



Judyta Cichocka*

Generatywna optymalizacja w planowaniu przestrzennym – koncept miasta przyjaznego ruchowi pieszemu

Generative design optimization in urban planning – walkability-optimized city concept

Wprowadzenie

Walkability (przyjazność ruchowi pieszemu) jest tematem wielu badań w zakresie transportu, marketingu oraz jakości życia, zaś koncept *walkable neighborhood* (dzielnicy przyjaznej ruchowi pieszemu) [...] jest rdzeniem takich współczesnych teorii urbanistycznych jak *Smart Growth* oraz *Nowy Urbanizm* [1, s. 115]. Istnieje wiele definicji przyjazności ruchowi pieszemu, m.in.: *Przyjazność oraz przyjazny ruchowi pieszemu to wymiar, w jakim chodzenie pieszo jest bezpiecznym, dostępnym i przyjemnym środkiem transportu* [2, s. 7]. Jednakże na potrzeby tej pracy *walkability* jest zdefiniowane słowami Steve'a Ableya¹: *Przyjazność ruchowi pieszemu to wymiar, w jakim stworzone środowisko jest sprzyjające obecności ludzi, którzy aktywnie żyją, kupując, odwiedzając i spędzając w nim czas* [3, s. 3].

Wielu naukowców podziela pogląd, iż dzielnice przyjazne ruchowi pieszemu są jednym z najlepszych rozwiązań urbanistycznych z ekonomicznego, medycznego oraz ekologicznego punktu widzenia. Stwierdzono także, iż kombinacja terenów mieszkaniowych oraz komercyjnych w dzielnicach przyjaznych ruchowi pieszemu wspiera rozwój relatywnie niedrogiego budownictwa mieszkaniowego [4], [5]. Niejednorodność funkcjonalna terenów wspo-

Introduction

Walkability is a subject of many researches in fields of transportation, marketability and living quality and [...] *the concept of walkable neighborhood is at the core of such contemporary urban theories as Smart Growth and New Urbanism* [1, p. 115]. There are a few existing definitions of the walkability, e.g., *Walkability may in turn be defined as the extent to which walking is readily available as a safe, connected, accessible and pleasant mode of transport* [2, p. 7]. For the purposes of this paper the Steve Abley's¹ definition is quoted: *Walkability and walkable is: the extent to which the built environment is friendly to the presence of people living, shopping, visiting, enjoying or spending time in an area* [3, p. 3].

Plenty of researchers support the view that walkable neighborhoods are one of the finest solutions for the economy, health and environment. It is claimed that the combination of residential and commercial land uses in walkable neighborhoods supports affordable housing [4], [5]. Such a mixture is also supportive for the lower automobile dependency [6] and cleaner air and water [7].

Walkability was selected as the primary sustainability performance indicator also in the research *Generative Urban Modeling: A Design Work Flow For Walkability-Optimized Cities* conducted by Tarek Rakha and Christoph Reinhart from Massachusetts Institute of Technology.

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

¹ Założyciel nowozelandzkiej firmy Abley Transportation Consultants.

¹ Chartered Traffic and Transportation Engineer and the Managing Director of New Zeland company Abley Transportation Consultants.

maga także obniżenie zależności mobilności mieszkańców od samochodów [6] oraz wspiera utrzymanie czystego powietrza i wody [7].

Walkability zostało wybrane jako główny wskaźnik zrównoważonego rozwoju w pracy *Generative Urban Modeling: A Design Work Flow For Walkability-Optimized Cities* napisanej przez naukowców z MIT (Massachusetts Institute of Technology): Tareka Rakhę oraz Christophę Reinharta. W swojej pracy zaprezentowali algorytm tworzący przyjazne ruchowi pieszemu dzielnice na niezabudowanych obszarach miejskich o zróżnicowanej rzeźbie terenu. Celem ich badań było zaproponowanie inteligentnej metody w projektowaniu układu ulic i kreowaniu masy urbanistycznej, która umożliwiłaby optymalizację w projektowaniu przestrzennym pod konkretnymi kryteriami środowiskowymi [8].

Jednym z głównych założeń metodologicznych Rakhi i Reinharta było wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska eksurbanizacji i w jego konsekwencji spadek intensywności zabudowy. W odróżnieniu od ich podejścia, zaprezentowany w tym artykule algorytm ma na celu zwiększenie gęstości zabudowy w już istniejących strukturach miejskich Irkucka, co jest zgodne z założeniami rozwoju infrastruktury mieszkaniowej zawartej w wytycznych projektowych stworzonych na potrzeby warsztatów International Baikal Winter University of Urban Planning 2014. Obie prace bazują na hipotezie zakładającej, że raz wytyczony układ dróg jest odporny na zmiany na przestrzeni czasu [8].

Jak wskazują wyniki badań, wzrost gęstości zabudowań może nie mieć negatywnego wpływu na ceny własności, jednakże w ujęciu ogólnym jest uważany za czynnik pogarszający jakość dzielnicy [1]. Zaproponowana metodyka może okazać się pomocna w rozwiązywaniu problemów projektowych dotyczących pogarszania się jakości dzielnicy wraz ze wzrostem gęstości zabudowań. Poprzez rozmieszczenie kilku obiektów o zróżnicowanych funkcjach usługowych przyjazność dla ruchu pieszego badanej dzielnicy „Tereshkovoy” wzrosła o 25 punktów *walk score*² i została przekształcona z „średnio przyjaznej ruchowi pieszemu” na „bardzo przyjazną ruchowi pieszemu”. Wzrost przyjazności jest równoznaczny ze wzrostem atrakcyjności badanej okolicy. Jak pokazuje sondaż American Community Survey, 61% ludzi, którzy planują zakup domu, szuka mieszkania w inteligentnie wrażliwych społecznościach z krótkimi czasami dojazdu do pracy, chodnikami, lokalnymi sklepikami i restauracjami [9]. Prezentowana w tej pracy metodologia projektowa jest także próbą zaaplikowania kalkulatora przyjazności ruchowi pieszemu w kontekście nieamerykańskim.

