

Artur Kieszek✉

Akademia Wychowania Fizycznego im. Józefa Piłsudskiego w Warszawie

## Stabilizacja granulometryczna małożwiastą metodą ulepszania gruntowych nawierzchni szlaków turystycznych na gruntach małospoistych w polskich parkach narodowych

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono podstawowe znaczenie stabilizacji granulometrycznej dla wykonywania prac inżynierjno-remontowych gruntowych nawierzchni szlaków turystycznych znajdujących się w parkach narodowych. Nawierzchnię szlaku turystycznego tworzy jedna, dwie lub kilka warstw materiału użytego do jej budowy, profilowanych na podłożu gruntowym w obrysie szlaku. Jest to proces polegający na utworzeniu nowego gruntu, zwanego również mieszanką gruntową, z dwóch lub trzech różnych gruntów w odpowiednich proporcjach wagowych, następnie wymieszaniu go na sucho i mokro oraz poddaniu procesowi zagęszczenia przy określonej wilgotności. Utworzony w ten sposób grunt charakteryzuje się lepszymi właściwościami fizycznymi, mechanicznymi oraz większą odpornością na zróżnicowane warunki klimatyczne. Zastosowanie doziarniania gruntowych nawierzchni szlaków na gruntach małospoistych pozwala uzyskiwać lepsze właściwości mechaniczne stabilizowanych granulometrycznie szlaków turystycznych w parkach narodowych.

**Słowa kluczowe:** parki narodowe w Polsce, stabilizacja granulometryczna, szlaki turystyczne, gęstość szlaków, wskaźnik California Bearing Ratio – CBR, moduł nośności E

### Wstęp

Szlaki turystyczne to elementy infrastruktury komunikacyjnej pełniące funkcje udostępnienia przestrzeni turystycznej parku zwiedzającym turystom. W literaturze mogą być one określane jako funkcjonalne elementy turystycznego zagospodarowania. Stanowią wyznaczoną trasę, którą turyści przemieszczają się do miejsc szczególnie atrakcyjnych, mając na względzie walory naturalne i antropogeniczne. Krajowe szlaki turystyczne w zależności od pełniących funkcji można zróżnicować ze względu na (Kruczek, 2002):

- środek transportu: szlaki piesze (górskie, nizinne, spacerowe), narciarskie, rowe-rowe, konne, kajakowe i inne,
- zakres tematyczny szlaku: historyczny, kulturowy, przyrodniczy, biograficzny,
- zasięg: szlaki lokalne, regionalne, krajowe, międzynarodowe, transkontynentalne.

Artur Kieszek ORCID: 0000-0001-6357-5934

✉ artur.kieszek@awf.edu.pl

Zgodnie z literaturą według:

- Z. Kruczka – szlak to „wytyczona trasa w przestrzeni turystycznej dla potrzeb zwiedzających (nie zawsze oznakowana), prowadząca do najbardziej atrakcyjnych miejsc (obiektów) z zachowaniem dużej liczby przepisów, m.in. bezpieczeństwa turystów i ochrony środowiska” (Kruczek, 2002),
- Głównego Urzędu Statystycznego – „szlaki są to trasy przede wszystkim piesze, wytyczone w terenie ze względu na walory krajobrazowe (z uwzględnieniem warunków bezpieczeństwa turystów i przepisów ochrony środowiska) i oznaczone umownymi znakami umożliwiającymi odnalezienie właściwej drogi – zalecanej lub obowiązkowej” (Główny Urząd Statystyczny, 2009).

Na podstawie danych statystycznych Ministerstwa Środowiska można stwierdzić, że 591,0 km (15,32%) długości szlaków turystycznych w stosunku do łącznej długości szlaków znajdujących się w parkach narodowych jest w złym stanie technicznym i kwalifikuje się do remontów (tab. 1).

