



**DOI: 10.21005/pif.2024.60.F-01**

## **ANALYSIS OF TACTILE GUIDANCE SYSTEMS IN THE CONTEXT OF PERCEPTIBILITY BY PEOPLE WITH VISUAL IMPAIRMENTS**

## **ANALIZA PARAMETRÓW SYSTEMÓW FON W KONTEKŚCIE WYCZUWALNOŚCI PRZEZ OSOBY Z NIEPEŁNOSPRAWNOŚCIĄ WZROKU**

### **Adam Zwoliński**

dr hab. inż. arch., prof. ZUT  
Author's Orcid number: 0000-0001-9404-0748

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Architektury, Katedra Urbanistyki i Planowania Przestrzennego, Zespół Symulatorium Dostępności

### **Weronika Juzyszyn**

Studentka Wydziału Architektury ZUT  
Orcid number: 0009-0003-3458-5297

### **Katarzyna Krasowska**

dr inż. arch  
Orcid number: 0000-0002-9232-9596

### **Mateusz Freidenberg**

Student Wydziału Architektury ZUT  
Orcid number: 0009-0007-1070-4967

### **ABSTRACT**

Tactile pavement marking systems (pol. FON) play a key role in ensuring the accessibility of urban space for people with visual impairments. The use of the so-called "tenji blocks" invented by Seiichi Miyake, then their contemporary versions - elements of the FON system, in urban space has become one of the key elements of universal design, which aims to create spaces accessible to all users, regardless of their limitations. In Poland, statistics on people with visual impairments indicate that this group constitutes a significant part of the community of people with disabilities. FON is felt using a white cane and directly with the feet. The palpability of the FON system in footwear is the parameter that is the main research thread in this article. The research analyzed the palpability of FON depending on the type of footwear and the parameters of its elements. The research was conducted using tensometric sensors.

Keywords: accessibility, ergonomics, tactile guidance systems, visual impairments

### **STRESZCZENIE**

Systemy fakturowego oznakowania nawierzchni (FON) odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu dostępności przestrzeni miejskiej dla osób z niepełnosprawnością wzroku. Stosowanie w przestrzeni miejskiej wymyślonych przez Seiichi Miyake tzw. „tenji blocks”, potem ich współczesnych wersji – elementów systemu FON, stało się jednym z kluczowych elementów projektowania uniwersalnego, który ma na celu tworzenie przestrzeni dostępnych dla wszystkich użytkowników, niezależnie od ich ograniczeń. W Polsce statystyki dotyczące osób z niepełnosprawnością wzroku wskazują, że grupa ta stanowi istotną część społeczności osób z niepełnosprawnościami. FON wyczuwany jest za pomocą białej laski oraz bezpośrednio stopami. Wyczuwalność systemu FON w obuwiu jest parametrem będącym głównym wątkiem badawczym w niniejszym artykule. W ramach badań przeanalizowano wyczuwalność FON w zależności od rodzaju obuwia i parametrów jego elementów. Badania przeprowadzono z zastosowaniem czujników tensometrycznych.

Słowa kluczowe: dostępność, ergonomia, system FON, niepełnosprawność wzroku

## 1. INTRODUCTION

Textured pavement marking (called in Polish FON) systems play a key role in ensuring the accessibility of urban space for people with visual impairments. Thanks to special textures that can be felt underfoot or with a cane, these people can move more safely and efficiently in public space. FON system elements such as guide paths, warning fields or markings of dangerous places act as a guide, enabling orientation in space and avoiding potential threats. The introduction of such solutions is an important element of universal design, which aims to create an environment friendly to all users, regardless of their needs and limitations. FON systems are not only technical support, but also an expression of the desire to build inclusive cities, in which users can function independently. Improving the accessibility of public spaces is an investment in a better quality of life, supporting equality and social integration. The use of FON systems in urban spaces aims to reduce functional barriers and support the mobility of blind and visually impaired people. Appropriate marking allows for avoiding hazards (e.g. platform edges) and facilitates movement in complex urban environments, such as stations or intersections. It is crucial that the design of marking systems is carried out in accordance with the principles of universal design, which ensures their effectiveness and durability.

The FON systems should be made in such a way that their structure is easily felt underfoot, which is an additional feature useful for people with visual impairments. Special patterns, such as raised lines, bumps or grooves, differ from the surrounding surface, which allows users to identify them with minimal contact. One of the most significant noticeable problems related to FON systems is the lack of uniform standards for the elements used both, at the local and European level (Fig. 1). The palpability of the FON system in footwear is a parameter, that is the main research thread in this article. Correct perception of the surface supports orientation in space and also increases the sense of security and independence in movement. An additional challenge is to make FON elements from materials that are resistant to abrasion, while at the same time providing a clear texture, that remains functional for years.

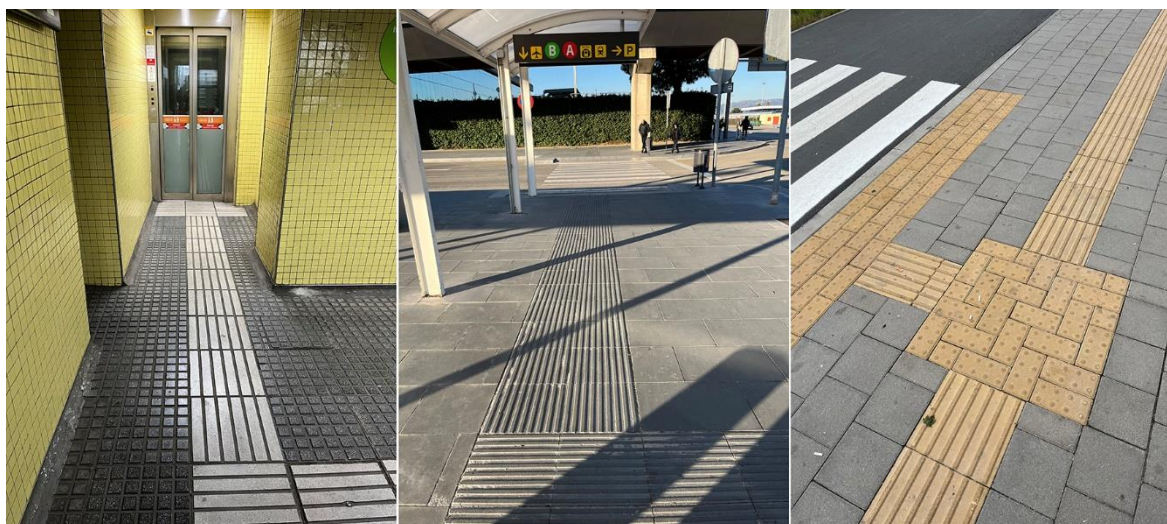


Fig. 1. Examples of various elements of the FON system and the lack of a uniform standard for elements inside and outside buildings. Examples from Barcelona (1,2) and Wrocław (3). Photo Zwoliński A.

Ryc. 1. Przykłady różnych elementów systemu FON i braku jednolitego standardu elementów wewnątrz obiektów i na zewnątrz. Przykłady z Barcelony (1,2) i Wrocławia (3). Fot. Zwoliński A.

Data indicate, that in December 2023, there were over 4 million people in Poland with a valid disability certificate or a certificate of incapacity for work (GUS, 2023). Statistics on people with visual disabilities indicate a significant social problem both in Poland and worldwide. According to data from the World Health Organization (WHO), approximately 2.2 billion people worldwide struggle with visual impairment or blindness. Of these, at least one billion cases could be avoided through appropriate medical intervention or preventive measures. In Poland, the number of people with a

certified visual disability is several hundred thousand, but many people do not have formal certificates, which makes it difficult to accurately estimate the scale of the problem.

In Poland, statistics on people with visual impairments indicate, that this group constitutes a significant part of the community of people with disabilities. Available data indicate, that approximately 90,000 people in Poland are completely blind. The total number of people with visual impairments, including visually impaired people, is approximately 1.8 million, of whom approximately 800,000 have serious vision problems. In 2021, approximately 9.2% of people with disability certificates in Poland were diagnosed with visual impairments as their main condition (Pacholec, 2020). The statistics show the scale of the problem, emphasizing the need for appropriate infrastructure, so that people with visual impairments can function independently and actively in society. Details can be found in reports published by the Office of the Government Plenipotentiary for People with Disabilities (Niepełnosprawni, 2024).

The social and professional exclusion of blind and visually impaired people in Poland remains a major challenge. These people often encounter difficulties in moving independently, which significantly affects their quality of life (Kuczyńska-Kwapisz, 2021). Only a small part uses available rehabilitation programs, which further limits their independence. These data indicate the need for broad actions aimed at improving the accessibility of urban spaces and systematic support in the field of rehabilitation and education, which will allow people with visual disabilities to be more independent and socially integrated.

#### *Origin and development of textured pavement marking systems (FON)*

The history of so-called “Tenji blocks” (also known as tactile paving or dot & line blocks) began in Japan in the 1960s as an innovation aimed at improving the mobility of people with visual impairments. The creator of this system was Seiichi Miyake, a Japanese inventor and engineer, who developed the first prototypes in 1965, inspired by the desire to help a friend who was losing his sight (Debczak, 2019). The raised elements of urban pavements became the equivalent of the Braille alphabet. The first use of Tenji blocks took place in 1967 in the city of Okayama, where they were installed at pedestrian crossings. Their popularity grew gradually, and standards began to evolve in the 1970s, when they were introduced on a larger scale in public transport, especially in train stations in Japan. The name “tenji” comes from the Japanese word for braille, emphasizing their role in facilitating navigation for blind people (Ryan, 2021).

Currently, the solution operates in Polish under the name of textured pavement marking system (FON). In English, it operates as, among others, tactile guidance system, tactile marking system or tactile pavement marking system.

