

dr inż. Konrad J. Waluś^{1*)}

ORCID: 0000-0001-5567-0317

dr inż. Piotr Gryspanowicz²⁾

ORCID: 0000-0003-1355-7732

Assessment of the risk of pedestrian slipping on modern permeable surfaces

Ocena ryzyka poślizgnięcia się pieszego na nowoczesnych nawierzchniach przepuszczalnych

DOI: 10.15199/33.2024.07.10

Abstract. In historic, modernized, renovated or revitalized areas, permeable surfaces enabling water retention into the ground can be found within tree plantings. The use of such a surface is usually limited to a small area and is incorporated into the existing traffic route. This causes local changes in the type of materials and surface relief and affects the risk of pedestrians slipping. Measurements made using a portable skid resistance tester, the British pendulum, made it possible to identify differences between materials and potentially dangerous places. Three permeable surfaces were selected for experimental measurements and three types of sliders imitating the interaction of the foot/footwear with the surface were used: type 55 slider; a slider with children's sports shoes and a slider with foam shoes. The article presents the results of slip resistance measurements along with the classification of the level of pedestrian slip risk on permeable surfaces used next to trees in the conservation protection area in Płock.

Keywords: slip resistance; permeable surfaces; British pendulum.

The presence of low and high greenery within communication routes and along streets has a positive effect on the retention and filtration of rainwater, and also helps regulate the ambient temperature and is well received by road users. However, this requires the adaptation of sidewalks already at the design and implementation stages, regardless of whether it is a newly designed road or renovation of an existing one. In the case of planting trees, it is necessary to ensure appropriate conditions for their development, which is why many solutions are used around trees to support the passage of rainwater and snowmelt water into the ground. Correct design of permeable substrates limits the amount of water discharged into the sewage system, which reduces the load on, among others, sewage treatment plant. Additionally, during periods of drought, accumulated rainwater is a natural source from which plants obtain the necessary nutrients [1]. According to data from the Central Statistical Office from 2020, Poland is one of the countries at risk of water deficit, therefore the use of permeable surfaces becomes a very important argument when designing green belts (drawing).

¹⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej

²⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii

^{*} Adres do korespondencji: konrad.walus@put.poznan.pl

Streszczenie. W obszarach zabytkowych, modernizowanych, poddanych renowacji czy rewitalizacji w obrębie nasadzeń drzew spotyka się nawierzchnie przepuszczalne umożliwiające retencję wody do gruntu. Zastosowanie takiej nawierzchni zazwyczaj ogranicza się do niewielkiej powierzchni i jest wplecione w istniejący ciąg komunikacyjny. Powoduje to lokalne zmiany rodzaju materiałów i rzeźby powierzchni oraz wpływa na ryzyko poślizgnięcia się pieszego. Pomiary wykonane z wykorzystaniem przenośnego testera odporności na poślizg (wahadła brytyjskiego), umożliwiły wskazanie różnic pomiędzy materiałami oraz miejscami potencjalnie niebezpiecznymi. Do pomiarów doświadczalnych wybrano trzy nawierzchnie przepuszczalne oraz wykorzystano trzy rodzaje ślizgaczy naśladujących współpracę stopy/obuwia z nawierzchnią: ślizgacz typu 55; ślizgacz z dziecięcym obuwem sportowym oraz ślizgacz z obuwem z pianki. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów odporności na poślizg wraz z klasyfikacją poziomu ryzyka poślizgnięcia się pieszego na nawierzchniach przepuszczalnych, stosowanych przy drzewach w obszarze ochrony konserwatorskiej w Płocku.

Słowa kluczowe: odporność na poślizg; nawierzchnie przepuszczalne; wahadło brytyjskie.

Występowanie zieleni niskiej i wysokiej w obrębie ciągów komunikacyjnych oraz wzdłuż ulic pozytywnie wpływa na retencję i filtrację wody opadowej, a także sprzyja regulowaniu temperatury otoczenia i jest dobrze odbierane przez uczestników ruchu. Wymaga to jednak przystosowania chodników już na etapach projektowania i realizacji niezależnie od tego, czy jest to nowo projektowana droga czy też renowacja istniejącej. W przypadku nasadzeń drzew konieczne jest zapewnienie odpowiednich warunków ich rozwoju, dlatego też wokół drzew stosuje się wiele rozwiązań wspomagających przepuszczanie wód opadowych i roztopowych w głąb podłoża gruntowego. Prawidłowe zaprojektowanie podłoży przepuszczalnych ogranicza ilość wody odprowadzanej do systemów kanalizacji, co zmniejsza obciążenie m.in. oczyszczalni ścieków. Dodatkowo w okresach suszy akumulowana woda opadowa jest naturalnym źródłem, z którego rośliny czerpią niezbędne dla siebie składniki [1]. Jak wynika z danych Głównego Urzędu Statystycznego z 2020 r., Polska należy do krajów zagrożonych deficytem wody, dlatego też wykorzystanie powierzchni przepuszczalnych staje się bardzo istotnym argumentem przy projektowaniu pasów zieleni (rysunek).