Szlaki na gruntach piaszczystych w parkach narodowych są w okresach suszy mało odporne na zjawisko ruchu turystycznego. Przesuszone górne warstwy nawierzchni gruntowej szlaku przemieszczają się pod wpływem obciążeń wywołanych ruchem turystów. Wskutek tego powstają powierzchniowe odkształcenia i warstwowe przemieszczenia nawierzchni, utrudniając ruch turystom. Podobne lub zbliżone zjawisko występuje w okresie opadu pionowego (deszczu, śniegu) na nawierzchnię szlaku.

Szlaki występujące na gruntach spoistych wykazują dużą nośność w warunkach suszy. Zwarta konsystencja tych gruntów ułatwia poruszanie się turystów. Nadmiar wody w czasie zwiększonych opadów atmosferycznych, jak również po nich, zalegający na nawierzchni, powoduje uplastycznienie gruntu i utratę jego nośności, powstają wówczas powierzchniowe uszkodzenia utrudniające przemieszczanie się w bezpieczny sposób.

Grunty małospoiste, które charakteryzują się właściwościami pośrednimi między gruntami sypkimi i spoistymi, są mało odporne na zjawisko ruchu turystycznego w okresie zwiększonych temperatur i opadów atmosferycznych. Podobnie jak w gruntach piaszczystych i spoistych, powstają tu odkształcenia, warstwowe przemieszczenia i uszkodzenia powierzchniowe powodujące utrudnienia w ruchu.

Nawierzchnie szlaków na gruntach małospoistych charakteryzują się właściwościami pośrednimi między gruntami sypkimi i spoistymi. Zatem jest uzasadniona potrzeba ulepszania nawierzchni tych szlaków z wykorzystaniem niskobudżetowych, nieszkodliwych dla środowiska metod. Jedną z takich metod jest stabilizacja granulometryczna gruntów podłoża. Celem stabilizacji jest utworzenie z gruntu materiału odpornego na ruch turystyczny w zmiennych warunkach klimatycznych. Proces technologiczny stabilizacji granulometrycznej obejmuje profilowanie gruntu podłoża szlaku, dodanie stabilizatora i jego wymieszanie z gruntem podłoża na sucho i mokro. Mieszaninę gruntową otrzymaną w ten sposób poddaje się procesowi zagęszczenia z odpowiednią ilością wody. W zależności od rodzaju użytego stabilizatora można wyróżnić następujące metody stabilizacji gruntu:

- stabilizacja granulometryczna – doziarnianie podłoża innym gruntem,

- stabilizacja mineralnymi materiałami wiążącymi – cementem, wapnem, popiołami lotnymi z węgla brunatnego, żywicami syntetycznymi,
- stabilizacja lepiszczami bitumicznymi – masą asfaltową, smołą,
- stabilizacja mieszana – łączenie ww. rodzajów stabilizacji.

**Tabela 1.** Długość szlaków turystycznych w parkach narodowych kwalifikujących się do remontu w latach 2011–2020

Park narodowy	Lata									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	<b>Szlaki turystyczne do remontu [km]</b>									
Ogółem	431,2	304,2	217,2	229,1	248,1	246,3	362,8	329,9	417,7	591,0
Babiogórski	10,0	10,0	15,0	10,0	10,0	–	1,0	10,0	–	1,0
Białowiecki	3,0	1,4	–	–	–	–	–	1,5	–	–
Biebrzański	78,0	64,0	54,6	70,4	62,3	68,0	61,3	29,0	30,0	60,5
Bieszczadzki	150,0	150,0	20,0	15,0	15,0	30,0	140,0	140,0	140,0	140,0
Bory Tucholskie	1,0	–	–	6,0	–	5,4	3,5	5,0	1,0	2,0
Drawieński	14,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Gorczański	18,6	16,4	16,4	13,0	13,0	2,5	2,5	22,9	2,3	10,0
Gór Stołowych	2,0	1,0	1,0	–	–	–	2,0	–	–	–
Kampinoski	–	–	–	–	67,0	58,7	80,6	13,2	109,5	58,7
Karkonoski	32,6	28,6	43,0	35,6	30,7	34,0	33,0	33,0	30,0	28,0
Magurski	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Narwiański	–	2,0	–	–	–	–	–	1,0	–	–
Ojcowski	–	3,0	3,0	6,0	6,0	2,5	2,5	2,5	2,0	1,5
Pieniński	3,0	0,9	2,3	1,3	1,3	1,5	0,9	1,5	6,5	2,2
Poleski	1,0	1,9	2,0	24,0	–	–	–	–	–	1,0
Roztoczański	6,0	0,0	4,0	4,0	–	–	–	6,0	10,0	6,0
Słowiński	25,0	25,0	25,0	25,0	10,0	25,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Świętokrzyski	–	–	12,0	8,0	8,0	8,0	8,0	3,0	3,0	5,0
Tatrzański	7,0	–	14,5	10,4	24,8	10,0	7,5	31,0	20,0	24,0
Ujście Warty	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Wielkopolski	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Wigierski	80,0	–	1,0	–	–	–	–	10,0	42,0	230,0
Woliński	–	–	3,4	0,4	–	0,7	–	0,3	1,4	1,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych statystycznych Ministerstwa Środowiska (Główny Urząd Statystyczny, 2011–2020).