Tenji blocks have become a model for many countries, that have adapted these systems to their needs. They are now used all over the world, on sidewalks, public transport stops and subway stations. Their universal patterns, such as raised dots and lines, allow visually impaired people to identify dangerous places and paths, contributing to increased independence and safety. The introduction of tenji blocks has become one of the key elements of universal design.

#### *The issue in the light of other research*

The origins of accessibility for people with special needs stem from the desire to ensure equality and full participation in society. This idea has its roots in the civil rights movements of the 20th century, such as the fight for the rights of people with disabilities in the USA, which led to the adoption of the Americans with Disabilities Act (ADA) in 1990. Such acts introduced requirements to eliminate architectural and systemic barriers, that made it difficult for people with disabilities to function (Parrott-Sheffer, 2024). In Europe, the key role was played by the UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD) of 2006, which obliged state parties to universal design, enabling accessibility of public spaces for all, without the need for adaptation (Convention, 2006). In Poland, the issue has been developing since the 1990s, and the Act on ensuring accessibility for people with special needs of 2019 (Accessibility Act, 2019) is of particular importance. Accessibility not only supports mobility, but is also an expression of respect for the diversity of society. Accessibility in a global perspective, as a key development challenge, appears in the World Bank publication

(Bhagrava, 2006), and its approach in the context of architecture and space can be found in publications edited by Jos Boys (Boys, 2017). The reference to the accessibility of cultural institutions is discussed in the publication (Shevchenko, 2023).

Research on textured pavement markings for the blind and visually impaired focuses on their effectiveness, design and impact on mobility. Analyses indicate, that the use of elements such as raised lines and dots improves the independence of people with visual disabilities, especially in urban spaces and public transport. Bentzen (2013, 2017) emphasizes the importance of appropriate layout and clear texture contrasts for increasing safety on railway platforms and pedestrian crossings. In turn, research by Jacobs (2018) draws attention to the differences in the effectiveness of FON elements in different cultural and climatic environments. He indicates, that in countries with high rainfall, improperly designed markings can become slippery and less noticeable. The International Organization for Standardization in the ISO:23599 standard recommends the use of abrasion-resistant materials to maintain a clear texture for a long time of use (ISO:23599, 2019). In addition, the World Health Organization report (WHO, 2011) emphasizes the importance of FON in the context of the trend of ageing societies. Vision problems affect an increasing number of older people. FON systems are an important element of inclusive design of public spaces. WHO recommendations suggest, that combining such systems with technologies, e.g. sensors or mobile applications, can further support the independence of people with visual impairments. A separate thread of research on the impact of FON systems was the role of the color of FON elements on visibility for people with visual impairments. Studies on the contrast between FON elements and the adjacent surface were presented already in the 1980s and 1990s (Shino, Nagai, Yamashita, 1993), and in 2000, Japanese researchers in a publication from the JIPEA World Congress 2000 (Sakaguchi, Takasu, 2000). Detailed guidelines for shaping FON elements can be found, for example, in the official guide of the UK Ministry of Transport (DT London, 2021). Finally, proposals for modern digital methods for testing and detecting FON elements in the environment have been published by, among others, Ghilardi (2016) and Laurie (2017). A review of digital solutions in the field of accessibility was published in an earlier publication (Krasowska, Zwoliński, 2022).

#### *Research from the perspective of people with visual impairments*

Sensing FON elements with feet while moving in urban space, in addition to sensing with the help of a "white cane", is an additional convenience for people with visual impairments. To justify the research on the sensibility of FON, contact was established with a non-governmental organization dealing with visual impairments (NGO "WIDZIMY INACZEJ") in order to conduct a survey on the role of sensing FON elements under feet in the everyday functioning of these people. The survey was developed in an accessible form, using the Google Forms platform. The survey consisted of a question identifying the degree of visual impairment (Fig. 2) and 4 questions regarding the role of sensing FON in everyday functioning in footwear (Fig. 3, 4). The survey was completed by a group of 10 respondents (n=10). The input question concerned the declaration of whether the respondent is:

- Blind person (2 people)
- Blind person (1 person)
- Severely visually impaired person (6 people)
- Moderately visually impaired person (1 person)
- Mildly visually impaired person (none)

Jestem: / The respondent is:

10 odpowiedzi / 10 answers

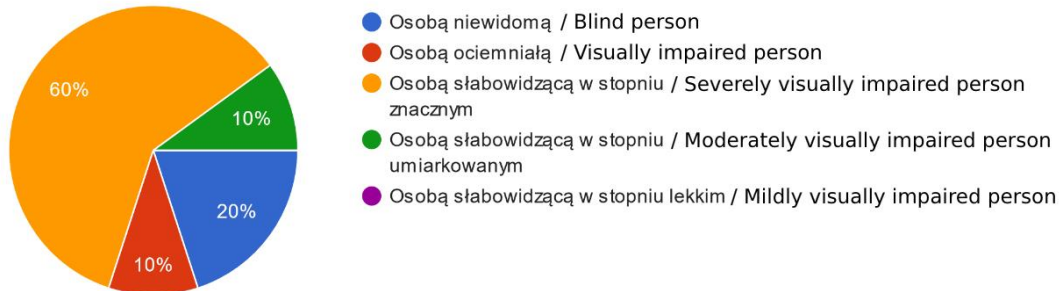
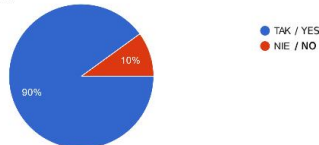


Fig. 2. Structure of survey respondents according to the degree of visual impairment. Source: by authors.

Ryc. 2. Struktura respondentów ankiety ze względu na stopień niepełnosprawności wzroku. Źródło: Oprac. własne

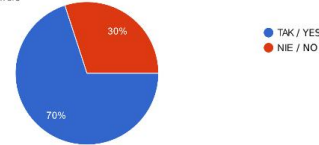
In the main part, respondents were asked whether the feeling of FON elements underfoot in the city space and buildings was important to them and to what extent (on a scale of 1-5) the feeling of them is important in the city space and buildings.

Czy w codziennym poruszaniu się w przestrzeni miasta ma dla Pana / Pani znaczenie wyczuwalność pod stopami elementów Fakturowych Oznakowań Nawierzchni (FON)?  
10 odpowiedzi / answers



When moving around the city every day, is it important for you to be able to feel the elements of Textured Surface Markings (FON) under your feet?

Czy w codziennym poruszaniu się wewnątrz budynków ma dla Pana / Pani znaczenie wyczuwalność pod stopami elementów Fakturowych Oznakowań Nawierzchni (FON)?  
10 odpowiedzi / answers



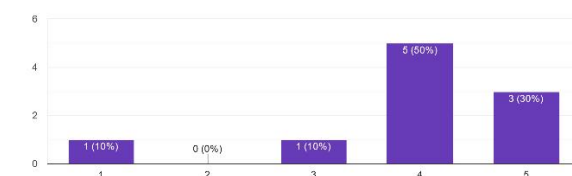
When moving inside buildings every day, is it important for you to be able to feel the elements of Textured Surface Markings (FON) under your feet?

Fig. 3. Survey results for questions about the importance of FON detection outdoors and in buildings. Source: by authors.

Ryc. 3. Wyniki ankiety dla pytań o znaczenie wyczuwalności FON na zewnątrz i w budynkach. Źródło: Oprac. własne

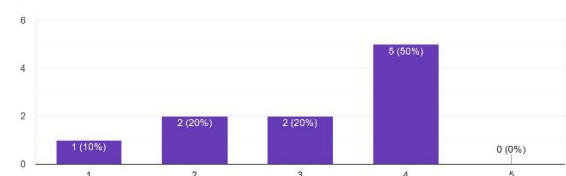
In both questions, the vast majority (90% and 70%, respectively) of respondents answered YES. In questions specifying the extent to which the indicated perceptibility is important (in both cases of the city and buildings), 50% of respondents rated this importance at level 4 (on a scale of 1-5) (Fig. 3).

W jakim stopniu w skali od 1 do 5 ocenia Pan / Pani znaczenie wyczuwalności elementów Fakturowych Oznakowań Nawierzchni (FON) dla orientacji w poruszaniu się w przestrzeni miasta?  
10 odpowiedzi / answers



To what extent, on a scale of 1 to 5, do you assess the importance of the tactile properties of Textured Surface Markings (FON) for orientation when moving around in the city space?

W jakim stopniu w skali od 1 do 5 ocenia Pan / Pani znaczenie wyczuwalności elementów Fakturowych Oznakowań Nawierzchni (FON) dla orientacji w poruszaniu się wewnątrz budynków?  
10 odpowiedzi / answers



To what extent, on a scale of 1 to 5, do you assess the importance of the tactile properties of Textured Surface Markings (FON) for orientation when moving inside buildings?

Fig. 4. Survey results for questions about the importance of FON detection outdoors and in buildings. Source: by authors.

Ryc. 4. Wyniki ankiety dla pytań o znaczenie wyczuwalności FON na zewnątrz i w budynkach. Źródło: Oprac. własne

The survey results showed that the analysis of the parameters of different types of FON elements in the context of their perceptibility by different people in different types of footwear is justified and will contribute to determining the optimal size parameters in terms of perceptibility.



footwear selected was differentiated primarily in terms of the material and hardness of the sole, which separates the user's foot from the FON element and affects the perception of the FON convexity. The footwear used for the tests is presented in the illustration below (Fig. 7).

