Mînâ lub *circa* 20% mieszkańców jej zachodniej, świeckiej części. Zarówno w jednym, jak i drugim przypadku jest to więc znacząca część całej populacji. Nie możemy niestety jednoznacznie zdefiniować składu tej grupy. Mogli to być zarówno wyłącznie pielgrzymi lub też, pomimo zgłaszanych już wątpliwości, część (około 34%) mieszkańców wschodniej, eklezjastycznej części osiedla, jak i jedni i drudzy w bliżej nieokreślonej proporcji.

Niezależnie od przyjęcia jednej z tych trzech interpretacji wyniki symulacji przeprowadzonej dla hipotezy III wskazują na wpływ kultu św. Menasa – czy to w postaci ciągle jeszcze trwającego ruchu pielgrzymkowego, czy też ciągle funkcjonującej enklawy kościelnej – na kształtowanie się układu funkcjonalnego wczesnośredniowiecznego osiedla w Abû Mînâ.

Reasumując, uznać możemy, że przedstawiony w hipotezie III model interakcji pomiędzy *Placem Targowym* a poszczególnymi rejonami zabudowy oraz (co istotne) potencjalnym ruchem pielgrzymkowym jest najbardziej przekonujący.

### **Wnioski końcowe**

Przeprowadzone symulacje i ich wyniki wskazują po raz kolejny na możliwość zastosowania algorytmów optymalizacyjnych we wspomaganiu rozwiązywania rzeczywistych problemów, w tym przypadku nie tylko projektowych.

Adaptacja algorytmów symulacyjnych do analizy kształtowania funkcjonalnego wczesnośredniowiecznego osiedla Abû Mînâ pozwoliła na weryfikację przyjętych hipotez. Uzyskane wyniki mogą świadczyć o potencjale przedstawionych metod w wyjaśnianiu rozwoju urbanistycznego miast i osiedli zarówno tych współczesnych, jak i historycznych.

W stosunku do poprzednich implementacji algorytmów optymalizacyjnych stosowanych w rozwiązywaniu problemów związanych z przyjaznością dla pieszych [15] rozwinięto strategię wyznaczania środków ciężkości poprzez wzbogacenie funkcji celu o dodanie *wag* dla jednostek mieszkaniowych, a także bardzo dokładne określenie punktów startowych – wejść do zabudowań mieszkalnych. Jedynym czynnikiem wprowadzającym niepewność co do wiarygodności otrzymanych wyników jest wspomniany już brak uwzględnienia rzeźby terenu, która mogła determinować preferencje wyboru dróg dojścia do *Placu Targowego*.

pilgrimages or the activities of the church enclave – on the shaping of the functional layout of the early medieval settlement in Abû Mînâ.

Summing up, it can be assumed that the model of the interaction between the *Market Place* and individual residential areas of the city and (more importantly) the potential pilgrimage traffic presented in hypothesis III is the most convincing.

### **Final conclusions**

The simulations which were conducted and their results indicate again a possibility of applying the optimization algorithms in support of solving real problems, in this case not only design ones.

With the adaptation of the optimization algorithms to analyze the functional development of the early medieval settlement in Abû Mînâ it was possible to verify the assumed hypotheses. The results can indicate the potential of the presented methods in explaining the urban growth of both modern and ancient cities and settlements.

Compared to previous implementations of the optimization algorithms applied in solving the problems connected with pedestrian-friendliness [15] the strategy of locating the centroids was developed by enhancing the objective functions by adding the *weights* for the residential units as well as by determining highly precisely the starting points – entries into residential buildings. The only factor causing some doubts as to the credibility of the results is the failure to take the landscape into account which might have determined the preferences of choice of the roads leading to the *Market Place*.

Translated by  
Tadeusz Szalamacha

### **Bibliografia/References**

- [1] Ellis S.J.R., *Pes Dexter: Superstition and the State in the Shaping of Shopfronts and Street Activity in the Roman World*, [w:] R. Laurence, D.J. Newsome (ed.), *Rome, Ostia, Pompeii: Movement and Space*, Oxford University Press, London 2011, 160–173.
- [2] Evangelidis V., Jones J., Dourvas N., Tsompanas M.-A., Sirakoulis G.Ch., Adamatzky A., *Physarum machines imitating a Roman road network: the 3D approach*, „Scientific Reports” 2017, 7010, www.nature.com/scientificreports, doi: 10.1038/s41598-017-06961-y [accessed: 15.11.2017].