Stabilizacja granulometryczna jest metodą nieszkodliwą dla środowiska, ponieważ nawierzchnia szlaku turystycznego jest ulepszana za pomocą doziarniania innym naturalnym gruntem, najczęściej rodzimym. Należy stwierdzić, że na znacznych obszarach parków narodowych istnieją warunki sprzyjające zastosowaniu stabilizacji granulometrycznej polegającej na utworzeniu mieszanki z dwóch lub trzech różnych gruntów sypkich i małospoistych, np. piasku i pyłu; pospółki, piasku i pyłu; żwiru, piasku i pyłu w odpowiednich proporcjach wagowych i zagęszczeniu przy określonej wilgotności. Należy jednak pamiętać, że tej stabilizacji nie stosuje się w przypadku gruntów spoistych zalegających w podłożu szlaku, gdyż jego rozdrobnienie i wymieszanie ze stabilizatorem jest utrudnione lub prawie niemożliwe.

### **Cel i metodyka**

Autor publikacji przedstawił w metodyce następujące zagadnienia: cel artykułu i przedmiot badań, metody i techniki badawcze oraz charakterystykę przedmiotu badań ze względu na miejsce i czas przeprowadzenia badań naukowych. W celu polepszenia stanu jakości gruntowych nawierzchni szlaków turystycznych znajdujących się na obszarach parków narodowych powinno stosować się nieskomplikowane metody technologiczne. Do jednej z nich należy zaliczyć stabilizację granulometryczną gruntów.

Celem artykułu było przedstawienie stabilizacji granulometrycznej jako technicznej metody ulepszania nawierzchni gruntowych szlaków turystycznych znajdujących się na gruntach małospoistych.

Przedmiotem badań były grunty małospoiste występujące na niektórych obszarach kraju, w tym częściowo w parkach narodowych, gdzie przebiegają szlaki turystyczne.

Autor wykorzystał następujące metody badawcze: opisową, kwerendy biblioteczną, stabilizacji granulometrycznej, nośności badania gruntu (modułu nośności E, wskaźnika CBR), metodę Proctora, analizy sitowej oraz analizy areometrycznej. Wykorzystane zostały również techniki badawcze, których nie opisano w publikacji, ale przedstawiono uzyskane efekty tych technik w postaci danych liczbowych właściwości fizycznych próbek przebadanych gruntów.

Metoda kwerendy posłużyła do wyszukania danych statystycznych ze zdigitalizowanych zasobów archiwalnych Głównego Urzędu Statystycznego, na podstawie których sporządzono trzy tabele występujące w publikacji.