Projekt koncepcyjny

Stymulacja rozwoju infrastruktury mieszkaniowej i zaspokojenie zapotrzebowania na nowoczesne usługi lokalowe jest jednym z głównych ekonomiczno-społecz-

Their research presents the urban analysis workflow, which develops massing and street layouts for new neighborhoods in non-flat terrains. The aim of this study was to propose a smarter approach in subdivision of street grids and creation of urban massing, that enable optimization of urban design under certain environmental performance criteria [8].

One of Rakha and Reinhart's main assumptions was the likeness of the urban sprawl and resulting decrease of urban density. In contrast to their approach, in this research one of the major goals is the increase of density in the existing urban structure resulting from the approach towards housing development in the city of Irkutsk, contained in the project principles created for the needs of workshops of the International Baikal Winter University of Urban Planning 2014. The common hypothesis for both researches is the noticeable observation, that “a road network, once in place, tends to be remarkably resistant to change” [8, p. 1].

As the research *The economic value of walkable neighborhoods* shows the increase of density may not have a negative influence on the prices of properties, but it is in general regarded as a negative impact on the quality of a neighborhood [1]. The proposed design workflow may be one of the keys to handling such a design problem. Through the location of a few amenities the walkability of the neighborhood increased by 25 walk score points and all the area from a “Somewhat Walkable” was changed into “Very Walkable”. The increase of walkability is equal to the boost of attractiveness of the area. As the American Community Survey [9] shows, 61% of people, who would like to buy a house, would look for a dwelling in a smart growth community with short commute times, sidewalks, local shops and restaurants. This research is also an attempt into applying a customized walk score calculator in a non-US context.

Case study

One of the main social and economic problems in the post cold war Russia is the stimulation of the residential development and satisfying the demand for modern housing [10]. The city of Irkutsk faces the same problem. It is believed that development of new housing would also solve the problem of deconstruction of the derelict buildings and houses under the threat of collapse. This assumption is even more justified in the case of the city of Irkutsk, due to the lack of areas proposed for massive housing construction. Irkutsk authorities initiated the realization of the “pilot” projects in the 43 determined areas [11]. The four of these areas: “Deputatskaya”, “Barrikad”, “Yakobi” and “Tereshkovoy” became a subject of elaboration during the 15th session of the International Baikal Winter University of Urban Planning 2014 (Winter University).

The Winter University is a significant, international urban planning workshop taking place in Siberia. Every year participants from all over the world come to Irkutsk to work for 3 weeks on developing new urban solutions for the city of Irkutsk. “Perestroika – Development and transformation of urban space” was the subject of this

² *Walk score* – wynik „przyjazności dla ruchu pieszego” mierzonej przez stworzony algorytm.

nych wyzwań Rosji po rozpadzie Związku Radzieckiego w 1991 r. [10]. Dodatkowo zakłada się, iż wzrost nowej infrastruktury mieszkaniowej rozwiąże problem wyburzania zaniedbanych budynków grożących zawaleniem. Hipoteza ta znajduje głębokie uzasadnienie w przypadku Irkucka ze względu na brak nowych terenów przeznaczonych na wielkoskalowe inwestycje. Władze miasta zainicjowały realizację 43 projektów pilotażowych na wyznaczonych obszarach urbanistycznych [11]. Cztery z nich („Deputatskaya”, „Barrikad”, „Yakobi”, „Tereshkovoy”) zostały wybrane jako tematy elaboracji podczas 15. sesji międzynarodowych warsztatów International Baikal Winter University of Urban Planning 2014 (Winter University).

Warsztaty te są ważnym międzynarodowym wydarzeniem w środowisku urbanistów, planistów i architektów na Syberii. Każdego roku eksperci i studenci z całego świata przyjeżdżają do Irkucka, aby przez trzy tygodnie opracowywać nowe urbanistyczne strategie dla miasta. Tematem 15. sesji była „Pierestrojka – rozwój i transformacja przestrzeni urbanistycznej”. Warsztaty miały na celu opracowanie strategii prowadzącej do przestrzennego oraz socjalno-ekonomicznego kompromisu pomiędzy rozwojem nowej zabudowy a rekonstrukcją zaniedbanych starych drewnianych budynków mieszkaniowych [11].

Rozwój nowej zabudowy mieszkaniowej w istniejących tkankach urbanistycznych powoduje w konsekwencji wzrost gęstości zaludnienia oraz rodzi potrzebę przekształcenia zarówno miękkiej, jak i twardej infrastruktury najbliższej okolicy. Jak mówi pilot 15. sesji Winter University Ruslan Khotulev: *Nie ulega wątpliwości, że wzrost gęstości zabudowy jako wyniku odbudowy wielopiętrowych domów wywrze nacisk na socjalną i transportową infrastrukturę sąsiadujących terenów i w konsekwencji spowoduje degradację środowiska* [12, s. 5].

Ta praca prezentuje strategię transformacji obszaru „Tereshkovoy” w dzielnicę przyjazną ruchowi pieszemu z użyciem komputacyjnych metod projektowych. Omawiana strategia ma umożliwić zbilansowaną finansowo transformację infrastruktury oraz zapobiec degradacji środowiska.

Metodologia

Celem niniejszego artykułu jest stworzenie uniwersalnej definicji w oprogramowaniu Rhino/Grasshopper, która wspomaga proces przekształcania istniejących obszarów urbanistycznych w dzielnicę przyjazną ruchowi pieszemu. Teren „Tereshkovoy”, który jest jednym z 43 obszarów przeznaczonych do przebudowy w Irkucku, został wybrany jako przykładowy kontekst służący do zbudowania i aplikacji stworzonego na potrzeby pracy algorytmu. Obszar mierzy 1,16 km² (115,52 ha) w granicy opracowania (il. 1).

Głównym zadaniem algorytmu jest osiągnięcie maksymalnej średniej wyników *walk score* dla wszystkich jednostek mieszkaniowych w granicy opracowania poprzez lokalizację minimalnej liczby zróżnicowanych funkcjonalnie usług. Innymi słowy, algorytm ma za zadanie zmaksymalizować *walkability* dzielnicy przy użyciu minimalnych środków.

year’s session. The aim of the workshop was to propose a concept and a strategy leading to the spatial and socio-economic compromise between new developments and reconstruction of ramshackle residential buildings [11].