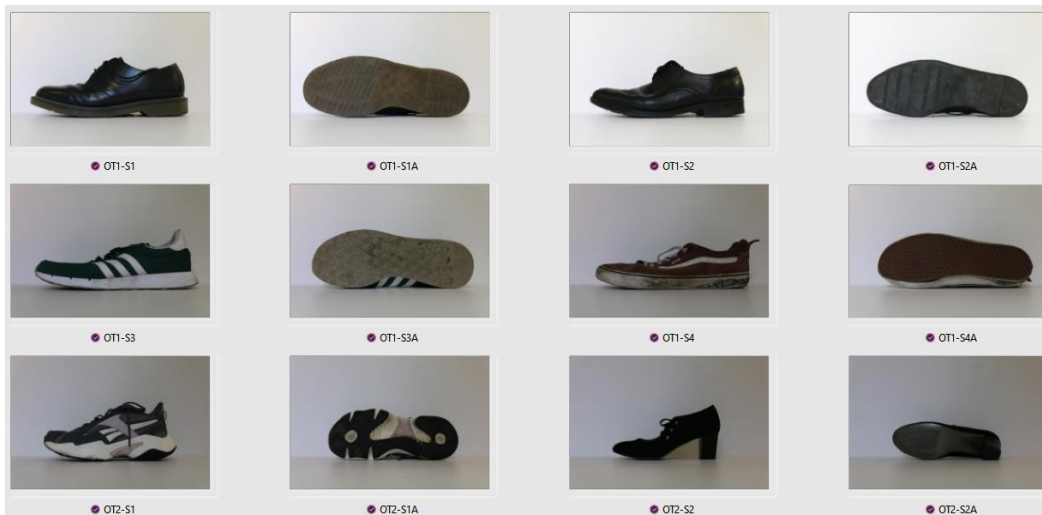


Fig. 7. List of footwear used in the FON sensibility tests for OT1 and OT2 test subjects. Source: by authors.  
Ryc. 7. Zestawienie obuwia wykorzystanego w badaniach wyczuwalności FON dla osób testujących OT1 i OT2 . Źródło: Oprac. własne

The research conducted focused on issues such as determining which of the parameters taken into account (user weight, FON element convexity, type of footwear) has the greatest impact on the underfoot feel, which everyday footwear is most conducive to feel, or the relationship between user weight and type of footwear in the context of feel. A summary of the research assumptions is presented below in a synthetic summary (Fig. 8).

	OT 1				OT 2	
	OT1-S1	OT1-S2	OT1-S3	OT1-S4	OT2-S1	OT2-S2
FON 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
FON 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
FON 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
FON 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
FON 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FON 1-5	BADANE RODZAJE SYSTEMU FON / TESTED TYPES OF FON SYSTEM					
OT 1-2	OSOBA TESTUJĄCA / TESTING PERSON					
OT1-S1	RODZAJ OBUWIA OSOBY TESTUJĄCEJ / TESTER'S FOOTWEAR TYPE					
FON 1	WEWNĘTRZNY - BUDYNEK RCiTT ZUT / INTERIOR - BUILDING RCiTT ZUT - SZCZECIN					
FON 2	ZEWNĘTRZNY / EXTERNAL - AL. WOJSKA POLSKIEGO - SZCZECIN					
FON 3	WEWNĘTRZNY - DWORZEC PKP/ INTERIOR - RAILWAY STATION - SZCZECIN					
FON 4	ZEWNĘTRZNY - SYMULATORIUM DOSTĘPNOŚCI - PRÓBKA / EXTERNAL - ACCESSIBILITY SIMULATORIUM - SAMPLE					
FON 5	ZEWNĘTRZNY - AL. PIŁSUDSKIEGO / EXTERNAL - AL. PIŁSUDSKIEGO - GDYNIA					
OT 1	OSOBA TESTUJĄCA 1 - MĘŻCZYZNA - WAGA 100kg / TESTING PERSON 1 - MALE - WEIGHT 100kg					
OT 2	OSOBA TESTUJĄCA 2 - KOBIETA - WAGA 55kg / TESTING PERSON 2 - WOMAN - WEIGHT 55kg					
OT1-S1	PÓŁBUTY CODZIENNE TYPU MARTENS / EVERYDAY SHOES TYPE MARTENS					
OT1-S2	PÓŁBUTY OKAZJONALNE / OCCASIONAL SHOES					
OT1-S3	OBUWIE SPORTOWE DO BIEGANIA / SPORTS SHOES FOR RUNNING					
OT1-S4	OBUWIE SPORTOWE CODZIENNE TYPU TRAMPKI / EVERYDAY SPORTS SHOES SNEAKERS TYPE					
OT2-S1	OBUWIE SPORTOWE DO BIEGANIA / SPORTS SHOES FOR RUNNING					
OT2-S2	OBUWIE OKAZJONALNE TYPU SZPILKI / OCCASIONAL HIGH-HEEL SHOES					

Fig. 8. Summary of research assumptions. Source: by authors.  
Ryc. 8. Zestawienie założeń badawczych. Źródło: Oprac. własne

### 3. METHODOLOGY

The research conducted in this publication consists of two basic research methods. The survey method at the stage of initial recognition and justification for undertaking the subject and the experimental (measurement) research using specialist equipment. The presentation of results and conclusions is based on the comparative analysis method of measurements. The study of the sensibility of FON systems was conducted using the F-Scan tensometric sensor system from Tekscan with dedicated TEKSCAN F-SCAN software (Fig. 9). The F-Scan VersaTek shoe pressure measurement system is dedicated to performing and recording measurements of pressure generated on the ground during walking. It enables imaging of the imprint of the surface of movement on the user's foot in high resolution (4 sense-le/cm<sup>2</sup>) and a sensor measurement range of 125 psi (8.75 kg/cm<sup>2</sup>), with the possibility of measuring pressure differences as small as 0.71 psi (50 g/cm<sup>2</sup>). For pressure measurements, two calibrations were adopted, adjusted to the weight of the test persons (OT1, OT2), OT1 – 100 kg and OT2 – 55 kg, respectively.



Fig. 9. Tekscan F-Scan measurement system. Source: F-Scan GO System, 2024

Ryc. 9. System pomiarowy Tekscan F-Scan. Źródło: F-Scan GO System, 2024

For the presentation of the results, pressure imaging generated directly from the pressure measurement system was used. During the measurement, a simulation of the user walking on the FON system element was recorded, then the pressure was analyzed frame by frame to image the peak moment of pressure.

### 4. RESULTS AND DISCUSSION

As part of the research, pressure measurements were obtained for 5 different types of FON systems. Within each of them, attention fields and guide lines were examined. The measurements were compared using the measurement frame in which the pressure was the highest, and an additional parameter unifying the compared image was the position of the center of gravity - in the most similar position, which allowed for the comparison of the most similar moments of pressure. The measurements were recorded in the form of a multi-frame animation representing a regular step over the FON element. A comparative analysis of the measurements was performed both in the context of different types of elements and in the context of various footwear worn by the testers.

The first issue, natural in principle, but worth explaining, is the difference in the weight of OT1 and OT2 users testing the perceptibility. The results for OT1 – a man weighing almost twice as much as the OT2 woman, show a much clearer picture of pressure mapping. This is naturally related to the fact that theoretically similar footwear in terms of construction bends much more and touches both the FON convexity and the flat base of the element at the moment of pressure. This is also reflected in the pressure surface parameter for OT1 and OT2 – in this case almost 4 times larger. Addi-



tionally, for a much lighter person, the areas where the footwear does not touch the flat base of the element during pressure are mapped as empty spaces – giving the impression of a measurement error (Fig. 10).

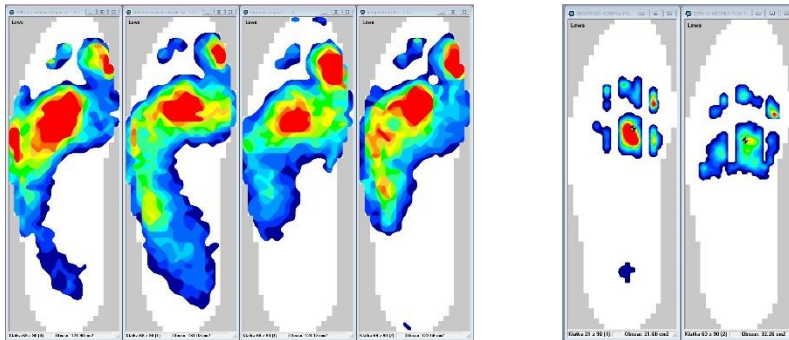


Fig. 10. Comparison of the pressure surface for OT1 and OT2 on the same FON4 element with the weight of OT1 twice that of OT2. Source: by authors.

Ryc. 10. Porównanie powierzchni nacisku dla OT1 i OT2 na tym samym elemencie FON4 przy wadze OT1 2-krotnie większej od OT2. Źródło: oprac. własne

A more important perspective of the analysis of the perceptibility was the differentiation of the mapping of the FON elements in different types of footwear. In this case, the best imaging result is given by the images of the pressure of the OT1 user, where the greater weight causes a much larger mapping surface. The illustration below shows the mapping of the pressure for OT1 in the case of the FON1 and FON 5 elements. These measurements give the clearest picture of the differences in perceptibility depending on the type of footwear - below, respectively, the measurements of FON1 and FON5 (Fig. 11a, b) for everyday footwear (OT1-S1), occasional footwear (OT1-S2), sports footwear (OT1-S3) and everyday type of sneakers (OT1-S4). The greatest difference in perceptibility can be seen in both cases between occasional footwear on a hard, thin sole and sports footwear on a foam cushioning sole. In casual footwear (OT1-S2) the convex dots of the FON element are very clearly felt, while in sports footwear (OT1-S3) the image is clearly blurred and the element is felt almost as a uniform surface. It is interesting that in everyday footwear such as Martens (OT1-S1), despite the distinct thickness of the rubber sole, the image of the convexity is legible. The image of the feeling is of course influenced by the individual model of the user's posture and pressure on the surface, nevertheless, within the pressure field, some elements are always visible.