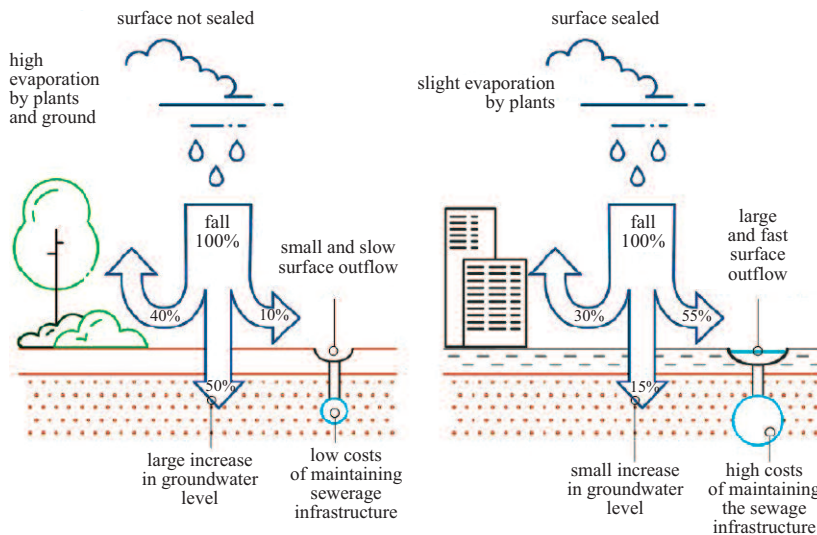
The use of permeable surfaces around tree plantings has many benefits for the environment and the city, such as: improved aesthetics and recreational functions; temperature regulation; relieving the stormwater and combined sewage systems; hindering the movement of pollutants from rainwater and purifying it, among others. from heavy metals, dust, aromatic hydrocarbons; reducing the amount of

sewage; minimizing the effects of floods and droughts or reducing city expenses on maintaining green areas [2]. The positive aspect of using permeable surfaces should also be compared to the safety of pedestrians.

Historic areas and areas under the care of a conservator are often accessible to both residents and tourists. In these spaces you can find historic surfaces made of field stone, cinder-concrete and basalt cubes, as well as modern surfaces made of paving slabs, concrete cubes of various shapes and impermeable surfaces. On all these surfaces, the sole-ground interaction is characterized by a different level of slipping risk.

By performing tests using the British pendulum, it is possible to assess the scope of pedestrian safety [4]. Tests for the slip resistance of surfaces are carried out inside and outside buildings. The obtained results are analyzed in terms of compliance with technical documentation and relevant regulations [5, 6]. The slip resistance of utility surfaces is also the scope of interest of the European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) [7, 8] and relevant institutions in individual countries and is additionally described in standards [9 – 15]. Despite the requirements contained in standards and regulations, the Australian Foundation [16] recommends increasing the reference value of slip risk levels in residential areas, bathrooms and outdoor surfaces intended for people with significant disabilities. The document indicates that the Slip Resistance Value (SRV) for the "rare" slip risk level should be 55 SRV or more. In Poland, the document describing standards for designing buildings for people with disabilities and road infrastructure, sidewalks and parking spaces is described in document [17].

Studies regarding the risk of slipping are carried out both on external surfaces [18, 19] and on internal surfaces, such as, among others, ceramic tiles [20 – 22], polished stone tiles [23], floor coverings [24] and varnished floorboards [25]. The general principle when designing surfaces in public buildings is to reduce the risk of slipping [26]. It is estimated



Comparison of water circulation in the natural environment and in built-up areas [3]
Porównanie obiegu wody w środowisku naturalnym i w terenie zabudowanym [3]

ścieków; minimalizowanie skutków powodzi i suszy czy zmniejszenie wydatków miasta na utrzymanie zieleni [2]. Pozytywny aspekt stosowania nawierzchni przepuszczalnych należy również skonfrontować z bezpieczeństwem poruszania się pieszych.

Obszary zabytkowe oraz podlegające opiece konserwatora zabytków są często dostępne zarówno dla mieszkańców, jak i turystów. W tych przestrzeniach można spotkać **nawierzchnie zabytkowe** z kamienia polnego oraz z kostek żułbetonowych, bazaltowych, a także **nawierzchnie współczesne** z płyt chodnikowych, z kostek betonowych o różnym kształcie i nawierzchnie przepuszczalne. Na wszystkich tych nawierzchniach współpraca podeszwa-podłoże charakteryzuje się innym poziomem ryzyka poślizgnięcia.

Wykonując badania wahadłem brytyjskim, można ocenić zakres bezpieczeństwa poruszania się pieszych [4]. Badania pod kątem odporności powierzchni na poślizg są prowadzone wewnątrz i na zewnątrz budynków. Uzyskiwane wyniki są analizowane w aspekcie zgodności z dokumentacją techniczną oraz odpowiednimi przepisami [5, 6]. Antypoślizgowość nawierzchni użytkowych stanowi również zakres zainteresowań Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (EU-OSHA) [7, 8] oraz odpowiednich instytucji w poszczególnych państwach i opisana jest dodatkowo normami [9 – 15]. Pomimo wymagań zawartych w normach i przepisach australijska fundacja [16] zaleca zwiększenie wartości odniesienia poziomów ryzyka poślizgu w obszarach mieszkalnych, łazienek i powierzchni zewnętrznych przeznaczonych dla osób ze znaczną niepełnosprawnością. Wskazano w dokumencie, że wartość odporności na poślizg (SRV – *Slip Resistance Value*) w przypadku poziomu ryzyka poślizgu „rzadko spotykane” powinien wynosić 55 SRV lub więcej. W Polsce dokumentem opisującym standardy projektowania budynków dla osób z niepełnosprawnościami oraz infrastruktury drogowej, chodnika i stanowisk postojowych, opisuje dokument [17].