Construction of new residential buildings in the existing areas and the resulting increase of the population density, will cause the demand for restructuring both hard and soft infrastructure of the whole neighborhood. As copilot of the 15th session of Winter University – Ruslan Khotulev says: *Increasing the density of construction as a result of reconstructing few-story houses inevitably will lead to excessive pressure on social and transport infrastructure of neighboring areas, and as a consequence, to degrading of the city environment* [12, p. 5].

This paper presents a strategy for transforming area “Tereshkovoy” into walkable neighbourhood with usage of computative methods. The workflow described in the next paragraphs is intended to support a smart and cost-balanced transformation and prevent the city environment from degradation.

Methods – Workflow

This research pursues the creation of a universal definition in the Rhino/Grasshopper design environment, which may be helpful in transformation of the existing urban structures into walkable neighborhoods. The site of “Tereshkovoy”, which is one of the 43 sites proposed to be redeveloped in Irkutsk, is chosen as a case study. This site measures 1.16 km² (115.52 ha) within the planning area boundary (Fig. 1).

The main aim of the algorithm is to achieve maximum average walk scores for all residential units within the design area boundary through location of the minimal number of functional-diversified amenities. In other words, the goal is to maximize the walkability of the area with usage of minimal measures.

This part of the research presents the experimental workflow, which was applied in determined urban circumstances in Irkutsk.

Firstly, streets layout and plan of the existing amenities and housing units were required to start the analysis and further optimization process. Elk a plug-in for Grasshopper, which utilizes OpenStreetMap data, was used to create a digital vector map of the neighborhood. Resulting map was then complemented by the information from walkscore.com, which utilizes data sources such as Google, Education.com, Open Street Map and Localize [13] and data from 2gis (2ГИС)².

Secondly, the current walkability of the neighborhood was evaluated. The algorithm counts the walk score for every residential building within the design perimeter in the steps presented below:

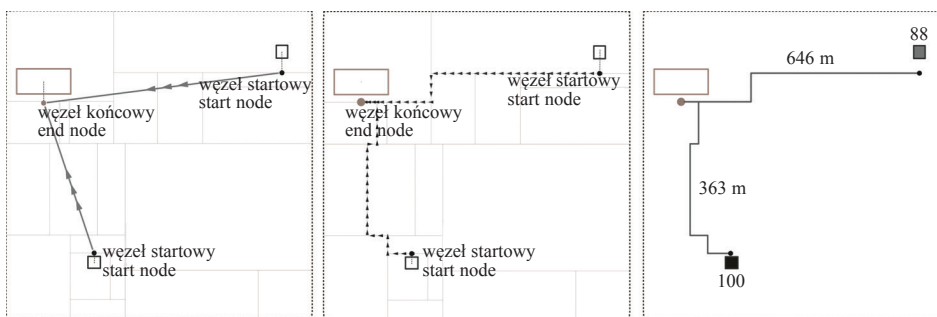
1. Every residential building and every amenity outline finds its projection to the closest street and creates a node at this point (Fig. 2).

² 2ГИС – Software version: 3.14.2 (API - 1.4.1), City database: Irkutsk – Russia (February, 2014).



Il. 1. Plan Irkucka
w skali 1 : 50 000
z zaznaczoną granicą opracowania

Fig. 1. The map of the Irkutsk,
scale 1:50 000
with marked design area



Il. 2. Wizualna reprezentacja
części algorytmu znajdującego
najkrótszą ścieżkę ruchu
w kilku krokach

Fig. 2. Visual representation of
the part of the algorithm,
which finds the shortest walk
in a series of steps

Ta część badań prezentuje eksperymentalny proces projektowy, który został wdrożony w określonych warunkach urbanistycznych miasta Irkucka.

Do rozpoczęcia procesu optymalizacji wymagane było stworzenie dokładnego planu z układem ulic oraz zaznaczeniem obiektów mieszkaniowych i istniejących usług. Do sporządzenia wektorowej mapy okolicy została zastosowana wtyczka Elk, która wykorzystuje dane z portalu OpenStreetMap.org. Mapa została uzupełniona dodatkowo na podstawie informacji uzyskanych z aplikacji 2gis (2ГИС)³ oraz portalu Walkscore.com, który bazuje na danych z Google, Education.com, OpenStreetMap, Localize [13].

Następnie została przeprowadzona ewaluacja aktualnej przyjazności ruchowi pieszemu badanego terenu. Algorytm liczy wynik *walk score* dla każdego z budynków mieszkalnych w granicy opracowania w następujących krokach (il. 2):

1. Projekcja obrysu każdego budynku mieszkalnego i każdej usługi zostaje znaleziona na najbliższej ulicy i tworzy w tym miejscu węzeł.

2. The shortest walk is found with usage of the ShortWalk component (Fig. 2). It calculates the shortest path from positions (start nodes) of residential buildings to amenities (end nodes) within a given network of roads (curves). ShortWalk component is based on a line-based topology calculator and utilizes A* algorithm – combination of the extension of Dijkstra's algorithm and heuristics. Moreover *A* is also shown to be optimal over a subset of the latter class containing all best-first algorithms that are guided by path-dependent evaluation functions* [14, p. 505].

3. On the basis of the result calculated by the algorithm, every housing unit is evaluated in terms of walkability and receives a walk score between 0 and 100 accordingly to Table 1. In case of more than one amenity of the same type, only the shortest distance is taken into calculation. All nearby amenities are checked for the walk length (not only amenities within the design area boundary).

4. Three previous steps are repeated for evaluation of the walk scores for every type of amenity, as follows: entertainment, restaurants, bars, kindergartens (Fig. 3), schools, parks, groceries and sport facilities. The final walk score is an arithmetical average of the particular walk scores.

The graphical representation of the average walk score for every residential building in the scope of study before and after the optimization process is presented in Figure 4.

³ 2ГИС – wersja: 3.14.2 (API – 1.4.1), baza danych: Irkuck – Rosja (luty, 2014).

Optimization process

In this research the walkability of an overall area depends on the locations of the mentioned types of amenities. To maximize walkable potential of the site, new amenities should be distributed, so that the greater part of housing units get a maximized walk score. The number of possible combinations is enormous, so that application of computational methods seems essential for solving this setback. The optimization problem was intentionally formulated to be solvable by the evolutionary solver – Galapagos.