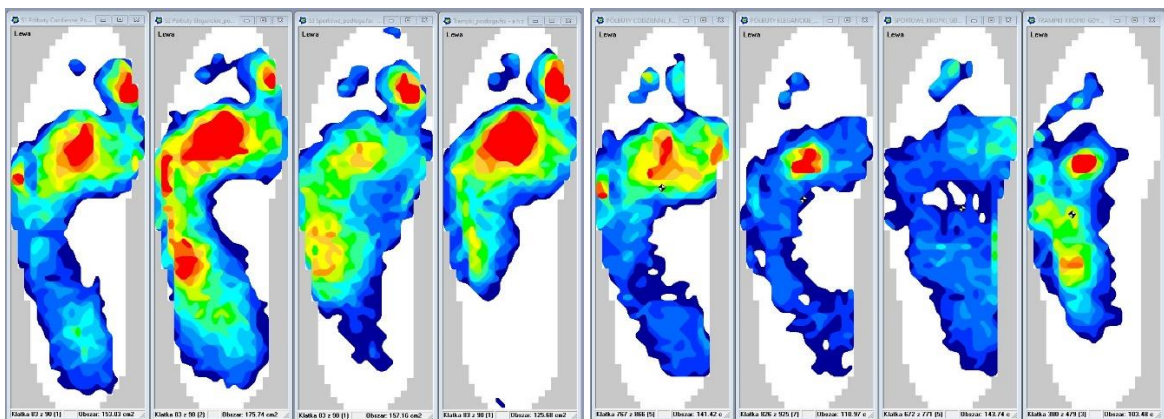


Fig. 11 a) FON1 sensitivity for 4 types of footwear, b) FON5 sensitivity for 4 types of footwear. Source: by authors.

Ryc. 11. a) Wyczuwalność FON1 dla 4 typów obuwia, b) wyczuwalność FON5 dla 4 typów obuwia. Źródło: oprac. własne

It is also worth paying attention to the parameter of the distance of individual protrusions of the FON element from each other. The image of the FON5 system's perceptibility (Fig. 11b) concerns an atypical element with square-shaped protrusions and a small distance between them (FON5). In this case, it can be seen that the image of the perceptibility of round protrusions that are more distant from each other is clearer (FON1). It should also be noted that the height of the protrusions is important. In the case of the tested FON elements, it ranges between 5 and 9 mm. The optimal height is a challenge in the context of FON design, because protrusions that are too high will cause a tripping effect.

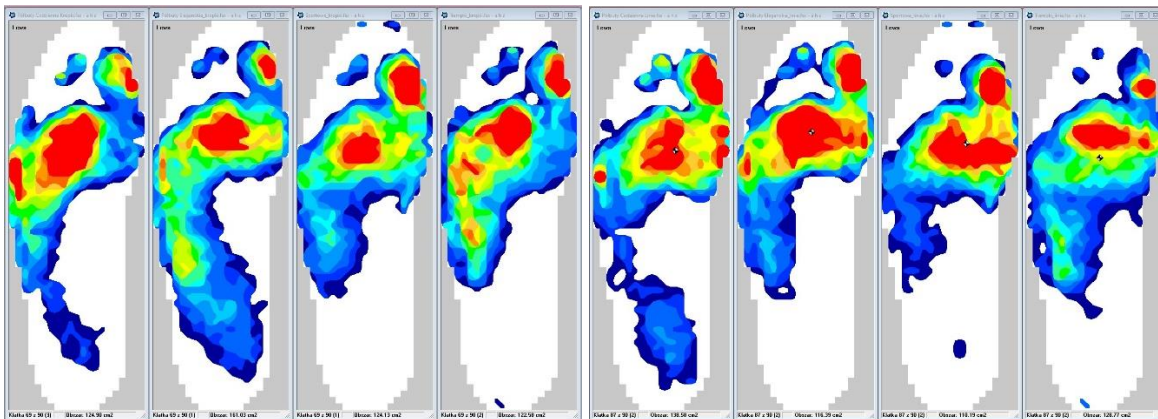


Fig. 12. Comparison between the perceptibility of the shape of the convex dots of the attention field elements and the linear shape of the guiding line elements in different types of footwear. Source: by authors.

Ryc. 12. Porównanie między wyczuwalnością kształtu wypukłych kropek elementów pól uwagi, a linearnym kształtem elementów linii prowadzących, w różnych rodzajach obuwia. Źródło: oprac. własne

The basic components of FON systems are attention fields and guide lines. They are primarily differentiated in terms of the shape of the convexity. Attention fields are based on a regular spacing of convex elements, and guide line elements on a regular spacing of parallel linear convexities (Fig. 6). Analyses of different FONs have shown a problem with sensing differences in the shape of convex elements. Comparison of the measurement carried out by user OT1 in the same types of footwear for the attention field element with point convexities (Fig. 12 on the left) with the measurement of guide lines (Fig. 12 on the right) shows that the difference in the sensibility of these different shapes is small. An interesting observation, however, is that this difference is most visible in cushioned sports shoes (contrary to the general sensibility of the FON element convexity mentioned earlier).

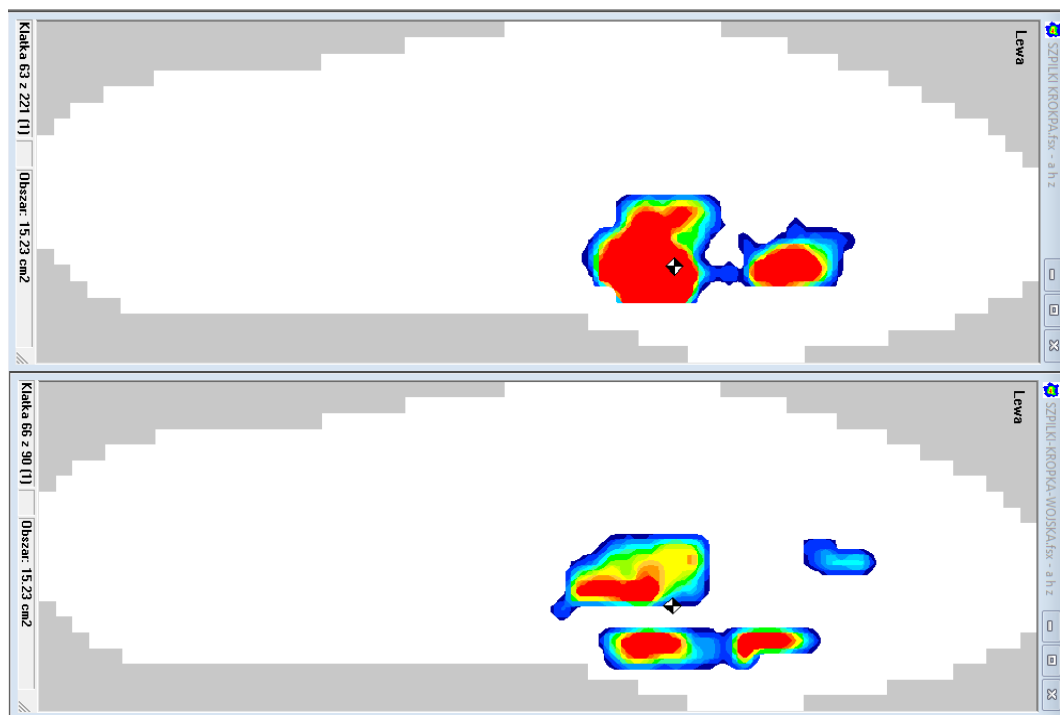


Fig. 13. Focused representation of the tactility of point elements in high-heeled shoes, with the center of gravity shifted forward and inward. Source: by authors.

Ryc. 13. Skupione odwzorowanie wyczuwalności elementów punktowych w obuwiu typu szpilki, ze środkiem ciężkości przesuniętym do przodu oraz do wewnątrz. Źródło: oprac. własne

A special case of footwear was the high-heeled women's shoes used in the measurements by the OT2 user. A characteristic feature of this type of footwear is the transfer of the center of gravity very much to the front part of the footwear, which causes the image of the convexity to be strengthened in this type of footwear (Fig. 13). Additionally, the focused sensibility is concentrated more on the inner side of the footwear, while due to the relatively low weight of the OT2 user and the size of the footwear, the pressure mapping surface is very small.

## 5. CONCLUSIONS

The conducted tests of the sensibility of FON elements in everyday use, in various footwear, have proven that the very useful parameter of additional sensibility of the FON system underfoot is a complex phenomenon. During the tests, it was observed that both the user's weight, the type of footwear used, but also the characteristics (dimensions) of the elements make up the final picture of sensibility. The final conclusions from the tests consist of both precise measurements made with tensometric sensors and the feelings of the test users. The detailed conclusions from the tests are as follows:

### User OT1

- everyday shoes like Martens (S1) turned out to be quite a surprise during the tests. At first, it was assumed that due to the thick rubber sole, they would have the least legible results and FON would be the least noticeable in them. However, it turned out that the results obtained during the tests were among the most legible, and the OT1 user could quite efficiently determine the arrangement of the pattern that was used on the FON element and its sensation was comfortable
- occasional shoes (S2) indicated the least comfortable sensations due to their thin sole and construction, which distributed most of the pressure on the front of the foot, which caused a strongly

felt pattern, however, due to the construction of the shoe, the feeling of the orientation of the pattern arrangement was difficult

- sports shoes for running (S3) proved that thanks to the cushioned sole and adapted for running, the details of the FON elements were barely perceptible
- everyday sports shoes such as sneakers (S4) somewhat surprisingly indicated that the FON system was very well perceptible on them. It can be stated that the accuracy of the feeling of the pattern arrangement would be similar to standing without shoes on the FON element

User OT2

- the perceptibility of FON elements in the assessment of the OT2 user depended most on the type of sole, and more precisely on its plasticity and cushioning capabilities
- in the case of women's sports shoes (S1), which are additionally equipped with a cushioning insert, the dots were barely perceptible - the lines were almost not at all, mainly due to the thick sole
- by design, sports shoes (S1) with a cushioned sole are intended for free running over any uneven surfaces and to distribute pressure evenly. Despite the clear convexities, this is reflected in the measurements, in the form of distributed pressure
- in the case of high-heel type shoes (S2), due to the fact that the weight of the foot is transferred forward and the thin, hard sole, any imperfections in the ground are felt much more
- it was also noticed that the center of gravity in high-heel type shoes escapes more towards the inside of the foot. In addition, the post, which is loaded by the heel in such footwear, also perfectly transfers the pressure of any unevenness - on lines and dots.