Badania dotyczące ryzyka poślizgu przeprowadzane są zarówno na powierzchniach zewnętrznych [18, 19], jak i wewnętrznych, takich jak m.in. płytki ceramiczne [20 – 22], po-

Stosowanie powierzchni przepuszczalnych wokół nasadzeń drzew ma wiele korzyści dla środowiska i miasta, np.: poprawa estetyki i funkcje rekreacyjne; regulacja temperatury; odciążenie kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej; utrudnienie możliwości przemieszczania się zanieczyszczeń z wód opadowych oraz oczyszczanie ich m.in. z metali ciężkich, pyłów, węglowodorów aromatycznych; zmniejszenie ilości

that 40% of accidents are related to tripping or slipping, which is why it is so important to conduct research on the level of slip risk in industrial areas, urban and historic infrastructure and directly in public buildings [27, 28], shops and restaurants. [29 – 33].

The aim of the research presented in the article was to assess the level of slipping risk on permeable surfaces (Table 1) and to identify potentially dangerous areas.

Characteristics of the tested surfaces

A solution supporting the natural retention of water in the soil in urban areas are surfaces made of openwork concrete slabs or cubes. In Płock at ul. Kazimierz Wielki, rectangular areas made of permeable surfaces were made around the trees. On a section of approximately 100 m there are four types of permeable surfaces:

1) **concrete blocks Domino Eko** – enables the laying of surfaces with free spaces allowing rainwater and meltwater to seep into the ground and evaporate freely (photo 1). This eliminates the need to install rainwater drainage systems. The use of a very good quality concrete

mixture makes it durable and resistant to destruction and can be used for pedestrian and vehicle traffic. The free spaces between the cubes can be greened [35];

2) **TerraWay** – the surface is made of mineral raw material combined with epoxy resin (photo 2). After pouring the mixture, a porous structure with aggregate particles is created, allowing water and air to pass through. In order for water to freely penetrate deep into the ground, two layers of foundation should be placed under it [36]. The advantage of the surface is its mechanical strength and resistance to high and negative temperatures. It can be used on playgrounds, sports fields, bicycle paths and parking lots. The surface prevents weeds from growing and is easy to keep clean;

Table 1. Slip resistance scale of the British pendulum in the wet test [9, 14, 34]

Tabela 1. Skala odporności na poślizg wahadła brytyjskiego w badaniu na mokro [9, 14, 34]

British Pendulum Wet Slip Assessment/Ocena poślizgu wahadła brytyjskiego na mokro	Slip Resistance Value (SRV) slider 55* rubber hardness IRHD 55/Wartość testu wahadła (SRV) ślizgacz 55*, twardość gumy IRHD 55	Slip hazard/Ryzyko poślizgu
P1	< 20	very probable/bardzo prawdopodobne
P2	20 → 34	probably/pawdopodobne
P3	35 → 39	possible/average/ możliwe/średnie
P4	40 → 44	unlikely/mało prawdopodobne
P5	> 44	rare/rzadko spotykane

* Slider 55 – used to assess the slip potential of pedestrians walking barefoot and in various footwear, especially with profiled tread patterns, used on road surfaces and surfaces rougher than classic floors

* Ślizgacz 55 jest stosowany do oceny potencjału poślizgu pieszych poruszających się bosą oraz w różnicowanym obuwiu, szczególnie z profilowaną rzeźbą bieżnika, wykorzystywany na nawierzchniach dróg i powierzchniach bardziej szorstkich niż klasyczne podłogi

lerowane płytki kamienne [23], wykładziny podłogowe [24] czy lakierowane deski podłogowe [25]. Ogólną zasadą przy projektowaniu nawierzchni w budynkach użyteczności publicznej jest ograniczenie ryzyka poślizgu [26]. Ocenia się, iż 40% wypadków związanych jest z potknięciem się lub poślizgnięciem, dlatego też tak ważne jest prowadzenie badań związanych z poziomem ryzyka poślizgnięcia w obszarach przemysłowych, infrastruktury miejskiej i zabytkowej oraz bezpośrednio w budynkach użyteczności publicznej [27, 28], sklepach i restauracjach [29 – 33].

Celem badań zaprezentowanych w artykule była ocena poziomu ryzyka poślizgnięcia

na nawierzchniach przepuszczalnych (tabela 1) i wskazanie obszarów potencjalnie niebezpiecznych.