Omówiono częściowo kryterium jakości stanu technicznego gruntowych nawierzchni szlaków turystycznych umożliwiających turystykę w okresie całego roku. Należy zaznaczyć, że kryterium dotyczy oceny stanu technicznego nawierzchni gruntowych szlaków. W ramach kryterium wyróżniono trzy stany jakości: należyty, ostrzegawczy, niebezpieczny. Kryterium jakości stanu nawierzchni gruntowych szlaków turystycznych jest w fazie teoretycznego opracowania przez autora, który zajmuje się obecnie ustalaniem technik badawczych dla oceny gruntowych nawierzchni szlaków turystycznych pod kątem nośności, stanu spękań, równości podłoża, stanu zagłębień i dziur, całkowitego stanu uszkodzeń powierzchniowych oraz właściwości przeciwpoślizgowych.

W artykule przedstawiono również fragment badań gruntów małospoistych (tab. 4). Powyższe badania miały na celu ustalenie wpływu zróżnicowanego składu granulometrycznego gruntów i mieszanek gruntowych na ich właściwości fizyczne i mechaniczne przy zmiennym zagęszczeniu i zmiennej wilgotności szkieletów gruntowych. Przedstawiono krótką charakterystykę wskaźników fizycznych i mechanicznych trzech gruntów stanowiących optymalne mieszanki gruntowe w następujących zakresach uziarnienia: 0–1,02 mm, 0–12 mm, 0–25 mm. Podstawę do ustalenia składu optymalnego badanych mieszanek gruntowych stanowił skład krzywej Fullera, modyfikowany odpowiednim dodatkiem wagowym pyłu i pyłu piaszczystego. Składy granulometryczne badanych gruntów wyznaczono metodą analizy sitowej dla gruntów o uziarnieniu powyżej 0,07 mm, a metodą areometryczną wyznaczono szkielety gruntowe zawierające cząstki mniejsze niż 0,07 mm. Wilgotności optymalne i maksymalne gęstości objętościowe szkieletów gruntowych wyznaczono w laboratorium metodą Proctora, która pozwoliła na znalezienie zależności między kształtowaniem się wilgotności gruntu a jego gęstością objętościową. W badaniach uwzględniono również wskaźnik uziarnienia szkieletu gruntowego obliczony zgodnie ze wzorem  $U = [(d_{80}/d_{20}) \cdot d_{50}]^{0,5}$ .

Laboratoryjnie oznaczono wskaźniki nośności gruntu California Bearing Ratio – CBR. Badania modułu nośności E wykonano w terenie za pomocą aparatu do badania nośności podłoża i nawierzchni. Wszystkie badania na gruntach przyjętych do badań w trzech zakresach uziarnienia, przy zmiennym zagęszczeniu i zmiennej wilgotności szkieletów gruntowych, wykonano zgodnie z normą PN-88/B-O4481 „Grunty budowlane. Badania próbek gruntu”.

Dane statystyczne uzyskane ze zdigitalizowanych zasobów archiwalnych Głównego Urzędu Statystycznego pozyskano w formie online i opracowano w maju 2022 roku. Grunty do badań pozyskano z terenu Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Rogowie i z okolic miejscowości Rydwan w latach 1999–2000. Badania były wykonane w LZD w Rogowie w latach 1999–2000.

### **Stany jakościowy i ilościowy szlaków turystycznych w parkach narodowych**

Szlaki turystyczne znajdujące się w 23 parkach narodowych umożliwiają realizację zadań turystycznych i pozaturystycznych. Szlaki turystyczne mogą być wykorzystywane do celów związanych z procesami zrównoważonej gospodarki i ochrony środowiska, prowadzonej z zasadami przyjętymi w parku narodowym. Wykorzystywane są również jako urządzenia komunikacyjne do typowych prac związanych z funkcją hodowlaną, ochronną czy administracyjną. Należy mieć na uwadze fakt, że szlaki turystyczne umożliwiają szybką komunikację do poszkodowanych turystów znajdujących się na trasie lub do zagrożonych w czasie pożaru powierzchni. W okresie zimy używane są także przez koła łowieckie do transportu paszy do dokarmiania zwierzyny. W przypadku zadań administracyjnych służą jako infrastruktura komunikacyjna w wykonywaniu obowiązków służbowych przez pracowników Służby Parku Narodowego w terenie.