The tool is based on the Genetic Algorithm, which [...] is a scheme that imitates evolutionary processes through simulating procedures of population, crossover and mutation of competing solutions [8, p. 4]. In the created algorithm, the evolutionary solver – Galapagos uses the variables (genes) to choose the random location (genome) within the street layout (solution domain). Maximization of walkability is understood as maximization of the average of walk scores for the whole neighborhood. This dependency is formulated as an equation below and is utilized as a fitness function for the evolutionary solver:

$$f(d) = \frac{W_1 n_1 + W_2 n_2 + W_3 n_3}{n_1 + n_2 + n_3}$$

where:

$f(d)$ – fitness function

d – the shortest distance between the residential building and amenity

$$W_1 = 100, d \in \{0|366\}$$

$$W_2 = 100 - \frac{d-366}{18.3}, d \in (366|2196)$$

$$W_3 = 0, d \in \{2196 | +\infty\};$$

$n_1 + n_2 + n_3$ – total number of residential building under evaluation,

n_1 – amount of houses with 100 walk score,

n_2 – amount of houses with walks core between 0 and 100,

n_3 – amount of houses with 0 walk score,

$$f(d) = \frac{100n_1 + \left(100 - \frac{d-366}{18.3}\right)n_2}{n_1 + n_2 + n_3}$$

In the study the total number of housing units under evaluation is 444. If the walking distance between the node of house and the node of the amenity is smaller than 366 m, the house scores 100 walk score points and if the distance is larger than 2196 m it scores 0 walk score points. All possible results are presented in the Table 1.

The distance of 366 m is a 5-minute walk at a speed of 1.22 m/s and 2196 m is a distance for a 30-minute walk at the same speed. For design purposes the speed value of 1.22 m/s is used for younger pedestrians (ages 14–65) [15]. The same value is suggested in the *Manual on Uniform Traffic Control Devices* (FHWA) [16] for traffic signal timing.



II. 3. Mapa wyników walk score przed procesem optymalizacji (górną mapą) i po nim (dolną mapą) dla kategorii „przedszkola”

Fig. 3. The maps of the walk scores before (upper map) and after (lower map) optimization process for kindergartens

2. Najkrótsza droga jest wyszukiwana przez komponent ShortWalk. Komponent oblicza najkrótszą ścieżkę pomiędzy lokalizacją budynków mieszkalnych (węzły startowe) oraz lokalizacją usług (węzły końcowe), wykorzystując dany układ ulic (krzywe). ShortWalk bazuje na linearnym topologicznym kalkulatorze i wykorzystuje A* algorytm – kombinację rozwinięcia algorytmu Dijkstry i heurystyki. Ponadto A* algorytm jest przedstawiony jako optymalny w drugiej wymienionej podgrupie [heurystyki] zawierającej wszystkie najlepsze algorytmy kierowane przez funkcję ewaluacji ścieżek [14, s. 505].

3. Na podstawie obliczonego przez algorytm rezultatu każda jednostka mieszkaniowa otrzymuje wynik walk score w zakresie od 0 do 100 zgodnie z tabelą 1. W przypadku obecności więcej niż jednej z usług tego samego typu tylko dystans do najbliższej z nich jest brany pod uwagę. Wszystkie zlokalizowane w okolicy obiekty usługowe są sprawdzane pod kątem odległości (także te poza granicą opracowania).

4. Trzy powyższe kroki są powtórzone w ocenie przyjazności ruchu pieszego dla usług każdego typu. W projekcie uwzględniono następujące kategorie: rozrywka, restauracje, bary, przedszkola (przykład – il. 3), szkoły, parki, sklepy spożywcze i usługi sportowe. Ostateczny wynik *walk score* jest arytmetyczną średnią wyników dla poszczególnych kategorii.

Reprezentacja graficzna uśrednionych wyników *walk score* dla poszczególnych kategorii jest przedstawiona na ilustracji 4.

Proces optymalizacji

W omawianej metodzie ocena optymalizacji przyjazności ruchowi pieszemu zależy wyłącznie od lokalizacji usług różnego typu. Zwiększenie tej *walkability* polega na rozdystrybuowaniu nowych funkcji usługowych w taki sposób, aby jak największa liczba jednostek mieszkaniowych uzyskała jak najwyższą średnią wyników przyjazności dla poszczególnych kategorii usług. Liczba możliwych kombinacji jest niewiarygodnie duża, dlatego też aplikacja komputacyjnych metod projektowych wydaje się niezbędna do rozwiązania tego zagadnienia. Problem optymalizacyjny celowo został stworzony jako rozwiązywalny przez solver ewolucyjny – Galapagos.

Galapagos jest oparty na algorytmie genetycznym, który [...] *schematem przypomina ewolucyjne procesy poprzez symulowanie procedur populacji, krzyżowania się i mutacji konkurujących rozwiązań* [8, s. 4]. W stworzonym algorytmie solver genetyczny Galapagos wykorzystuje zmienne (geny) do wyboru losowej lokalizacji (genomu) w zadeklarowanej domenie, którą stanowi układ ulic. Maksymalizacja *walkability* dzielnicy jest w ujęciu projektu przedstawiona jako maksymalizacja średnich wyników *walk score* dla całej strefy opracowania. Zależność ta jest sformułowana w formie funkcji przedstawionej poniżej i jest wykorzystana jako funkcja wielu zmiennych w procesie optymalizacji:

$$f(d) = \frac{W_1 n_1 + W_2 n_2 + W_3 n_3}{n_1 + n_2 + n_3}$$

gdzie:

$f(d)$ – funkcja wielu zmiennych,

d – najkrótsza ścieżka ruchu pomiędzy jednostką mieszkaniową a lokalizacją danej funkcji usługowej,

$$W_1 = 100, d \in \langle 0|366 \rangle$$

$$W_2 = 100 - \frac{d-366}{18,3}, d \in \langle 366|2196 \rangle$$

$$W_3 = 0, d \in \langle 2196|+\infty \rangle;$$

$n_1 + n_2 + n_3$ – całkowita liczba wszystkich jednostek mieszkaniowych w granicy opracowania

n_1 – liczba domów z *walk score* równym 100,

n_2 – liczba domów z *walk score* w zakresie od 0 do 100,

n_3 – liczba domów z *walk score* równym 0.

$$f(d) = \frac{100n_1 + \left(100 - \frac{d-366}{18,3}\right)n_2}{n_1 + n_2 + n_3}$$



Il. 4. Graficzna reprezentacja wyników przyjazności ruchowi pieszemu przed procesem optymalizacji i po nim

Fig. 4. The graphical representation of the walk scores before and after the optimization process

Results and project proposal

The created definition in the Rhino/Grasshopper design environment indicates a close to optimal node (address), where the new amenity should be located to maximize the walkability of the entire neighborhood. This procedure of searching for a new optimal location is repeated for every type of amenity (example: Fig. 3). As a result of walkability optimization – 8 new facilities were added, and the conceptual project was proposed (Fig. 4: after).