Charakterystyka badanych nawierzchni

Rozwiązaniem wspomagającym naturalną retencję wody w glebie na obszarze zurbanizowanym są nawierzchnie wykonane z betonowych ażurowych płyt lub kostek. W Płocku przy ul. Kazimierza Wielkiego w otoczkach wokół drzew wykonano prostokątne obszary z nawierzchni przepuszczalnych. Na odcinku ok. 100 m znajdują się cztery rodzaje nawierzchni przepuszczalnych:

1) **kostka betonowa Domino Eko** – umożliwia ułożenie nawierzchni z wolnymi przestrzeniami pozwalającymi na przesiekanie wody opadowej i roztopowej do gruntu oraz swobodne odparowywanie (fotografia 1). Eliminuje to konieczność instalowania systemów do odprowadzania wody opadowej. Zastosowanie mieszanki betonowej dobrej jakości powoduje, że jest ona wytrzymała i odporna na niszczenie i może być wykorzystywana w przypadku ruchu pieszych i pojazdów. Wolne przestrzenie między kostkami można zazielenić [35];

2) **TerraWay** – nawierzchnię wykonuje się z surowca mineralnego łączonego z wykorzystaniem żywicy epoksydowej (fotografia 2). Po wylaniu mieszan-



Photo 1. Concrete paving block Domino Eko surface

Fot. 1. Nawierzchnia z kostki betonowej Domino Eko



Photo 2. TerraWay surface

Fot. 2. Nawierzchnia TerraWay

3) **Ekoway** – the surface is made of a mixture of natural aggregates and solvent-free epoxy resin (photo 3). After preparing the appropriate base, it has water-permeable properties. It is used to surface bicycle paths, walking paths, and parking lots [37];

4) **HanzaVia (Elastopave)** – a surface consisting of rock aggregates, natural gravel and minerals joined together with a polyurethane binder [38]. A properly made mixture allows air and water to pass through and is resistant to weather conditions. It is used to build pedestrian and bicycle paths, parking lots for heavy and light traffic, access to properties, and borders around trees and buildings (photo 4).

Method and place of research

The British pendulum was used to test permeable surfaces. The measuring device allows performing field tests in a wide temperature range and developing maps of the skid resistance of the tested surfaces [39, 40]. The pendulum is equipped with three different sliders with dimensions of 3" x 1": a type 55 slider in accordance with the AS 4586-2013 standard [9, 34], a slider imitating the sole of children's sports shoes and a foam footwear slider. Tests were performed in wet conditions. The device was prepared for testing in accordance with PN-EN 13036-4:2011 [34]. The results of PTV measurements (Pendulum Test Value), the average value with measurement uncertainty [SRV] and the standard deviation value [σ_{SRV}] are listed in Table 2.

Four permeable surfaces were selected for testing located in the conservation protection zone in Płock at ul. Kazimierz Wielki and assessed the level of risk of pedestrian slipping.

Discussion of the research results

The results of experimental measurements on permeable surfaces are presented in Table 2. The measurement results indicate that in the case of wet surfaces made of rectangular concrete cubes, Domino Eko concrete cubes and permeable surfaces, pedestrian slipping is rare (P5). It should be noted, however, that extreme differences between the sidewalk surface (rectangular concrete cubes) and the permeable surface occurred in the case of the TerraWay surface, where the SRV anti-slip value for the 55 glider was 51.6 ± 3.3 , and for the sidewalk cubes it was 75.1 ± 3.5 . The indicated difference is

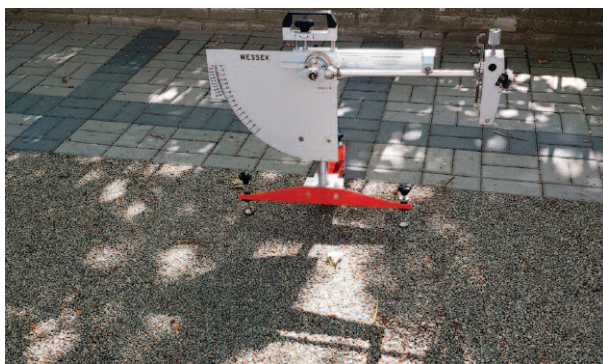


Photo 3. Ekoway surface
Fot. 3. Nawierzchnia Ekoway



Photo 4. HanzaVia surface
Fot. 4. Nawierzchnia HanzaVia

ki powstaje porowata struktura z drobkami kruszywa umożliwiającą przepuszczanie wody i powietrza. Aby woda mogła swobodnie przenikać w głąb gruntu, należy ułożyć pod nią dwie warstwy podbudowy [36]. Zaletą nawierzchni jest jej wytrzymałość mechaniczna, a także odporność na wysoką oraz ujemną temperaturę. Można ją wykorzystywać na placach zabaw, boiskach, ścieżkach rowerowych czy parkingach. Nawierzchnia uniemożliwia zarastanie chwastami i jest łatwa w utrzymaniu czystości;

3) **Ekoway** – nawierzchnię wykonuje się z mieszanki kruszyw naturalnych i bezrozpuszczalnikowej żywicy epoksydowej (fotografia 3). Po przygotowaniu odpowiedniej podbudowy ma właściwości wodoprzepuszczalne. Stosowana jest do wykonywania nawierzchni dróg dla rowerów, ścieżek spacerowych, parkingów [37];

4) **HanzaVia (Elastopave)** – nawierzchnia składająca się z kruszyw skalnych, naturalnych żwirów i minerałów połączonych ze sobą spoiwem poliuretanowym [38]. Prawidłowo wykonana mieszanka przepuszcza powietrze i wodę, jest odporna na czynniki atmosferyczne. Wykorzystuje się ją do budowy ścieżek pieszych i rowerowych, parkingów dla ruchu ciężkiego i lekkiego, dojazdów na posesję, obwódki wokół drzew i budynków (fotografia 4).