Według danych Ministerstwa Ochrony Środowiska długość szlaków turystycznych w parkach narodowych podlega ciągłym zmianom (tab. 2).

**Tabela 2.** Długość szlaków turystycznych w parkach narodowych w latach 2011–2020

Park narodowy	Lata									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	<b>Szlaki turystyczne [km]</b>									
Ogółem	3655,6	3609,8	3629,8	3728,1	3753,9	3741,3	3782,2	3839,2	3796,5	3858,5
Babiogórski	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	49,0	55,0	55,0	49,0	49,4
Białowiecki	42,0	44,3	44,3	44,3	44,3	44,3	44,3	44,3	44,3	44,3
Biebrzański	463,7	493,3	498,3	498,3	524,1	498,9	498,9	510,9	515,0	515,6
Bieszczadzki	465,0	465,0	465,0	465,0	465,0	465,0	465,0	467,0	467,0	467,0
Bory Tucholskie	76,0	92,0	92,0	93,0	93,0	93,0	93,0	93,0	93,0	93,0
Drawieński	163,7	170,4	170,4	241,3	241,3	241,3	241,3	241,3	241,0	241,0
Gorczański	155,3	155,3	155,3	169,0	169,0	169,0	169,0	171,0	125,0	125,0
Gór Stołowych	196,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0	109,0
Kampinoski	560,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0
Karkonoski	117,6	117,6	118,0	118,0	118,0	121,0	125,9	125,9	136,1	136,0
Magurski	85,0	85,0	94,1	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	145,5
Narwiański	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	54,0	55,0	57,0	57,0
Ojcowski	39,7	37,3	37,3	37,3	37,3	37,4	37,4	37,4	37,4	46,6
Pieniński	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,2	35,2
Poleski	135,5	135,7	114,0	114,0	114,0	114,0	127,0	127,0	127,0	127,0
Roztoczański	30,5	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	66,0	66,0	66,0
Słowiński	144,3	144,3	144,3	150,2	150,2	165,7	165,7	169,0	169,0	169,0
Świętokrzyski	37,5	37,5	37,5	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	33,1	33,1
Tatrzański	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0
Ujście Warty	13,3	13,3	13,3	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7
Wielkopolski	215,0	215,0	215,0	215,0	215,0	215,0	233,0	233,0	234,0	235,0
Wigierski	245,4	245,4	272,6	272,6	272,6	272,6	272,6	272,6	272,6	272,0
Woliński	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych statystycznych Ministerstwa Środowiska (Główny Urząd Statystyczny, 2011–2020).

Szlaki turystyczne powinny odpowiadać określonym kryteriom jakościowym i ilościowym. Podstawowym kryterium jakościowym (nieutrudniającym przemieszczania się i zachowania rygorów bezpieczeństwa) powinien być dobry stan nawierzchni szlaku w udostępnionej dla turystów przestrzeni parku w okresie całego roku. Drugim kryterium powinno być kryterium ilościowe wykorzystujące prosty wskaźnik liczbowy, dający możliwość porównania łącznej długości szlaków przypadających na całkowitą powierzchnię parku narodowego.