In addition, in the context of designing FON elements, research has confirmed that the perceptibility is also a resultant of the parameters of the height of the bulges and their spacing on the FON element.

## 6. RESEARCH PERSPECTIVES

Key perspectives for further research on the sensibility of FON systems include advanced simulations of various shapes and protrusions using 3D printing technology due to the need to find an optimal design standard for elements. Additionally, in accordance with the WHO postulated use of advanced technologies in accessibility, development studies on sensors placed in footwear and signaling FON elements in the ground are an interesting direction of research.

# ANALIZA PARAMETRÓW SYSTEMÓW FON W KONTEKŚCIE WYCZUWALNOŚCI PRZEZ OSOBY Z NIEPEŁNOSPRAWNOŚCIĄ WZROKU

## 1. WSTĘP

Systemy fakturowego oznakowania nawierzchni (FON) odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu dostępności przestrzeni miejskiej dla osób z niepełnosprawnością wzroku. Dzięki specjalnym teksturom, które są wyczuwalne pod stopami lub za pomocą laski, osoby te mogą bezpieczniejsz i sprawniej poruszać się w przestrzeni publicznej. Elementy systemu FON takie, jak ścieżki prowadzące, pola ostrzegawcze czy oznaczenia miejsc niebezpiecznych, pełnią funkcję przewodnika,

umożliwiają orientację w przestrzeni oraz unikanie potencjalnych zagrożeń. Wprowadzenie tego typu rozwiązań stanowi istotny element projektowania uniwersalnego, które dąży do tworzenia środowiska przyjaznego dla wszystkich użytkowników, niezależnie od ich potrzeb i ograniczeń. Systemy FON są nie tylko technicznym wsparciem, ale również wyrazem dążenia do budowy miast inkluzywnych, w których użytkownik może funkcjonować w sposób samodzielny i niezależny. Poprawa dostępności przestrzeni publicznych to inwestycja w lepszą jakość życia, wspierająca równość i integrację społeczną. Wykorzystanie w przestrzeni miejskiej systemów FON ma na celu redukcję barier funkcjonalnych i wspieranie mobilności osób niewidomych oraz słabowidzących. Odpowiednie oznakowanie pozwala na unikanie zagrożeń (np. krawędzie peronów) i ułatwia przemieszczanie się w skomplikowanych środowiskach miejskich, takich jak dworce czy skrzyżowania. Kluczowe jest, aby projektowanie systemów oznakowania odbywało się zgodnie z zasadami projektowania uniwersalnego, co zapewnia ich skuteczność i trwałość.

Systemy FON powinny być wykonywane tak, aby ich struktura była łatwo wyczuwalna również pod stopami, co jest dodatkową cechą przydatną dla osób z niepełnosprawnością wzroku. Specjalne wzory, takie jak wypukłe linie, guzki czy rowki, różnią się od otaczającej nawierzchni, co pozwala użytkownikom na identyfikowanie ich przy minimalnym kontakcie. Jednym z istotniejszych zauważalnych problemów związanych z systemami FON jest brak jednolitych standardów stosowanych elementów zarówno na poziomie lokalnym, jak i europejskim (Ryc. 1). Wyczuwalność systemu FON w obuwiu jest parametrem będącym głównym wątkiem badawczym w niniejszym artykule. Poprawna percepcja nawierzchni wspiera orientację w przestrzeni, a także zwiększa poczucie bezpieczeństwa i samodzielność w poruszaniu się. Dodatkowo wyzwaniem jest wykonanie elementów FON z materiałów odpornych na ścieranie, a jednocześnie zapewniających wyraźną fakturę, która pozostaje funkcjonalna przez lata.

Dane wskazują, że w grudniu 2023 r. w Polsce było ponad 4 mln osób z ważnym orzeczeniem o niepełnosprawności albo orzeczeniem o stopniu niezdolności do pracy (GUS, 2023). Statystyki dotyczące osób z niepełnosprawnością wzroku wskazują na znaczący problem społeczny zarówno w Polsce, jak i na świecie. Według danych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), około 2,2 miliarda ludzi na świecie zmaga się z zaburzeniami widzenia lub ślepotą. Z tego, co najmniej miliard przypadków można by uniknąć poprzez odpowiednią interwencję medyczną lub środki zapobiegawcze. W Polsce liczba osób z orzeczoną niepełnosprawnością wzroku to kilkaset tysięcy, jednak wiele osób nie posiada formalnych orzeczeń, co utrudnia dokładne oszacowanie skali problemu.

W Polsce statystyki dotyczące osób z niepełnosprawnością wzroku wskazują, że grupa ta stanowi istotną część społeczności osób z niepełnosprawnościami. Z dostępnych danych wynika, że około 90.000 osób w Polsce jest całkowicie niewidomych. Łączna liczba osób z niepełnosprawnością wzroku, w tym osoby słabowidzące, wynosi około 1,8 miliona, z czego około 800 tysięcy ma poważne problemy ze wzrokiem. W 2021 roku około 9,2% osób z orzeczeniami o niepełnosprawności w Polsce miało zdiagnozowane zaburzenia widzenia jako główne schorzenie (Pacholec, 2020). Statystyki ukazują skalę problemu, podkreślając potrzebę odpowiedniej infrastruktury, aby osoby z niepełnosprawnością wzroku mogły funkcjonować w sposób niezależny i aktywny społecznie. Szczegóły można znaleźć w raportach publikowanych przez Biuro Pełnomocnika Rządu ds. Osób Niepełnosprawnych (Niepełnosprawni, 2024).

Społeczne i zawodowe wykluczenie osób niewidomych lub niedowidzących w Polsce pozostaje dużym wyzwaniem. Osoby te często napotykają na trudności w samodzielnym poruszaniu się, co znacząco wpływa na ich jakość życia (Kuczyńska-Kwapisz, 2021). Zaledwie niewielka część korzysta z dostępnych programów rehabilitacyjnych, co dodatkowo ogranicza ich niezależność. Dane te wskazują na potrzebę szerokich działań mających na celu poprawę dostępności przestrzeni miejskich oraz systematyczne wsparcie w zakresie rehabilitacji i edukacji, które pozwolą osobom z niepełnosprawnością wzroku na większą samodzielność i integrację społeczną.

#### *Geneza i rozwój systemów fakturowego oznakowania nawierzchni (FON)*

Historia tzw. „Tenji blocks” (znanych również jako oryginalnie pod nazwami tactile paving lub dot & line blocks) rozpoczęła się w Japonii w latach 60. XX wieku jako innowacja mająca na celu poprawę mobilności osób z niepełnosprawnością wzroku. Twórcą tego systemu był Seiichi Miyake, ja-

poński wynalazca i inżynier, który opracował pierwsze prototypy w 1965 roku, inspirowany chęcią pomocy przyjacielowi, który tracił wzrok (Debczak, 2019). Wypukłe elementy nawierzchni miejskich stały się odpowiednikiem alfabetu Braille'a. Pierwsze zastosowanie tenji blocks miało miejsce w 1967 roku w mieście Okayama, gdzie zostały zainstalowane przy przejściach dla pieszych. Ich popularność rosła stopniowo, a standardy zaczęły ewoluować w latach 70., gdy wprowadzono je na większą skalę w transporcie publicznym, szczególnie na stacjach kolejowych w Japonii. Nazwa „tenji” pochodzi od japońskiego słowa oznaczającego pismo brajlowskie, co podkreśla ich rolę w ułatwianiu nawigacji osobom niewidomym (Ryan, 2021).

Aktualnie rozwiązanie funkcjonuje w języku polskim pod nazwą system fakturowego oznakowania nawierzchni (FON). W języku angielskim funkcjonuje m.in. jako tactile guidance system, tactile marking system lub tactile pavement marking system.

Tenji blocks stały się wzorem dla wielu krajów, które adaptowały te systemy do swoich potrzeb. Obecnie stosuje się je na całym świecie, zarówno na chodnikach, przystankach komunikacji miejskiej, jak i na stacjach metra. Ich uniwersalne wzory, takie jak wypukłe punkty i linie, pozwalają osobom z niepełnosprawnością wzroku na identyfikację miejsc niebezpiecznych oraz ścieżek prowadzących, przyczyniając się do zwiększenia samodzielności i bezpieczeństwa. Wprowadzenie tenji blocks stało się jednym z kluczowych elementów projektowania uniwersalnego, który ma na celu tworzenie przestrzeni dostępnych dla wszystkich użytkowników, niezależnie od ich ograniczeń.