Metoda i miejsce badań

Do badania nawierzchni przepuszczalnych zastosowano wahadło brytyjskie. Urządzenie pomiarowe umożliwia wykonywanie badań terenowych w szerokim zakresie temperatury oraz opracowywanie map odporności na poślizg badanych nawierzchni [39, 40]. Wahadło wyposażono w trzy różne ślizgacze o wymiarach 3" x 1": ślizgacz typu 55 zgodny z normą AS 4586-2013 [9, 34], ślizgacz odwzorowujący podeszwę dziecięcego obuwia sportowego oraz ślizgacz typu obuwie z pianki. Testy przeprowadzono w warunkach mokrych. Urządzenie zostało przygotowane do badań zgodnie z PN-EN 13036-4:2011 [34]. Wyniki pomiarów PTV (*Pendulum Test Value* – wartość testu wahadła), wartość średnią wraz z niepewnością pomiarów [SRV] oraz wartość odchylenia standardowego [σ_{SRV}] zestawiono w tabeli 2.

Do badań wybrano cztery nawierzchnie przepuszczalne znajdujące się w strefie ochrony konserwatorskiej w Płocku przy ul. Kazimierza Wielkiego i oceniono poziom ryzyka poślizgnięcia się pieszego.

Table 2. Measurement results, statistical analysis and assessment of the slip level of the British pendulum (own study)
 Tabela 2. Wyniki pomiarów, analiza statystyczna oraz ocena poziomu poślizgu wahadła brytyjskiego (opracowanie własne)

Type of surface/Rodzaj nawierzchni	Parameters/Parametry			Pendulum slip assessment/ Ocena poślizgu wahadła	
	SRV*	σ_{SRV} **	Variation coefficient/ Współczynnik zmienności		
Rectangular concrete blocks [PTV]					
Slider 55/Ślizgacz 55	74, 73, 74, 75, 75, 76, 77, 78, 74, 75	75,1±3,5	1,52	2,03	P5
Slider – children's sports shoes/ Ślizgacz – sportowe obuwie dziecięce	61, 60, 59, 59, 58, 56, 57, 57, 57, 58	58,2±3,6	1,55	2,66	P5
Slider – foam footwear/Ślizgacz – obuwie z pianki	49, 50, 51, 51, 50, 51, 50, 51, 50, 50	50,3±1,6	0,67	1,34	P5
Concrete blocks Domino Eko [PTV]					
Slider 55/Ślizgacz 55	85, 87, 87, 87, 86, 87, 86, 86, 87, 86	86,4±1,6	0,70	0,81	P5
Slider – children's sports shoes/ Ślizgacz – sportowe obuwie dziecięce	60, 60, 59, 58, 57, 57, 57, 57, 56, 56	57,7±2,6	1,49	2,59	P5
Slider – foam footwear/Ślizgacz – obuwie z pianki	63, 62, 62, 61, 61, 62, 61, 62, 62, 61	61,7±1,1	0,67	1,09	P5
Pavement Ekoway [PTV]					
Slider 55/Ślizgacz 55	70, 69, 68, 68, 69, 71, 69, 68, 70, 69	69,1±2,3	0,99	1,44	P5
Slider – children's sports shoes/ Ślizgacz – sportowe obuwie dziecięce	70, 73, 68, 69, 71, 69, 69, 71, 72, 70	70,2±3,6	1,55	2,21	P5
Slider – foam footwear/Ślizgacz – obuwie z pianki	66, 66, 64, 63, 63, 62, 62, 62, 63, 63	63,4±3,5	1,51	2,37	P5
Pavement TerraWay [PTV]					
Slider 55/Ślizgacz 55	55, 53, 51, 51, 50, 51, 51, 52, 51, 51	51,6±3,3	1,43	2,77	P5
Slider – children's sports shoes/ Ślizgacz – sportowe obuwie dziecięce	54, 54, 54, 54, 54, 56, 56, 57, 54, 56	54,9±2,7	1,20	2,18	P5
Slider – foam footwear/Ślizgacz – obuwie z pianki	64, 60, 62, 62, 63, 62, 61, 63, 62, 63	62,2±2,6	1,14	1,82	P5
Pavement HanzaVia [PTV]					
Slider 55/Ślizgacz 55	64, 63, 63, 63, 63, 64, 64, 64, 65, 65	63,8±1,8	0,79	1,24	P5
Slider – children's sports shoes/ Ślizgacz – sportowe obuwie dziecięce	61, 58, 58, 57, 59, 62, 61, 60, 61, 61	59,8±3,9	1,69	2,82	P5
Slider – foam footwear/Ślizgacz – obuwie z pianki	68, 68, 68, 70, 70, 70, 71, 72, 72, 73	70,2±4,2	1,81	2,58	P5

* SRV value (average value) with measurement uncertainty according to the Student's t-distribution for a confidence level of 95%/wartość SRV (wartość średnia) wraz z niepewnością pomiaru rozkładu wg t-Studenta w przypadku poziomu ufności 95%

** σ_{SRV} – value of the standard deviation of a single measurement/wartość odchylenia standardowego pojedynczego pomiaru

over 20 SRV. Comparing these values with those in Table 1, the difference in SRV between level P2 and P5 is 24 SRV. An important aspect of surface anti-slip properties is the occurrence of local changes in the level of slip risk. This was demonstrated in an earlier article "Evaluation of skid resistance of historic pavement surfaces" published in "Building Materials" [19]. It presents the levels of slipping risk encountered on surfaces made of historic stone cubes, slag concrete cubes and basalt cubes.