**Tabela 3.** Wskaźnik gęstości szlaków turystycznych w parkach narodowych

Park narodowy	Lata									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	<b>Gęstość szlaków turystycznych [km/km<sup>2</sup>]</b>									
Ogółem	1,152	1,137	1,144	1,175	1,183	1,179	1,181	1,208	1,195	1,213
Babiogórski	1,621	1,621	1,621	1,621	1,621	1,444	1,618	1,621	1,445	1,456
Białowiecki	0,399	0,421	0,421	0,421	0,421	0,421	0,421	0,422	0,422	0,421
Biebrzański	0,783	0,833	0,841	0,841	0,885	0,842	0,842	0,863	0,870	0,871
Bieszczadzki	1,592	1,592	1,592	1,592	1,592	1,592	1,547	1,599	1,599	1,599
Bory Tucholskie	1,648	1,994	1,994	2,016	2,016	2,016	2,014	1,938	1,938	2,016
Drawieński	1,443	1,502	1,502	2,127	2,127	2,127	2,120	2,127	2,125	2,125
Gorczański	2,209	2,209	2,209	2,404	2,404	2,404	2,210	2,436	1,781	1,781
Gór Stołowych	3,091	1,719	1,719	1,719	1,719	1,719	1,715	1,719	1,719	1,716
Kampinoski	1,453	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,414	1,427	1,427	1,427
Karkonoski	2,107	2,108	2,115	2,115	2,115	2,168	2,109	2,116	2,287	2,285
Magurski	0,437	0,437	0,484	0,484	0,484	0,484	0,481	0,484	0,484	0,729
Narwiański	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,735	0,748	0,776	0,776
Ojcowski	1,850	1,738	1,738	1,738	1,738	1,743	1,740	1,743	1,743	2,175
Pieniński	1,476	1,476	1,476	1,476	1,476	1,476	1,470	1,492	1,500	1,500
Poleski	1,388	1,390	1,168	1,168	1,168	1,168	1,301	1,301	1,301	1,301
Roztoczański	0,360	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345	0,344	0,778	0,778	0,778
Słowiński	0,669	0,669	0,669	0,696	0,696	0,768	0,768	0,783	0,783	0,784
Świętokrzyski	0,492	0,492	0,492	0,538	0,538	0,538	0,536	0,538	0,434	0,434
Tatrzański	1,297	1,297	1,297	1,297	1,297	1,297	1,297	1,299	1,299	1,299
Ujście Warty	0,165	0,165	0,165	0,207	0,207	0,207	0,207	0,210	0,210	0,210
Wielkopolski	2,835	2,835	2,830	2,830	2,830	2,830	3,067	3,058	3,071	3,084
Wigierski	1,630	1,627	1,808	1,808	1,808	1,808	1,806	1,807	1,807	1,803
Woliński	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459	0,458	0,458	0,458	0,458

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych statystycznych Ministerstwa Środowiska (Główny Urząd Statystyczny, 2011–2020).

Podstawowym kryterium jakości jest stan techniczny nawierzchni gruntowych szlaków turystycznych umożliwiający turystykę w okresie całego roku. Stan techniczny nawierzchni powinien określać parametry techniczne, takie jak nośność, stan spękań, równość podłoża, stan zagłębień i dziur, całkowity stan uszkodzeń powierzchniowych oraz właściwości przeciwpoślizgowe. Stanem jakościowym szlaków turystycznych można byłoby określić całkowitą dostępność tych szlaków dla ruchu turystycznego w różnych

warunkach klimatycznych. Szlaki turystyczne powinny charakteryzować się nawierzchniami utwardzonymi, dla których można wyróżnić trzy stany jakości:

- należyty – istnieje bezpieczna dla zdrowia i życia turysty możliwość całorocznego ruchu turystycznego; w tym stanie jakości nawierzchnie utwardzone gruntowych szlaków powinny być nieuszkodzone,
- ostrzegawczy – ruch turystów po szlaku jest czasowo utrudniony przez powstające odkształcenia, uszkodzenia, warstwowe przemieszczenia nawierzchni wywoływane ruchem i zmiennymi warunkami klimatycznymi,
- niebezpieczny – stwarza niebezpieczeństwo występowania wypadków i zagrożeń życia dla potencjalnego turysty; nawierzchnie takich szlaków są długookresowo uszkodzone i niedostępne dla ruchu turystycznego.

Nawierzchnie szlaków zakwalifikowane do niebezpiecznego stanu jakości powinny podlegać rygorowi remontu lub modernizacji.

Podstawowe kryterium ilościowe związane jest z pojęciem gęstości szlaków turystycznych, które można określić jako wskaźnik gęstości szlaków turystycznych. Wskaźnik ten jest wyrażony ilorazem, w którym licznik jest sumą długości szlaków (km), a mianownik sumą całkowitej powierzchni (km<sup>2</sup>) parku narodowego. Analizując dane liczbowe z tabeli 3, należy zwrócić uwagę na wartość średnią wskaźnika gęstości szlaków (1,213 km/km<sup>2</sup>), która zwiększyła się w 2020 roku o 5,29% w porównaniu do 2011 roku.