- [3] Evangelidis V., Tsompanas M.-A., Sirakoulis G.Ch., Adamatzky A., *Slime mould imitates development of roman roads in the Balkans*, „Journal of Archaeological Science: Reports” 2015, Vol. 2, 264–281.
- [4] Evangelidis V., Tsompanas M.-A., Sirakoulis G.Ch., Adamatzky A., *Application of Slime Mould Computing on Archaeological Research*, [w:] A. Adamatzky (ed.), *Advances in Physarum Machines*, Springer 2016, 349–372.
- [5] Kościuk J., *Wczesnośredniowieczna osada w Abū Mīnā*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2009.
- [6] Bouras Ch., *City and Village: Urban Design and Architecture*, „Jahrbuch der Österreichischen Byzantinistik” 1981, 31/2, 611–653.
- [7] Kościuk J., *The Market Place of the Mediaeval Settlement in Abū Mīnā*, [w:] M. Krause, S. Schaten (ed.), *ΘΕΜΕΛΙΑ. Spätantike und koptologische Studien. P. Grossmann zum 65. Geburtstag*, Reichert Verlag, Wiesbaden 1998, 187–224.
- [8] Crawford J.S., *The Byzantine Shops at Sardis*, Harvard University Press, Cambridge MA 1990.
- [9] Hess D.B., Lombardi P.A., *Policy support for and barriers to transit-oriented development in the inner city: Literature review*, „Transportation Research Record” 2004, Vol. 1887, 26–33.
- [10] Handy S., *Smart growth and the transportation – land use connection: What does the research tell us?*, „International Regional Science Review” 2005, Vol. 28, Iss. 2, 146–167.
- [11] Dorn J., *Hidden in Plain Sight: Capturing the Demand for Housing Near Transit*, Center for Transit-Oriented Development, Oakland CA 2004.
- [12] Shapiro R.J., Hassett K.A., Arnold F.S., *Conserving Energy and Preserving the Environment: The Role of Public Transportation*, American Public Transportation Association, Washington DC 2002.
- [13] Hart P.E., Nilsson N.J., Raphael B., *A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths*, „IEEE Transactions of Systems Science and Cybernetics” 1968, Vol. 4, No. 2, 100–107.
- [14] Cichocka J., Migalska A., Browne W.L., Ramirez E.R., *SILVEREYE – The Implementation of Particle Swarm Optimization Algorithm in a Single Objective Design Optimization Tool*, [w:] G. Çağdaş, M. Özkar, L.F. Gül, E. Güreş (ed.), *CAAD Futures 2017, CCIS 724*, Springer 2017, 151–169.
- [15] Cichocka J.M., *Generatywna optymalizacja w planowaniu przestrzennym – koncept miasta przyjaznego ruchowi pieszemu/Generative design optimization in urban planning – walkability-optimized city*, „Architectus” 2015, No. 1(41), 119–128.

### Streszczenie

Artykuł proponuje zastosowanie algorytmów optymalizacyjnych w badaniach organicznego rozwoju wczesnośredniowiecznej osady w Abū Mīnā (Egipt). Na podstawie zrekonstruowanej liczby mieszkańców w poszczególnych zespołach zabudowy zaproponowano trzy hipotezy dotyczące ich interakcji z zespołem sklepów i warsztatów, który powstał w specyficznej lokalizacji. Wyniki analizy rzucają nowe światło na ostatnią fazę rozwoju Abū Mīnā.

**Słowa kluczowe:** Abū Mīnā, Egipt, wczesne średniowiecze, organiczny rozwój osadnictwa, algorytm optymalizacyjny

### Abstract

The paper proposes the use of optimization algorithms in research on the organic development of an early medieval settlement in Abū Mīnā (Egypt). On the basis of the reconstructed number of inhabitants in individual building complexes, three hypotheses regarding their interaction with a group of stores and workshops that was created in a specific location were proposed. The results of the analysis shed new light the last phase of on Abū Mīnā development.

**Key words:** Abū Mīnā, Egypt, early Middle Ages, organic settlement development, optimization algorithms