Pedestrians expect that the surfaces they walk on provide a high degree of safety due to the possibility of slipping, and they are usually unable to visually determine whether a given surface is more or less slippery. Abrupt changes in anti-slip properties, perhaps during non-standard movements (running, sliding, shuffling, etc.), may lead to a loss of balance for pedestrians, therefore an important direction for further work could be the development of surfaces with as similar anti-slip parameters as possible.

Omówienie wyników badań

Wyniki pomiarów doświadczalnych na nawierzchniach przepuszczalnych przedstawiono w tabeli 2. Wskazują one, że w przypadku mokrej nawierzchni wykonanej zarówno z prostokątnych kostek betonowych, kostek betonowych Domino Eko, jak i nawierzchni przepuszczalnych poślizgnięcie się pieszego jest rzadko spotykane (P5). Należy jednak zauważyć, że skrajne różnice pomiędzy nawierzchnią chodnika (kostka betonowa prostokątna) a nawierzchnią przepuszczalną wystąpiły w przypadku nawierzchni TerraWay, gdzie wartość antypoślizgowości SRV w przypadku ślizgacza 55 wyniosła 51,6±3,3, a prostokątnej kostki betonowej 75,1±3,5. Wskazana różnica wynosi ponad 20 SRV. Porównując te wartości z wartościami z tabeli 1 różnica SRV pomiędzy poziomem P2 a P5 wynosi 24 SRV. Ważnym aspektem antypoślizgowości nawierzchni jest występowanie lokalnych zmian poziomu ryzyka poślizgnięcia. Wykazano to we wcześniejszym artykule „Ocena odporności na poślizg zabytkowych nawierzchni chod-

Conclusion

Local differences in the anti-slip properties of surfaces may change the level of slip risk. According to the Act [38], the permissible level of slip risk on surfaces with horizontal signs is P5. The tested surfaces meet this condition. The obtained test results for permeable surfaces are characterized by a wide range of SRV values, but the pendulum slip rating for all surfaces is P5, which translates into a slip risk described as rare. Differences in SRV values occur between both sliders and surfaces. The largest difference between the surfaces occurred in the case of slider 55, in the case of the TerraWay surface and the rectangular concrete cube, it amounted to over 20 SRV. In the area of one surface, the largest difference occurred between the 55 glider and the foam footwear glider in the case of surfaces made of rectangular concrete cubes and the Domino Eko type (difference of almost 25 SRV).

When comparing modern pavements and permeable surfaces with historic ones, it should be stated that currently constructed surfaces are characterized by good anti-slip parameters and can additionally contribute to increasing the retention of rainwater and meltwater. A conservator of monuments, as a person supervising the reconstruction, modernization or replacement of sidewalk surfaces, must pay attention to both the historical perception of the space and the safety of movement in a given area. It seems that in the case of historic areas intended only for sightseeing, it would be advisable to maintain the original surfaces, while in areas where the users are both residents and tourists, modern surfaces can be used, excluding historical areas, e.g. the old market square or the square with the town hall. in a given town.

It is very important to supervise the surfaces of sidewalks and roads on which pedestrians move. During periodic anti-slip tests, this would allow identifying potentially dangerous places. Periodic tests would also enable slip risk management and, with the established criteria, planning road surface renovations.

*Photographs: P. Gryszpanowicz
Received: 18.03.2024
Revised: 24.06.2024*

ników” opublikowanym w „Materiałach Budowlanych” [19]. Przedstawiono w nim spotykane poziomy ryzyka poślizgnięcia na nawierzchniach wykonanych z zabytkowych kostek kamiennych, kostek żużłobetonowych oraz kostek bazaltowych.

Uczestnicy ruchu pieszego spodziewają się, że nawierzchnie, po których się poruszają, zapewniają duży zakres bezpieczeństwa związany z możliwością wystąpienia poślizgu i zazwyczaj nie są w stanie określić wizualnie, czy dana nawierzchnia jest mniej czy bardziej śliska. Skokowe zmiany antypoślizgowości, być może przy niestandardowym poruszaniu się (bieganie, ślizganie, szuranie itp.), mogą doprowadzić do sytuacji utraty równowagi pieszego, dlatego też ważnym kierunkiem dalszych prac mogłoby być opracowanie nawierzchni o jak najbardziej zbliżonych parametrach antypoślizgowych.

Podsumowanie

Lokalne różnice właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni mogą powodować zmianę poziomu ryzyka poślizgnięcia. Zgodnie z ustawą [38], dopuszczalnym poziomem ryzyka poślizgu na nawierzchniach ze znakami poziomymi jest P5. Badane nawierzchnie spełniają ten warunek. Uzyskane wyniki badań nawierzchni przepuszczalnych charakteryzują się dużym rozrzutem wartości SRV, ale ocena poślizgu wahadła w przypadku wszystkich nawierzchni wynosi P5, co przekłada się na ryzyko poślizgu opisane jako rzadko spotykane. Różnice wartości SRV występują zarówno pomiędzy ślizgaczami, jak i nawierzchniami. Największa różnica pomiędzy nawierzchniami wystąpiła w przypadku ślizgacza 55, w przypadku nawierzchni TerraWay i prostokątnej kostki betonowej wyniosła ona ponad 20 SRV. W obszarze jednej nawierzchni największa różnica wystąpiła pomiędzy ślizgaczem 55 i ślizgaczem typu obuwie z pianki w przypadku nawierzchni z kostek betonowych prostokątnych oraz typu Domino Eko (różnica prawie 25 SRV).