It is noticeable, that results suggest two potential “walkable centers” of the neighborhood. The grocery already existed in one of those centers, so that consequently another location was pointed by the algorithm. It is noticeable, that most nodes indicated by the algorithm are situated close to the longer diagonal of the design area. The results of optimization for particular types of facilities, are presented in Figure 5:

For the simulation at 1.22 m/s pedestrian speed value, the walkability average before optimization process was 60.02, and after 85.42. The overall walk score for the whole neighborhood rose more than 25 walk score points.

Tabela 1. Definicje wyników przyjazności ruchowi pieszemu – stworzone na bazie WalkScore® (walkscore.com)
Table 1. Walk score definitions – created on the basis of WalkScore® (walkscore.com)

Walk score	Opis Description	Czas przejścia [min] Walk time [min]	Odległość/Distance [m] $v=1,22$ m/s	Odległość/Distance[m] $v=0,97$ m/s*
100	Raj dla pieszych/Walker's Paradise	<5	<366	<291
90–100	Raj dla pieszych/Walker's Paradise Codzienne dojazdy nie wymagają samochodu Daily errands do not require a car	5–7,4	366–549	292–436
70–89	Bardzo przyjazna ruchowi pieszemu/Very Walkable Codzienne dojazdy nie wymagają samochodu Daily errands do not require a car	7,5–12,4	550–915	437–727
50–69	Średnio przyjazna ruchowi pieszemu/Somewhat Walkable Niektóre usługi w odległości sprzyjającej mobilności pieszej Some amenities within walking distance	12,5–17,4	916–1281	728–1018
25–49	Zależna od transportu kołowego/Car-dependent Tylko kilka usług w odległości sprzyjającej mobilności pieszej A few amenities within walking distance	17,5–23,8	1282–1739	1019–1382
0–24	Zależna od transportu kołowego/Car-dependent Dojazd do prawie wszystkich usług wymaga pojazdu Almost all errands require a car	23,9–30	1740–2196	1383–1746
0	Zależna od transportu kołowego/Car-dependent	>30	>2196	>1746

*0,97 m/s to prędkość odpowiednia dla pieszych w podeszłym wieku (powyżej 65 roku życia) [15]/0.97 m/s is a value of speed suitable for older pedestrians (ages over 65) [15]

W opracowaniu całkowita liczba jednostek mieszkaniowych wynosi 444. Jeśli dystans pomiędzy węzłem startowym i końcowym dla danej jednostki mieszkaniowej wynosi mniej niż 366 m, dana jednostka otrzymuje 100 punktów w ewaluacji, jeśli zaś dystans przekracza 2196 m, jednostka otrzymuje 0 punktów *walk score*. Tabela 1 przedstawia pełny system oceniania.

Dystans 366 m to 5-minutowy spacer z szybkością 1,22 m/s, a dystans 2196 m odpowiada 30-minutowemu spacerowi z tą samą prędkością. Do celów projektowych dla grupy docelowej w wieku 14–65 lat jako szybkość pieszego przyjmuje się 1,22 m/s [15]. Ta sama wartość zasugerowana jest w podręczniku *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD)* [16] dla projektowania sygnalizacji świetlnych.

Wyniki i projekt koncepcyjny

Stworzona definicja w oprogramowaniu Grasshopper wskazuje najkorzystniejsze lokalizacje węzłów końcowych (adresy) dla nowo projektowanych funkcji, tak aby maksymalnie zwiększyć przyjazność ruchowi pieszemu dla całego obszaru. Ta procedura szukania optymalnej lokalizacji jest powtórzona dla każdego typu usługi (przykład dla przedszkola – il. 3). Jako wynik optymalizacji *walkability* – 8 nowych funkcji usługowych i rekreacyjnych zostało dodanych do istniejącej tkanki urbanistycznej, tworząc konceptualny projekt (il. 4: po).

Uzyskane rezultaty wskazują dwa potencjalne optymalne centra przyjazne ruchowi pieszemu w badanej okolicy. Sklep spożywczy istnieje już w jednym z nich, dlatego też konsekwentnie nowa lokalizacja została wytyczona w innym miejscu. Można stwierdzić także, iż większość wskazanych przez algorytm lokalizacji dla

Although it is already proven that the validated Walk Score® is a reliable tool for estimating access to nearby facilities [17], it was not utilized in this research in its original form. Firstly, the recent researches were US data based and it is hard to predict if they are applicable to the same extent in the not-US research context [13]. Secondly, Walk Score® is a legitimate measure of estimating only some aspects of neighborhood walkability and still needs validation. Thirdly, Walk Score® was not applied in this case study because it counts the straight-line distances at the 1600-meter buffer.

The algorithm presented in this paper in terms of calculating distances works similarly to Street Smart algorithm which calculates “network distances” rather than straight-line distances. This characteristic significantly improves the validity of walk scores. In the validated Walk Score® facilities are divided into five categories: educational (e.g., schools), retail (e.g., grocery, drug, convenience and bookstores), food (e.g., restaurants), recreational (e.g., parks and gyms) and entertainment (e.g., movie theaters), and only the distance to the closest amenity in the given category is taken into calculation [13]. In the Walk Score® the frequency of used destination is disregarded. In this research every facility is in its own “category” and their weights are equal. It is hard to assume any frequency since it is a composite problem considering many aspects and it still remains an empirical question. Nonetheless, an improvement of walkability by 25 walk score points means that the pedestrian saves about 6.25 min one way achieving one of the destinations (school, sport facility, park, kindergarten, grocery, bar, restaurant or entertainment facility). It gives a 13-minute saving for reaching one amenity and 26 min in case of going to two amenities a day. In practice this result indi-

nowych usług znajduje się w pobliżu dłuższej przekątnej badanego obszaru (il. 4). Wyniki optymalizacji przyjazności ruchowi pieszemu dla poszczególnych kategorii funkcji są przedstawione na grafie (il. 5).