Z przedstawionych danych liczbowych wynika, że 15,32% długości szlaków turystycznych w parkach narodowych nie kwalifikuje się do pełnego wykorzystania turystycznego. Parki narodowe charakteryzujące się wysokimi wskaźnikami gęstości szlaków turystycznych wyróżniają się dobrze rozwiniętą infrastrukturą komunikacyjną, dzięki której turysta może wygodnie przemieszczać się i podziwiać udostępniane walory turystyczne.

### **Znaczenie uziarnienia gruntu, ilości wody i zagęszczenia w stabilizacji granulometrycznej**

Gruntem jest materiał niejednorodny, stanowiący ośrodek trójfazowy, składający się ze szkieletu i porów wypełnionych wodą i powietrzem. Szkielet gruntowy stanowią ziarna i cząstki o różnej wielkości i kształcie, których zawartość wagową i procentową wyznacza się za pomocą analizy sitowej i areometrycznej. W zależności od wielkości ziaren i cząstek dzieli się je na grupy zwane frakcjami: kamienistą, żwirową, piaskową, pyłową i iłową. W zależności od udziału procentowego poszczególnych frakcji określa się rodzaj gruntu.

Na obszarach parków narodowych, w których znajdują się szlaki turystyczne, mogą występować grunty drobnoziarniste, składające się z trzech frakcji (piaskowej, pyłowej, iłowej). W przypadku gruntów gruboziarnistych są to żwiry i pospółki, które znajdują się w ewidencjonowanych i nieewidencjonowanych złożach o różnych miąższościach na niewielkich powierzchniach. Frakcja iłowa wiąże szkielet i w zależności od jej zawartości grunty dzielą się na: sypkie (do 2% frakcji ilastej – piaski, pospółki i żwiry), małospoiste (2–10% frakcji ilastej – piasek gliniasty, pył piaszczysty, pył) oraz spoiste (powyżej 10% frakcji ilastej), które nazywane są także glinami (frakcja ilasta 10–30%) oraz iłami (frakcja



ilasta powyżej 30%). Zarówno gliny, jak i ropy dzielą się w zależności od zawartości frakcji piaszczystej i pylastej na piaszczyste lub pylaste.

Frakcje występujące w gruntach dzieli się na podfrakcje, w których wyróżnia się określone wymiary ziaren i cząstek. Właściwości szkieletu gruntowego będą zależały od liczby frakcji i podfrakcji, czyli ich procentowych i wagowych zawartości. Zawartości frakcji ilastej i pylastej decydować będą o wrażliwości gruntu na oddziaływanie wody. Przy zawartości frakcji ilastych ponad 10% grunt pod wpływem wiązania wody i jej nadmiernej ilości wykazywał będzie zmianę swojej konsystencji ze zwartej do plastycznej, będzie ona rosła wraz ze wzrostem frakcji ilastej (Wiłun, 1967).

W miarę wzrostu zawartości frakcji piaszczystej i żwirowej w szkielecie gruntowym wzrastać będzie odporność tego gruntu na działanie wody i oczywiście na obciążenia powstające w wyniku przemieszczania się turystów. Na tej podstawie należy stwierdzić, że między gruntami sypkimi i spoiwymi istnieją składy granulometryczne wykazujące się dużą odpornością na obciążenia związane z ruchem. Będą to takie grunty, w których zachowane zostaną określone proporcje wagowe poszczególnych frakcji i podfrakcji zawartych w szkielecie gruntowym. Optymalne zawartości poszczególnych frakcji w gruntach drobnoziarnistych wynoszą: dla frakcji piaskowej 70–85%, frakcji pyłowej 11–23%, frakcji ropy 4–7%. W przypadku gruntów gruboziarnistych w dwuwarstwowych nawierzchniach zawartość poszczególnych frakcji powinna zawierać się w następujących przedziałach: dla frakcji żwirowej 10–65%, frakcji piaskowej 30–50%, frakcji pyłowej 8–15%, frakcji ropy 3–8% (Wiłun, 1967, s. 241).