#### *Problematyka w świetle innych badań*

Geneza dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami wynika z dążenia do zapewnienia równości i pełnego uczestnictwa w życiu społecznym. Idea ta ma korzenie w ruchach praw obywatelskich w XX wieku, takich jak walka o prawa osób z niepełnosprawnościami w USA, która doprowadziła do uchwalenia *Americans with Disabilities Act* (ADA) w 1990 roku. Ustawy takie wprowadzały wymogi eliminacji barier architektonicznych i systemowych, które utrudniały funkcjonowanie osób z ograniczeniami (Parrott-Sheffer, 2024). W Europie kluczową rolę odegrała Konwencja ONZ o prawach osób niepełnosprawnych (CRPD) z 2006 roku, która zobowiązała państwa-strony do projektowania uniwersalnego, umożliwiającego dostępność przestrzeni publicznej dla wszystkich, bez potrzeby adaptacji (Konwencja, 2006). W Polsce problematyka rozwija się od lat 90., a szczególne znaczenie ma Ustawa o zapewnieniu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami z 2019 roku (Ustawa o dostępności, 2019). Dostępność nie tylko wspiera mobilność, ale jest również wyrazem szacunku dla różnorodności społeczeństwa. Dostępność w globalnym ujęciu, jako kluczowe wyzwanie rozwoju pojawia się w publikacji Banku Światowego (Bhagrava, 2006), a jej ujęcie w kontekście architektury i przestrzeni odnajdziemy w publikacjach pod redakcją Josa Boya (Boys, 2017). Odniesienie do dostępności instytucji kultury omówione zostało w publikacji (Szewczenko, 2023).

Badania nad fakturowym oznakowaniem nawierzchni przeznaczonym dla osób niewidomych i słabowidzących, koncentrują się na ich efektywności, projektowaniu oraz wpływie na mobilność. Analizy wskazują, że zastosowanie elementów takich, jak wypukłe linie i punkty, poprawia samodzielność osób z niepełnosprawnością wzroku, szczególnie w przestrzeniach miejskich i w transporcie publicznym. Bentzen (2013, 2017) podkreśla znaczenie odpowiedniego rozmieszczenia i wyraźnych kontrastów faktur dla zwiększenia bezpieczeństwa na peronach kolejowych oraz przejściach dla pieszych. Z kolei badania Jacobsa (2018) zwracają uwagę na zróżnicowanie w skuteczności elementów FON w różnych środowiskach kulturowych i klimatycznych. Wskazuje on, że w krajach o dużych opadach deszczu nieodpowiednio zaprojektowane oznakowanie może stać się śliskie i mniej wyczuwalne. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna w standardzie ISO:23599 zaleca stosowanie materiałów odpornych na ścieranie by zachować wyraźną teksturę przez długi czas użytkowania (ISO:23599, 2019). Dodatkowo raport Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, 2011) podkreśla znaczenie FON w kontekście trendu starzejących się społeczeństw. Problemy ze wzrokiem dotyczą coraz większej liczby osób w starszym wieku. Systemy FON są istotnym elementem inkluzywnego projektowania przestrzeni publicznych. Rekomendacje WHO sugerują, że połączenie takich systemów z technologiami, np. czujnikami lub aplikacjami mobilnymi, może jeszcze bardziej wspierać niezależność osób z niepełnosprawnością wzroku. Osobnym wątkiem badań nad oddzia-

tywaniem systemów FON była rola koloru elementów FON dla widoczności przez osoby z niepełnosprawnością wzroku. Badania kontrastu między elementami FON a sąsiadującą nawierzchnią prezentowane były już latach 80 i 90-tych (Shino, Nagai, Yamashita, 1993), a w 2000 roku japońscy badacze w publikacji z JIPEA World Congress 2000 (Sakaguchi, Takasu, 2000). Szczegółowe wytyczne w zakresie kształtowania elementów FON znaleźć możemy np. w oficjalnym przewodniku Ministerstwa Transportu Wielkiej Brytanii (DT London, 2021). Wreszcie propozycje nowoczesnych cyfrowych metod badania i wykrywania elementów FON w otoczeniu opublikowane zostały m.in. przez Ghilardiego (2016) i Laurie (2017). Przegląd rozwiązań cyfrowych w zakresie dostępności został opublikowany we wcześniejszej publikacji (Krasowska, Zwoliński, 2022).

#### *Badania w perspektywie osób z niepełnosprawnością wzroku*

Wyczuwanie elementów FON stopami podczas poruszania się w przestrzeni miejskiej, oprócz wyczuwania przy pomocy „białej laski”, jest dodatkowym ułatwieniem dla osób z niepełnosprawnością wzroku. Dla uzasadnienia badań nad wyczuwalnością FON nawiązano kontakt z organizacją pozarządową zajmującą się niepełnosprawnością wzroku (Fundacja WIDZIMY INACZEJ) w celu przeprowadzenia badania ankietowego nad rolą wyczuwania elementów FON pod stopami w codziennym funkcjonowaniu tych osób. Ankieta opracowana w formule dostępnej, przy użyciu platformy Google Forms. Ankieta składała się pytania identyfikującego stopień niepełnosprawności wzroku (Ryc. 2) oraz 4 pytania dotyczące roli wyczuwania FON w codziennym funkcjonowaniu w obuwiu (Ryc. 3, 4). Ankieta wypełniła grupa 10 respondentów (n=10). Pytanie wejściowe dotyczyło deklaracji czy respondent jest:

- Osobą niewidomą (2 osoby)
- Osobą ociemniałą (1 osoba)
- Osobą słabowidzącą w stopniu znacznym (6 osób)
- Osobą słabowidzącą w stopniu umiarkowanym (1 osoba)
- Osobą słabowidzącą w stopniu lekkim (brak)

W części głównej zapytano respondentów czy ma dla nich znaczenie wyczuwalność pod stopami elementów FON w przestrzeni miasta i budynków oraz w jakim stopniu (w skali 1-5) wyczuwalność ma znaczenie w przestrzeni miasta i budynków.

W obu pytaniach zdecydowana większość (odpowiednio 90% i 70%) respondentów udzieliła odpowiedzi TAK. W pytaniach doprecyzowujących w jakim stopniu wskazana wyczuwalność ma znaczenie (w obu przypadkach miasta i budynków), 50% respondentów oceniło to znaczenie na poziomie 4 (w skali 1-5) (Ryc. 3).

Wyniki ankiety dowiodły, że analiza parametrów różnych typów elementów FON w kontekście wyczuwalności przez różne osoby, w różnych typach obuwia jest zasadna i przyczyni się do określenia optymalnych parametrów wielkościowych pod kątem wyczuwalności.

## **2. ZAŁOŻENIA BADAWCZE**

Dla analizy wyczuwalności różnych systemów FON pod stopami użytkowników przyjęto następujące założenia badawcze (Ryc. 6). Jako próbkę badawczą przyjęto 5 rodzajów systemów FON (oznaczonych w badaniach FON 1 – FON 5) zlokalizowanych na zewnątrz w przestrzeni miejskiej (FON 2, FON 4, FON 5) oraz wewnątrz obiektów publicznych (FON 1, FON 3). Warto doprecyzować, że zewnętrzny system FON 4 został przebadany w warunkach wewnętrznych na podstawie próbek dostarczonych przez producenta. Jako obszar badawczy przyjęto przestrzeń miasta Szczecina, z wyjątkiem FON 5, który zlokalizowany był w Gdyni (z uwagi na specyficzną charakterystykę tego systemu). Dla badań założono pomiary wyczuwalności takich elementów FON, jak pola uwagi oraz linie prowadzące (Ryc. 5).

Szczegółową specyfikację badanych elementów systemów FON przedstawiono na poniższym zestawieniu (Ryc. 6).

Dla przyjętych do analiz typów systemów FON założono badanie pomiarowe przeprowadzone przez dwie osoby testujące (OT1 i OT2), różnej płci i o różnej wadze. Osobą testującą OT1 był mężczyzna o wadze 100 kg, a testerem OT2 była kobieta o wadze 55 kg. Każda z osób testujących badała wyczuwalność systemów FON pod stopami w różnych rodzajach obuwia. Osoba testująca OT1 dokonywała pomiarów w 4 typach obuwia, a tester OT2 nosząc 2 różne typy obuwia. Wybrano obuwie zróżnicowane przede wszystkim pod kątem materiału i twardości podeszwy, która oddziela stopę użytkownika od elementu FON i wpływa na odczuwanie wypukłości FON. Stosowane do badań obuwie zestawiono na ilustracji poniżej (Ryc. 7).

W ramach przeprowadzonych badań tematem rozważań były m.in. kwestie określenia, który z parametrów branych pod uwagę (waga użytkownika, wypukłość elementu FON, rodzaj obuwia) wpływa najbardziej na wyczuwalność pod stopami, jakie obuwie codzienne najbardziej sprzyja wyczuwalności czy też relacja między wagą użytkownika i rodzajem obuwia w kontekście wyczuwalności. Poniżej przedstawiono podsumowanie założeń badawczych w syntetycznym zestawieniu (Ryc. 8).

### 3. METODOLOGIA

Na badania przeprowadzone w ramach niniejszej publikacji składają się dwie podstawowe metody badawcze. Metoda badania ankietowego na etapie wstępnego rozpoznania i uzasadnienia podjęcia tematu oraz badania metodą doświadczalną (pomiarową) z użyciem specjalistycznego sprzętu. Prezentację wyników i wnioski oparto na metodzie analizy porównawczej pomiarów. Badanie wyczuwalności systemów FON przeprowadzono z zastosowaniem systemu czujników tensometrycznych F-Scan firmy Tekscan z dedykowanym oprogramowaniem TEKSCAN F-SCAN (Ryc. 9). System pomiaru nacisku ciśnienia w butach F-Scan VersaTek dedykowany jest wykonywaniu i rejestrowaniu pomiarów nacisku ciśnienia generowanego na podłożu podczas chodzenia. Umożliwia obrazowanie odcisku nawierzchni poruszania się na stopie użytkownika w wysokiej rozdzielczości (4 sensele/cm<sup>2</sup>) i zakresie pomiarowym czujnika 125 psi (8.75 kg/cm<sup>2</sup>), z możliwością pomiaru różnicy ciśnień tak małej jak 0.71 psi (50g/cm<sup>2</sup>). Dla pomiarów nacisku przyjęto dwie kalibracje dostosowane do wagi osób testujących (OT1, OT2), odpowiednio OT1 – 100 kg oraz OT2 – 55 kg..