Porównując współczesne nawierzchnie chodnikowe i nawierzchnie przepuszczalne z zabytkowymi, należy stwierdzić, że obecnie wykonywane nawierzchnie cechują się dobrymi parametrami przeciwoślizgowymi i dodatkowo mogą przyczynić się do zwiększenia retencji wód opadowych i roztopowych. Konserwator zabytków jako osoba nadzorująca odtwarzanie, modernizację lub wymianę nawierzchni chodnikowych musi zwracać uwagę zarówno na historyczny odbiór przestrzeni, jak i na bezpieczeństwo poruszania się w danym obszarze. Wydaje się, że w przypadku obszarów zabytkowych przeznaczonych tylko do zwiedzania, wskazane byłoby zachowanie oryginalnych nawierzchni, natomiast w obszarach, gdzie użytkownikami są zarówno mieszkańcy, jak i turyści można stosować nawierzchnie współczesne, wyłączając tereny historyczne, np. starego rynku czy placu z ratuszem w danej miejscowości.

Bardzo ważne jest prowadzenie nadzoru nad powierzchniami chodników i dróg, po których poruszają się piesi. Przy okresowych badaniach antypoślizgowości pozwoliłoby to na wskazanie miejsc potencjalnie niebezpiecznych. Cykliczne badania umożliwiłyby też zarządzanie ryzykiem poślizgnięcia, a przy założonych kryteriach planowanie remontów nawierzchni.

*Fotografie: P. Gryszpanowicz
Wpłynął do redakcji: 18.03.2024 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 24.06.2024 r.*