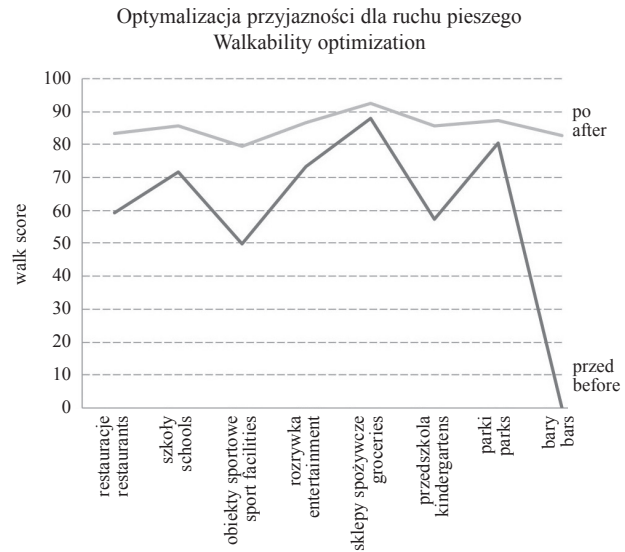
Dla symulacji z przyjętą prędkością pieszyc równą 1,22 m/s średnia przyjazność ruchowi pieszemu przed optymalizacją wynosiła 60,02, zaś po – 85,42. Całkowity wynik dla obszaru opracowania wzrósł o 25 punktów przyjazności dla ruchu pieszego.

Chociaż jest już udowodnione, że zweryfikowane narzędzie WalkScore® jest wiarygodnym przyrządem do oceniania dostępności najbliższych usług [17], w przedstawionym projekcie koncepcyjnym nie zostało ono użyte w swojej oryginalnej formie. Po pierwsze, ostatnie badania odnośnie do WalkScore® bazowały na kontekście amerykańskim i trudno jest przewidzieć, czy w takim samym stopniu mogą zostać zastosowane w urbanistycznym kontekście poza USA [13]. Po drugie, WalkScore® jest słusznym środkiem mierzenia tylko wybranych aspektów przyjazności ruchowi pieszemu i wymaga dalszych badań w celu zwiększenia wiarygodności. Po trzecie, WalkScore® nie został użyty w przedstawionym koncepcie, ponieważ liczy odległości od jednostek mieszkalnych do lokali usługowych tylko w linii prostej w promieniu 1600 m.

Zaprezentowany w tej pracy algorytm w kwestii sposobu mierzenia odległości jest podobny do algorytmu Smart Street, który zamiast dystansów w linii prostej liczy „sieciowe odległości”. Ta właściwość znacząco poprawia wiarygodność otrzymanych wyników. W zweryfikowanym narzędziu WalkScore® funkcje usługowe podzielone są na 5 kategorii (edukacja, sprzedaż, żywność, rekreacja i rozrywka) i dystans tylko do najbliższej usługi z danej kategorii jest uwzględniony w kalkulacji [13]. W algorytmie obliczeniowym WalkScore® częstotliwość używania poszczególnych usług jest pominięta. W prezentowanym algorytmie każda usługa jest w osobnej kategorii i wagi poszczególnych kategorii są równe. Oszacowanie wag do kalkulacji dla poszczególnych kategorii jest szczególnie trudne ze względu na złożoność problemu i pozostaje osiągalne poprzez badania empiryczne. Wzrost przyjazności ruchowi pieszemu badanego obszaru o 25 punktów *walk score* oznacza oszczędność 6,25 min przy jednorazowym spacerze do miejsca wybranej usługi (szkoła, usługa sportowa, park, przedszkole, sklep spożywczy, bar, restauracja, rozrywka). To daje 13 min oszczędności dziennie, przy założeniu, że potencjalny mieszkaniec raz dziennie idzie piechotą do wybranego miejsca. W praktyce wynik ten oznacza, że lokale usługowe są bliżej zabudowań mieszkalnych i prawdopodobieństwo, że mieszkańcy będą do nich chodzić na piechotę, jest większe. Konsekwentnie, wzrost przyjazności dla ruchu pieszego o 25 punktów oznacza, że mieszkańcy omawianego obszaru są mniej uzależnieni od prywatnych samochodów.

Dyskusja

Oprócz weryfikacji samej metodologii, główne punkty dyskusji podważającej wiarygodność zaproponowanego algorytmu mogą być znalezione na dwóch polach. W pierwszej kolejności wskazane zostaną niedoskonałości



Il. 5. Wykres wyników przyjazności dla ruchu pieszego przed procesem optymalizacji i po nim

Fig. 5. The results of the walkability for particular amenities before and after optimization

paces that facilities are nearer to the housing units and inhabitants are more likely to take a walk instead of using the car. Therefore, regardless to the precise methods of calculation, rise of walkability in the neighborhood by 25 points, makes it more pedestrian-friendly and less car-dependant.

Discussion

The major discussions and uncertain points of the research may be found in two fields apart from validation of applied walk score algorithm itself. Firstly, the imperfections in the code and fitness function formulation will be pointed out, secondly the results themselves will be discussed.

Considering the code formulation, the distances from buildings to the closest streets are neglected, so that the estimated distances might be in reality up to 50 m longer. Moreover the entrances to the residential units and facilities may not face towards the closest street. Both of these aspects decrease the validity of the calculated scores. No shortcuts or unofficial ways of circulation are taken into consideration due to the lack of validated data. On the other hand it is simultaneously assumed, that local roads are accurately prepared for the pedestrian circulation (pavements, walkways, roads are clear of snow during the winter). Personal preferences of inhabitants are disregarded. Neither WalkScore® nor presented walk score algorithm counts the variables such as neighborhood aesthetics, traffic, physical terrain [13]. Another disadvantage of the created tool is the fact, that all the housing units have the same “weight” in the process of maximization of the walk scores average. In other words, for the algorithm a single-family house is as important as the block of flats with 200 inhabitants. Nonetheless, this weakness may be easily eliminated, if the proper informa-

ści w sformułowaniu kodu i funkcji wielu zmiennych, następnie zostaną omówione otrzymane wyniki.