Dla prezentacji wyników wykorzystano obrazowanie nacisku wygenerowane bezpośrednio z systemu pomiaru nacisku. W czasie pomiaru rejestrowano symulację przejścia użytkownika po elemencie systemu FON, następnie analizowano poklatkowo nacisk dla obrazowania momentu szczytowego nacisku.

### 4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W ramach badań uzyskano pomiary nacisku dla 5 różnych typów systemu FON. W ramach każdego z nich przebadano pola uwagi oraz linie prowadzące. Pomiary zestawiono ze sobą wykorzystując klatkę pomiaru, w której nacisk był najwyższy, a dodatkowym parametrem ujednociającym porównywany obraz było położenie środka ciężkości – w możliwie zbliżonej pozycji, co umożliwiło porównanie możliwie zbliżonych momentów nacisku. Pomiary rejestrowane były w postaci wieloklatkowej animacji odwzorowującej przejście regularnym krokiem po elemencie FON. Analizę porównawczą pomiarów wykonano w zarówno w kontekście różnych rodzajów elementów, jak i w kontekście różnorodnego obuwia noszonego przez osoby testujące.

Pierwsza kwestia, naturalna w zasadzie, ale warta przybliżenia to różnica wagi użytkowników OT1 i OT2 testujących wyczuwalność. Wyniki dla OT1 – mężczyzny o wadze prawie 2-krotnie większej od kobiety OT2 pokazują dużo czytelniejszy obraz odwzorowania nacisku. Jest to naturalnie związane z tym, że teoretycznie podobne konstrukcyjnie obuwie ugina się dużo bardziej i dotyka w momencie nacisku zarówno wypukłości FON, jak i płaskiej podstawy elementu. To odzwierciedla również parametr powierzchni nacisku dla OT1 i OT2 – w tym wypadku prawie 4-krotnie większej. Dodatkowo przy dużo lżejszej osobie pola, gdzie obuwie nie dotyka podczas nacisku płaskiej podstawy elementu odwzorowują się jako puste miejsca – sprawiające wrażenie błędu pomiarowego (Ryc. 10)



Ważniejszą perspektywą analizy wyczuwalności było zróżnicowanie odwzorowania elementów FON w różnych rodzajach obuwia. W tym wypadku najlepszy wynik obrazowania dają obrazy nacisku użytkownika OT1, gdzie większa waga powoduje dużo większą powierzchnie odwzorowania. Na poniższej ilustracji pokazano odwzorowanie nacisku dla OT1 w przypadku elementów FON1 oraz FON 5. Te pomiary dają najczytelniejszy obraz różnic w wyczuwalności w zależności od rodzaju obuwia – poniżej odpowiednio pomiary FON1 i FON5 (Ryc. 11a,b) dla obuwia codziennego (OT1-S1), okazjonalnego (OT1-S2), sportowego (OT1-S3) i codziennego typu trampki (OT1-S4). Największą różnicę w wyczuwalności widać w obu przypadkach między obuwiem okazjonalnym na twardej, cienkiej podeszwie, a obuwiem sportowym na piankowej amortyzującej podeszwie. W obuwiu okazjonalnym (OT1-S2) bardzo wyraźnie wyczuwalne są wypukłe kropki elementu FON, natomiast w obuwiu sportowym (OT1-S3) obraz jest wyraźnie rozmazany i element wyczuwany jest prawie jako jednolite podłoże. Ciekawym jest fakt, że w obuwiu codziennym typu Martens (OT1-S1), pomimo wyraźnej grubości kauczukowej podeszwy, obraz wypukłości jest czytelny. Na obraz wyczuwalności ma oczywiście wpływ indywidualny model postawy użytkownika i nacisku na podłoże, nie mniej jednak w ramach pola nacisku zawsze część elementów jest widoczna.

Warto również zwrócić uwagę na parametr odległości poszczególnych wypukłości elementu FON od siebie. Obraz wyczuwalności systemu FON5 (Ryc. 11b) dotyczy nietypowego elementu o wypukłościach w kształcie kwadratu i niewielkiej odległości między nimi (FON5). W tym przypadku widać, że obraz wyczuwalności elementów wypukłych okrągłych bardziej oddalonych od siebie jest czytelniejszy (FON1). Należy również zauważyć, że znaczenie ma wysokość elementów wypukłych. W przypadku badanych elementów FON waha się ona między 5 a 9 mm. Optymalna wysokość jest wyzwaniem w kontekście projektowania FON, ponieważ zbyt wysokie elementy wypukłe będą powodować efekt potykania się.

Podstawowymi elementami składowymi systemów FON są pola uwagi i linie prowadzące. Są one przede wszystkim zróżnicowane pod względem kształtu wypukłości. Pola uwagi bazują na regularnym rozstawie punktowym elementów wypukłych, a elementy linii prowadzących na regularnym rozstawie równoległych wypukłości liniowych (Ryc. 12). Przeprowadzone analizy różnych FON pokazały problem z wyczuwaniem różnic w kształcie elementów wypukłych. Porównanie pomiaru przeprowadzonego przez użytkownika OT1 w tych samych rodzajach obuwia dla elementu pola uwagi z wypukłościami punktowymi (Ryc. 12 po lewej) z pomiarem linii prowadzących (Ryc. 12 po prawej) pokazuje, że różnica w wyczuwalności tych różnych kształtów jest niewielka. Ciekawą obserwacją jest natomiast to, że różnica ta jest najbardziej widoczna w obuwiu sportowym amortyzowanym (wręcz przeciwnie do wspomnianej wcześniej ogólnej wyczuwalności wypukłości elementów FON).

Szczególnym przypadkiem obuwia były używane w pomiarach przez użytkownika OT2 buty damskie typu szpilki. Charakterystyczną cechą tego typu obuwia jest przeniesienie środka ciężkości bardzo na przednią część obuwia i powoduje to, że obraz wypukłości jest wzmocniony w tym właśnie typie obuwia (Ryc. 13). Dodatkowo skupiona wyczuwalność koncentruje się bardziej na wewnętrznej stronie obuwia, natomiast z uwagi na stosunkowo małą wagę użytkownika OT2 i rozmiar obuwia, powierzchnia odwzorowania nacisku jest bardzo mała.

## 5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania wyczuwalności elementów FON w codziennym funkcjonowaniu, w różnym obuwiu dowiodły, że bardzo przydatny parametr dodatkowej wyczuwalności systemu FON pod stopami jest złożonym zjawiskiem. Podczas badań zaobserwowano, że zarówno waga użytkownika, rodzaj używanego obuwia, ale również charakterystyka (wymiary) elementów składają się na ostateczny obraz wyczuwalności. Na końcowe wnioski z badań składają się zarówno precyzyjne pomiary wykonane czujnikami tensometrycznymi, jak i odczucia użytkowników testujących. Wnioski szczegółowe z badań kształtują się w następująco:

Użytkownik OT1

- półbuty codzienne typu Martens (S1) okazały się sporym zaskoczeniem podczas padań. Na początku założono, że z uwagi na grubą kauczukową podeszwę, będą miały najmniej czytelne wyniki i FON będzie w nich najmniej wyczuwalny. Okazało się jednak, że wyniki uzyskane podczas badań były jednymi z bardziej czytelnych, a użytkownik OT1 mógł dość sprawnie określić ułożenie wzoru który został zastosowany na elemencie FON i jego odczuwanie było komfortowe
- półbuty okazjonalne (S2) wskazały najmniej komfortowe odczucia z uwagi na swoją cienką podeszwę i konstrukcję, która rozkładała większość nacisku na przód stopy co powodowało mocno wyczuwalny wzór, jednak przez konstrukcję buta, wyczucie orientacji układu wzoru było utrudnione
- obuwiu sportowe do biegania (S3) dowiodło, że dzięki podeszwie amortyzowanej i przystosowanej do biegania, detale elementów FON były ledwie wyczuwalne
- obuwiu codzienne sportowe typu trampki (S4) nieco zaskakująco wskazało, że system FON był bardzo dobrze na nich wyczuwalny. Można stwierdzić, że dokładność wyczucia ułożenia wzoru byłaby zbliżona do stania bez obuwia na elemencie FON

#### Użytkownik OT2

- wyczuwalność elementów FON w ocenie użytkownika OT2 najbardziej zależała od rodzaju podeszwy, a dokładniej od jej plastyczności i możliwości do amortyzowania
- w przypadku butów damskich sportowych (S1), które dodatkowo są wyposażone w wkładkę amortyzującą, kropki były mało wyczuwalne - linie prawie wcale, głównie z uwagi na grubą podeszwę
- z założenia buty sportowe (S1) z amortyzowaną podeszwą mają służyć do swobodnego biegania po wszelkich nierównościach i równo rozprowadzać nacisk. Pomimo wyraźnych wypukłości, znajduje to odzwierciedlenie w pomiarach, w postaci rozkładającego się nacisku
- w przypadku obuwiu typu szpilki (S2), z uwagi że ciężar stopy jest przenoszony do przodu i cienką, twardą podeszwę, wszelkie niedoskonałości w podłożu są odczuwalne o wiele bardziej
- zauważono również, że środek ciężkości w obuwiu typu szpilki ucieka bardziej do wnętrza stopy. Dodatkowo słupek, który jest obciążony przez piętę w takim obuwiu, także doskonale przenosi nacisk wszelkich nierówności - na liniach, jak i na kropkach.