Literature

- [1] Lejcuś K. i in. Katalog dobrych praktyk. Zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych, Wrocław 2017.
- [2] Co to jest retencja wodna? Na czym polega mała retencja? TerraCottem. [dostęp 2024-03-25], <https://terracottem.pl/co-to-jest-retencja-wodna-na-czym-polega-mala-retencja/>.
- [3] Wytyczne zagospodarowania wód opadowych w obszarze zabudowy jednorodzinnej. Aquanet Retencja [dostęp 2023-03-27], <https://www.aquanet-retencja.pl/wp-content/uploads/2021/05/AQ-Retencja-Wytyczne.pdf>.
- [4] Enkhjargal OE, Li KW. Subjective ratings of floor slippery on common indoor and outdoor floors. *Int. J. Eng. Technol.* 2019; 11 (4): 241 – 244.
- [5] Silva G, Beltrán A, Muñoz A, Escrig I, Llobell C, Sanchís M, Lillo G. Optimised combinations of ceramic flooring and footwear for work environments, p. 1- 14, Conference: QUALICER 2018At: Castellón – Spain.
- [6] Zhou SY, Hsu WC, Hsu CC. A new Numerical simulation process for footwear slip resistance analysis, in: K. P. Lin, R. Magjarevic, P. de Carvalho (Eds.), *Future Trends in Biomedical and Health Informatics and Cybersecurity in Medical Devices. ICBHI 2019. IFMBE Proceedings.* 2020; https://doi.org/10.1007/978-3-030-30636-6_7.
- [7] Sarkar S, Raj R, Vinay S, Maiti J, Pratihari D. K. An optimization-based decision tree approach for predicting slip-trip-fall accidents at work. *Saf. Sci.* 2019; 118: 57 – 69.
- [8] Atlas R. What is the role of design and architecture in slip, trip, and fall accidents?, in: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 63 SAGE Publications, Sage CA: Los Angeles, CA, 2019, November, pp. 531–536. No. 1
- [9] AS 4586:2013. Slip resistance classification of new pedestrian surface materials. Sydney: Standards Australia. 2013.
- [10] ANSI A137.1 American National Standard Specifications for Ceramic Tile.
- [11] HB 197 An Introductory Guide to the Slip Resistance of Pedestrian Surfaces.
- [12] HB 198. Guide to the specification and testing of slip resistance of pedestrian surfaces. 2014.
- [13] UK Slip Resistance Group, 2023 [dostęp 2024-03-25] <https://www.ukslipresistance.org.uk/>.
- [14] [dostęp 2024-03-25] <https://www.floorsliptest.com.au/as-4586-2013-slip-ratings/>.
- [15] Bowman R. Can we develop slip resistance metrics that ensure appropriate tile selection?, p. 1-15, Conference: QUALICER 2016, [www.qualicer.org, Castellón – Spain](http://www.qualicer.org/Castellón-Spain) <https://universaldesignaustralia.net.au/wp-content/uploads/2016/07/BowmanSlipbusters-paper.pdf> (dostęp: 2022-01-05).
- [16] Ryan S, Reynolds A. New Housing Options for people with significant disability. Summer Foundation. 2015; <http://www.summerfoundation.org.au/resources/new-housing-options-design-insights/>.
- [17] Standardy projektowania budynków dla osób z niepełnosprawnościami, <https://budowlaneabc.gov.pl/standardy-projektowania-budynkow-dla-osob-niepelnosprawnych/stanowiska-postojowe-dla-samochodow/nawierzchnia-stanowisk-postojowych/> (dostęp: 2024-03-13).
- [18] Hippi M, et al. RoadSurf-Pedestrian: a sidewalk condition model to predict risk for wintertime slipping injuries. *Meteorological Applications.* 2020; <https://doi.org/10.1002/met.1955>.
- [19] Waluś K, Gryspanowicz P, Rymśa B. Ocena odporności na poślizg użytkowanych nawierzchni chodników. *Materiały Budowlane.* 2023; <https://doi.org/10.15199/33.2023.04.03>.
- [20] Lot AV, et al. Correlations between the slip resistance and surface roughness of ceramic floor tiles. *Research, Society and Development.* 2021; <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13865>.
- [21] Chatterjee S, Gupta S, Chanda A. Barefoot slip risk assessment of Indian manufactured ceramic flooring tiles. *Materials Today: Proceedings.* 2022; DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.428.
- [22] Fiagbe YAK, Ahadzie DK. Slip conditions of floor surface finish in selected public places in Kumasi, Ghana. *Pham DT (Ed.). Cogent Engineering.* 2022; <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2026205>.
- [23] Diker M, Çakmak B, Ergül E. Determination of The static friction coefficient of some materials used for anti-slip safety with ANOVA. *International Journal of Engineering Research and Development.* 2023; <https://doi.org/10.29137/umagd.1182843>.
- [24] Coşkun G, Bendak S. Safety of hospital floor coverings: A mixed method study. *Safety Science.* 2023; <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106145>.
- [25] Warguła Ł, Wiecezorek B, Krystofiak T, Sydor M. Impact of surface finishing technology on slip resistance of oak lacquer wood floorboards with distinct gloss levels. *Wood Material Science & Engineering.* 2024; DOI: 10.1080/17480272.2024.2309456.
- [26] Coşkun G, Sarıışık G. Analysis of slip safety risk by portable floor slipperiness tester in state institutions. *Journal of Building Engineering.* 2020; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100953>.
- [27] Larue GS, Popovic V, Legge M, Brophy C, Blackman R. Safe trip: factors contributing to slip, trip and fall risk at train stations. *Appl. Ergon.* 2021; 92: 103316.
- [28] Waluś KJ, Warguła Ł, Wiecezorek B, Krawiec P. Slip risk analysis on the surface of floors in public utility buildings. *Journal of Building Engineering.* 2022; <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104643>.
- [29] Weber A, Nickel P, Hartmann U, Friemert D, Karamanidis K. Contributions of training programs supported by VR techniques to the prevention of STF accidents, in: *International Conference on Human-Computer Interaction*, Springer, Cham, 2020, July, pp. 276 – 290.
- [30] Yu LX, Hon CY. Safety climate within ontario restaurants. *Prof. Saf.* 2020; 65 (11): 39 – 44.
- [31] Leclercq S, Saulnier H. Floor slip resistance changes in food sector workshops: prevailing role played by „fouling. *Saf. Sci.* 2002; 40 (7–8) : 659 – 673.
- [32] Barreca F, Cardinali G, Fichera CR. Assessment of flooring slipperiness for food industry buildings. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal Open.* 2015; 17 (2): 23–30. <http://www.cigrjournal.org>.
- [33] Liu L, Li KW, Lee Y.-H, Chen CC, Chen C.-Y. Friction measurements on „anti-slip” floors under shoe sole, contamination, and inclination conditions. *Saf. Sci.* 2010; 48 (10): 1321 – 1326.
- [34] PN-EN 13036-4:2011 Drogi samochodowe i lotniskowe. Metody badań. Część 4: Metoda pomiaru oporów poślizgu/poślizgnięcia na powierzchni: Próba wahadła.
- [35] Domino Eko, POZBRUK [dostęp 2023-03-27], <https://po-zbruk.pl/produkt/domino-eko/>.
- [36] Karta produktu TerraWay [dostęp 2024-03-25], <https://www.erbis.pl/oferta/terraway>.
- [37] Wodoprzepuszczalna nawierzchnia – Wspomaga zagospodarowanie wody deszczowej w miejscu opadu i zapewnia komfort użytkowania [dostęp 2024-03-25], <https://revo-system.pl/ekoway/>.
- [38] HanzaWay [dostęp 2024-03-25], <http://hanzaway.pl/>.
- [39] Polasik J, Waluś KJ. Comparative Analysis of the Roughness of Asphalt and Concrete Surface, *Telematics – Support for Transport: 14th International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2014, Katowice/Kraków/Ustroń, Poland, October 22-25, 2014. Selected Papers, 2014. – Communications in Computer and Information Science; vol. vol. 471, s. 350-358, pISSN: 1865-0929, ISBN: 978-3-662-45316-2, DOI: 10.1007/978-3-662-45317-9_37*.
- [40] Peng Y, Qiang Li J, Zhan Y, Kelvin C, Wang P, Yang G. Finite element method-based skid resistance simulation using in-situ 3D pavement surface texture and friction data. *MDPI. Materials.* 2019; <https://doi.org/10.3390/ma12233821>, 3821.