Biorąc pod uwagę sformułowanie algorytmu, odległości od budynków do najbliższych dróg (węzły startowe) są pominięte, dlatego też rzeczywiste odległości mogą być do 50 m dłuższe. Ponadto wejścia budynków mogą nie być zlokalizowane od strony najbliższej ulicy. Oba te aspekty zmniejszają wiarygodność otrzymanych wyników. Żadne nieoficjalne ścieżki piesze czy skróty nie są wzięte pod uwagę przy kalkulacji z powodu braku zweryfikowanych danych. W przyjętej metodologii zakłada się także, że drogi w domenie rozwiązań są odpowiednio przygotowane do ruchu pieszego (chodniki, przejścia, odśnieżone w okresie zimowym). Personalne preferencje mieszkańców również są pominięte. Ani WalkScore®, ani stworzony algorytm nie uwzględniają w kalkulacji estetyki okolicy, natężenia ruchu i rzeźby terenu [13]. Kolejną wadą stworzonego narzędzia jest to, iż wszystkie jednostki mieszkaniowe mają tę samą wagę w procesie maksymalizacji średniej wyników *walk score*. Innymi słowy, dla algorytmu jednorodzinny dom jest tak samo ważny jak blok mieszkalny z dwustoma mieszkańcami. Ta niedoskonałość może być bardzo łatwo wyeliminowana poprzez dostarczenie danych o liczbie mieszkańców. Natępnym argumentem podważającym wiarygodność algorytmu jest prawdopodobieństwo, że wskazana w procesie optymalizacji nowa lokalizacja może być zupełnie nieodpowiednia dla poszukiwanej funkcji usługowej. Z powyższych powodów narzędzie prezentowane w tej pracy może być używane wyłącznie jako środek pomocniczy w projektowaniu dzielnic przyjaznych ruchowi pieszemu.

Wnioski

W artykule tym zaprezentowano analizę urbanistyczną oraz proces projektowy wykorzystujący Rhinoceros/Grasshopper oraz wtyczki. Wykorzystano metody komputacyjne, aby przekształcić istniejącą strukturę urbanistyczną w dzielnicę przyjazną ruchowi pieszemu. Badania bazują na autentycznej sytuacji urbanistycznej w Irkucku w lutym 2014 r. i były przeprowadzone w ramach 15. sesji międzynarodowych warsztatów International Baikal Winter University of Urban Planning 2014. Celem warsztatów było zaproponowanie przez uczestników nowych strategii rozwoju infrastruktury mieszkaniowej na zabudowanych już terenach w Irkucku z uwzględnieniem aspektów przestrzennych, kulturowych i socjalno-ekonomicznych oraz wzrostu gęstości zaludnienia wynikającego z wzrostu intensywności zabudowy.

Praca wskazuje zarówno potencjał, jak i ograniczenia przedstawionego algorytmu oraz omawia konceptualny projekt – zoptymalizowaną pod kątem przyjazności dla ruchu pieszego dzielnicę „Tereshkovoy” – wynikający z wykorzystania algorytmu w zadanym kontekście. Zaprojektowane narzędzie może stać się praktycznym suplementem do urbanistycznych analiz oceniających przyjazność ruchowi pieszemu oraz potencjał komercyjny konkretnych obszarów. Algorytm może także znaleźć zastosowanie w prognozowaniu zapotrzebowania rynkowego na dany typ usług. Ważną zaletą zaproponowanej me-

tion about density is provided. The second source of hesitation about the research is the likeness, that the pointed by the algorithm places may be unsuitable or ridiculously unfitting. For the above reasons, the tool, which is presented in this paper may be applied only as an ancillary measurement.

Conclusions

This paper presents a generative urban analysis and design workflow using Rhinoceros/Grasshopper and add-ons. Computation methods are utilized for transformation of the existing urban structure into walkable neighborhood. The research is based on the authentic urban circumstances in the city of Irkutsk (February 2014) and was conducted within the 15th session of the International Baikal Winter University of Urban Planning 2014. The aim of the workshops was to propose a concept containing spatial, cultural and socio-economic decisions, that enable developing new residential investments in the inhabited areas in the city of Irkutsk and simultaneously handle the increase of population density during this process.

The study shows both the limitations and potentials of the applied algorithm and discusses the resulting project – the concept of walkable-optimized neighborhood on the site “Tereshkovoy”. The created tool may become a practical supplement to the urban analysis and planning in terms of the assessment of the commercial and walkable potential of areas. It may also find an implementation in forecasting the need for a given type of service. The crucial value of the presented workflow is the possibility to introduce the small steps strategy into the process of transformation of the existing areas into walkable neighborhoods. The created instrument is also very flexible and may be easily adjusted to any particular urban situation. It is suggested for future development to include the “weights” of housing units depending on the amount of inhabitants and the real distances concerning the slopes, entrances and pedestrian shortcuts into assessment of the walk score average. To increase the validity of the presented method the following input data should be provided: a map with marked entrances and pedestrian shortcuts, the number of inhabitants of the residential buildings and the inclination of the all paths included in the calculation.

Moreover, for every algorithm run the solution domain should be limited to the plots indicated in urban development plans as destined for the particular type of amenity. As a result, the algorithm would produce only suitable results and the time of the optimization process would be shortened.

Such improvements would significantly strengthen the validation of the proposed algorithm and would positively influence its wider implementation.

Translated by
Judyta Cichočka

toologii jest możliwość wdrożenia strategii małych kroków w procesie przekształcania istniejącego obszaru w dzielnicę przyjazną ruchowi pieszemu. Stworzone na potrzeby tej pracy narzędzie jest także bardzo elastyczne i może być łatwo dostosowane do indywidualnej sytuacji projektowej. Dla dalszego rozwoju narzędzia wskazane jest włączenie „wag” dla jednostek mieszkaniowych oraz obliczanie odległości z uwzględnieniem rzeźby terenu, wejść do budynków i istniejących skrótów dla pieszych. Do sformułowania algorytmu o podwyższonej wiarygodności niezbędny jest plan z zaznaczonymi wejściami do

budynków wraz z podaną liczbą mieszkańców w danym budynku, a także spadki wszystkich branych pod uwagę ścieżek, po których poruszają się piesi.