Dodatkowo, w kontekście projektowania elementów FON, badania potwierdziły, że wyczuwalność jest również wypadkową parametrów wysokości wypukłości oraz ich rozstawu na elemencie FON.

## 6. PERSPEKTYWY BADAŃ

Do kluczowych perspektyw dalszych badań nad wyczuwalnością systemów FON można zaliczyć zaawansowane symulacje różnych kształtów i wypukłości z użyciem technologii wydruku 3D w uwagi na potrzebę znalezienia optymalnego standardu projektowego elementów. Dodatkowo w myśl postulowanego przez organizację WHO zastosowania zaawansowanych technologii w dostępności, badania rozwojowe nad czujniki umieszczonymi w obuwiu i sygnalizującymi elementy FON w podłożu są interesującym kierunkiem badań.

## BIBLIOGRAPHY

- Bhargava V. (2006) Global Issues for Global Citizens : An Introduction to Key Development Challenges, World Bank Publications - Books, The World Bank Group, number 7194, Accessed 20-09-2023
- Boys J. (2017), Disability, Space, Architecture – A reader, New York, Routledge ISBN-978-1-138-67642-8
- Akrami M., Zhihui Q., Zhemin Z., Howard D., Nester Ch., Lei R. (2018). Subjectspecific Finite Element Modeling of the Human Foot Complex during Walking: Sensitivity Analysis of Material Properties, Boundary

- and Loading Conditions. *Biomechanics and Modeling in: Mechanobiology* 17 (April). <https://doi.org/10.1007/s1023701709783>.
- Krasowska K., Zwoliński A. (2022) Miasto dostępne – wykorzystanie technologii cyfrowych do poprawy dostępności przestrzeni publicznej dla osób ze szczególnymi potrzebami, *Przestrzeń i FORMA* 52, DOI: 10.21005/pif.2022.52.F-01
- Bentzen, B.L., Barlow, J.M., Scott, A.C., Guth, D.A., Long, R. & Graham, J. (2017). Wayfinding problems for blind pedestrians at non-corner crosswalks: A novel solution. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2661, 120-125 <https://doi.org/10.3141/2661-14>
- Bentzen, B.L.; Scott, A.C.; Barlow, J.M., Emerson, R.W., & Graham, J. (2021). A Guidance Surface to Help Vision Disabled Pedestrians Locate Crosswalks and Align to Cross. *Transportation Research Record*. National Academy of Sciences: Transportation Research Board. <https://doi.org/10.1177/03611981221090934>
- Bentzen, B.L.; Scott, A.C.; Emerson, R.W., & Barlow, J.M. (2020). Effect of tactile walking surface indicators on travelers with mobility disabilities. *Transportation Research Record*. National Academy of Sciences: Transportation Research Board <https://doi.org/10.1177/0361198120922995>
- Bentzen, B.L.; Scott, A.C., & Myers, L. (2020). Delineator for separated bicycle lanes at sidewalk level. *Transportation Research Record*. National Academy of Sciences: Transportation Research Board <https://doi.org/10.1177/0361198120922995>
- Department for Transport (2021). *Guidance on the use of tactile paving surfaces*, Crown, London
- Debczak M., 2019 How Seiichi Miyake and Tactile Paving Changed the World for Visually Impaired People. [online], <https://www.mentalfloss.com/article/577187/seiichi-miyake-and-tactile-paving-google-doodle>, Accessed: 03-11-2024
- F-Scan GO System (2024). <https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/f-scan-system>. Tekscan. Accessed: 24-09-2024
- Ghilardi M.C., Macedo R., Manssour I.H. (2016). A New Approach for Automatic Detection of Tactile Paving Surfaces in Sidewalks. *International Conference on Computational Science 2016, ICCS 2016, San Diego, California, USA* 80 (2016): 662–72. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.356>.
- GUS, (2023) [online]: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/warunki-zycia/ubostwo-pomoc-spoeczna/osoby-niepelnosprawne-w-2023-roku.26.6.html>, Accessed: 30-10-2024
- Howard D., Thies S., Nester Ch., MacLennan H., Kenney L., Faruk M., Ormerod M., Newton R. (2015). "Older People's Experiences of Using Tactile Paving." *Proceedings of the ICE Municipal Engineer* 168 (March): 3–10. <https://doi.org/10.1680/muen.14.00016>.
- ISO:23599 (2019), International standard: Assistive products for blind and vision-impaired persons – Tactile walking surface indicators. 2<sup>nd</sup> edition,
- Krasowska K., Zwoliński A. (2022). Accessible city – using digital technologies to improve the accessibility of public space for persons with specific needs., *Przestrzeń i Forma* 52/2023, <http://doi.org/10.21005/pif.2022.52.F-01>
- Konwencja Praw Osób Niepełnosprawnych, 2006. [online] <https://www.gov.pl/web/rodzina/konwencja-o-prawach-osob-niepelnosprawnych>, Accessed: 30-10-2024
- Kuczyńska-Kwapisz J. (2021). Człowiek z niepełnosprawnością narządu wzroku w społeczeństwie., w: *Pedagogika Społeczna*, 2021, Vol 79/80, Issue 1/2, p. 85
- Lauria A. (2017). Tactile Pavings and Urban Places of Cultural Interest: A Study on Detectability of Contrasting Walking Surface Materials. *Journal of Urban Technology*, 24(2), 3–33. <https://doi.org/10.1080/10630732.2017.1285096>
- Mackrell D. (2021). What are tactile blocks and when did Seiichi Miyake invent them? [online], <https://metro.co.uk/2019/03/18/tactile-paving-seiichi-miyake-invent-8921190>, Accessed: 03-11-2024
- Niepełnosprawni, (2024). [online], <https://niepelnosprawni.gov.pl/p.77.niepelnosprawnosc-w-liczbach>, Accessed: 20-09-2024
- Pacholec M. (2020). *Widzimy nie tylko oczami – raport*, Warszawa, EPEDruk
- Parrott-Sheffer C. (2024) [online] "Americans with Disabilities Act." *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/topic/Americans-with-Disabilities-Act>, Accessed: 03-11-2024
- Ryan J. (2021). Google Doodle pays tribute to Japanese inventor Seiichi Miyake. [online], <https://www.cnet.com/news/google-doodle-pays-tribute-to-japanese-inventor-seiichi-miyake/>, Accessed: 03-11-2024

- Sakaguchi R., Takasu S. (2000), Study concerning the colors of tactile blocks for the visually handicapped – visibility for the visually handicapped and scenic congruence for those with ordinary sight and vision., JI-PEA World Congress
- Shino T., Nagai H., Yamashita H. (1993). Investigation concerning the colors of tactile blocks and visibility., Japan, Road Construction
- Szewczenko A., Tadle-Borowska N. (2023). Contemporary trends in the accessibility of cultural facilities, based on the example of Barcelona., *Przestrzeń i FORMA* 56/2023, s. 537-566, DOI: 10.21005/pif.2023.56.F-01
- Szołtysek J., *Miasto dostosowane do potrzeb osób niepełnosprawnych – przykład Częstochowy i Gliwic*, Studia Ekonomiczne, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, no 175, p. 169-178, Accessed: 20-11-2024
- Tactilesolution [online], <https://www.tactilesolution.ca/>, Accessed: 03-11-2024
- Ustawa o dostępności, (2019). Sejm RP, Ustawa o zapewnieniu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami z dnia 19 lipca 2019r (Dz.U. 2019 poz. 1696)
- WHO (World Health Organization), ICF, Międzynarodowa Klasyfikacja Niepełnosprawności i Zdrowia, Genewa 2011, Accessed: 20-11-2024

## AUTHORS NOTES

**Adam Zwoliński**, Architect, Head of the Chair of Urban Design and Spatial Planning Faculty of Architecture WPUT Szczecin, Head of the Accessibility Simulation Lab, Head of the Accessibility Knowledge Center Project, City Architect of Kołobrzeg, Head of the WZ Voivodeship Urban and Architectural Commission. His academic activity focuses on urbanism, public spaces, digital tools and accessibility.

Contact: [azwoliński@zut.edu.pl](mailto:azwoliński@zut.edu.pl), [symulatorium@zut.edu.pl](mailto:symulatorium@zut.edu.pl)

**Katarzyna Krasowska**, Architect, Vice-dean for Organization and Development Faculty of Architecture WPUT Szczecin, head of the Accessible Space Design Academy project, which resulted in the nationally unique Accessibility Simulation Lab. Her academic interests are focused around cities and the accessibility of urban spaces for people with special needs.

Contact: [kkrasowska@zut.edu.pl](mailto:kkrasowska@zut.edu.pl), [symulatorium@zut.edu.pl](mailto:symulatorium@zut.edu.pl)

**Weronika Juzyszyn**, a fourth-year architecture student at the West Pomeranian University of Technology. An active participant in the Accessibility Simulation Lab. In my projects, I focus on breaking down barriers for people with disabilities and shaping a friendly environment in harmony with nature.

Contact: [weronikajuzyszyn.lj@gmail.com](mailto:weronikajuzyszyn.lj@gmail.com), [jw51339@zut.edu.pl](mailto:jw51339@zut.edu.pl)

**Mateusz Freidenberg**: 4th year student at the Faculty of Architecture of the West Pomeranian University of Technology in Szczecin. Secretary of the student government assembly at the Faculty of Architecture. Member of the board as treasurer in the Association IAESTE Szczecin for 2024. Chairman of the Student Scientific Circle Accessibility Simulator focusing on expanding knowledge on accessibility. Chairman of the Student Scientific Circle BIMbam focusing on BIM technology, and modern tools used for the work of Architects.

Contact: [mateusz.freidenberg@gmail.com](mailto:mateusz.freidenberg@gmail.com), [fm51326@zut.edu.pl](mailto:fm51326@zut.edu.pl)