Ponadto dla każdego powtórzenia całego algorytmu przestrzeń potencjalnych rozwiązań powinna być ograniczona tylko do lokalizacji przewidzianych pod dany typ usługi, co zagwarantuje, że osiągnięte wyniki będą zawsze poprawne, a czas procesu optymalizacji zostanie skrócony.

Wymienione powyżej udoskonalenia wpłynęłyby znacząco na wiarygodność przedstawionego algorytmu i umożliwiłyby jego szersze zastosowanie.

Bibliografia/References

- [1] Sohn D.W., Moudon A.V., Lee J., *The economic value of walkable neighborhoods*, „URBAN DESIGN International” 2012, No. 17, 115–128.
- [2] The Mayor of London and Transport for London, *Making London a Walkable City: The Walking Plan for London*, Transport for London, 2004.
- [3] Abley S., *Walkability Scoping Paper*, 21 March 2005. <http://www.levelofservice.com/walkability-research.pdf> [accessed: 21.03.2014].
- [4] 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, No. 1887, 26–33.
- [5] Handy S., *Smart growth and the transportation – land use connection: What does the research tell us?*, „International Regional Science Review” 2005, No. 28(2), 146–167.
- [6] Dorn J., *Hidden in Plain Sight: Capturing the Demand for Housing Near Transit*, [Center for Transit-Oriented Development Oakland] 2004.
- [7] 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] 2002.
- [8] Rakha T., Reinhart C., *Generative urban modeling: a design workflow for walkability-optimized cities*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Submitted to SimBuild 2012.
- [9] American Community Survey, *2004 American Community Survey National Survey on Communities*, 2004, Conducted for Smart Growth America and National Association of Realtors, <http://www.brspoll.com/uploads/files/Smart%20Growth.pdf> [accessed: 21.03.2014].
- [10] Allen A.T., Ovsyannikova T.Y., Prazukin D.K., Worzala E., *The Development of a Residential Real Estate Market in Russia*, „Journal of Real Estate Literature” 2004, Vol. 12, No. 3, 363–374.
- [11] Khomutinnikov I., *Perestroika – Development and transformation of urban space, Analysis report/Document No 2 for the International Baikal Winter University of Urban Planning 2014*, 15th Session, 1–21 February 2014, ФГБОУВПО Irkutsk State Technical University, 4.
- [12] Khotulev R., *Perestroika – Development and transformation of urban space, Analysis report/Document No 2 for the International Baikal Winter University of Urban Planning 2014*, 15th Session, 1–21 February 2014, ФГБОУВПО Irkutsk State Technical University, 5.
- [13] Duncan D.T., Aldstadt J., Whalen J., Melly S.J., Gortmaker S.L., *Validation of Walk Score® for Estimating Neighborhood Walkability: An Analysis of Four US Metropolitan Areas*, „International Journal of Environmental Research and Public Health” 2011, No. 8, 4160–4179.
- [14] Dechter R., Pearl J., *Generalized best-first search strategies and the optimality of A**, „Journal of the ACM” 1985, Vol. 32, Iss. 3, 505–536.
- [15] Knoblauch R.L., Pietrucha M.T., Nitzburg M., *Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time*, „Transportation Research Record” 1996, No. 1538, 27–38.
- [16] FHWA, *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD)*, The Federal Highway Administration (U.S. Department of Transportation) 1988.
- [17] Carr L.J., Dunsiger S.I., Marcus B.H., *Walk score™ as a global estimate of neighborhood walkability*, „American Journal of Preventive Medicine” 2010, No. 39(5), 460–463.

Streszczenie

W artykule zaprezentowano analizę urbanistyczną oraz koncepcyjny projekt stworzony z użyciem oprogramowania Rhinoceros/Grasshopper, solvera Galapagos oraz wtyczek ShortWalk i Elk. Badania zostały przeprowadzone w ramach 15. sesji międzynarodowych warsztatów International Baikal Winter University of Urban Planning 2014 i bazują na autentycznym kontekście urbanistycznym Irkucka (luty 2014). Celem pracy jest zaproponowanie algorytmu optymalizacyjnego, który pozwoli na przekształcenie istniejących struktur urbanistycznych w dzielnicę osiągalną na piechotę. Stworzony na potrzeby projektu algorytm w aplikacji Grasshopper wykorzystuje zaadaptowany kalkulator przyjazności dla pieszych (oryginalnie WalkScore®) do oszacowania wyników *walk score* dla poszczególnych zabudowań mieszkalnych, a następnie przy użyciu ewolucyjnego narzędzia do rozwiązywania matematycznych problemów wyszukuje optymalne lokalizacje dla nowych funkcji usługowych w taki sposób, aby zmaksymalizować średnią wyników *walk score*. Jako wynik implementacji algorytmu w zadanym problemie w dalszej części artykułu przedstawiono konceptualny projekt przyjaznej ruchowi pieszemu dzielnicy. We wnioskach przedyskutowano zalety i wady zaproponowanego algorytmu, wynikowy projekt, a także wskazówki dla dalszych badań.

Słowa kluczowe: projektowanie generatywne, optymalizacja, przyjazność dla ruchu pieszego, walk score, algorytmy genetyczne

Abstract

This paper presents an urban analysis and design workflow using Rhinoceros/Grasshopper with evolutionary solver Galapagos and add-ons: Shortest Walk (ShortWalk) and Elk. The research is based on the authentic urban situation in the city of Irkutsk and was conducted within the 15th session of the International Baikal Winter University of Urban Planning 2014. The aim of the research is to propose a workflow, which reforms some part of the existing urban structure into walkable neighborhood. The study uses a walkability calculator to estimate the walk scores for the residential buildings within the design perimeter and applies genetic algorithms to point out the location of the new amenities to maximize the average of the particular walk scores. As a result, the conceptual project of walkable-optimized neighborhood is proposed. The conclusions show the limitations and potentials of the applied algorithm, discuss the resulting project and outline future research.

Key words: generative design, optimization, walkability, walk score, genetic algorithms