Grunty drobnoziarniste i gruboziarniste o takich składach granulometrycznych występują sporadycznie, ale można je uzyskać metodą mieszania dwóch lub trzech gruntów o różnych składach granulometrycznych w celu uzupełnienia brakujących frakcji. Poszczególne frakcje powinny spełniać określone funkcje w utworzonej mieszaninie gruntowej: frakcja żwirowa i piaskowa jest strukturą szkieletową mieszanki przenoszącą obciążenia, frakcja pyłowa wypełnia szkielet żwirowo-piaskowy, a frakcja ropy pełni funkcję spoiwa, łącząc w całość ziarna i cząstki gruntu. Poddając grunty składające się z tych frakcji wymieszaniu z odpowiednią ilością wody, można tworzyć mieszaniny gruntowe o lepszych właściwościach fizyczno-mechanicznych.

Wodę w procesie stabilizacji granulometrycznej powinno rozpatrywać się ze względu na przenoszenie siły działającej między cząsteczkami i ziarnami gruntu oraz jako substancję umożliwiającą zagęszczenie szkieletu gruntowego. Woda ma istotne znaczenie w procesie zagęszczenia mieszanek gruntowych. Jest ona bowiem istotnym czynnikiem warunkującym osiągnięcie określonej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Woda w gruntach występuje najczęściej w postaci cieczy jako woda związana (higroskopowa, błonkowata), woda wolna (gruntowa) lub woda kapilarna (włoskowata).

Zagęszczanie jest procesem oddziaływania energii zagęszczającej na grunt powodującym jego wzajemne przemieszczanie się, lepsze upakowanie ziaren i cząstek w jednostce objętości, zmniejszenie porowatości oraz wzrost gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. W trakcie procesu zagęszczenia przemieszczające się ziarna i cząstki tworzą znaczne opory tarcia we wnętrzu mieszanki gruntowej, dlatego można kontrolować powstawanie tego zjawiska przez dozowanie odpowiedniej ilości wody. W przypadku

zwiększania zawartości wody w gruncie, ziarna i cząstki tego gruntu, które wcześniej przeciwstawiły się sile zagęszczenia, teraz łatwiej przemieszczają się na skutek oddziaływania wody jako substancji smarującej, powodując łatwiejsze upakowanie cząstek i ziaren o mniejszej progresji wymiarowej w szkielecie gruboziarnistym.

W trakcie trwania procesu zagęszczenia po pewnym czasie osiągnięty zostanie stan równowagi między odległością ziaren i cząstek gruntu, ilością wody błonkowej luźno związanej, powstającymi siłami przyciągania cząsteczkowego i siłami grawitacji. Osiągnięty w ten sposób stan zagęszczenia gruntu jest stanem granicznym zagęszczenia, przy którym ilość występującej wody w zagęszczanej mieszaninie będzie odpowiadała wilgotności optymalnej. W przypadku niedoboru ilości wody, siły tarcia występujące między ziarnami i cząstkami gruntu będą utrudniały ich przemieszczanie się i lepsze upakowanie w jednostce objętości, powodując spadek gęstości objętościowej szkieletu gruntowego względem gęstości objętościowej wykonanej w laboratorium zgodnie z badaniem Proctora, powodując zwiększony nakład energii zagęszczającej. Przy nadmiarze wody woda błonkowa luźna osiąga maksymalną grubość w przypadku równowagi sił przyciągania międzycząsteczkowego i grawitacyjnego, a jej dalszy nadmiar podlega siłom grawitacji i filtracji między porami. W tym stanie pory wypełnione są w znacznej części wodą, która przejmuje część energii zagęszczającej, powodującej wypieranie wody z porów. Na skutek tego szkielet osiągnie mniejszą gęstość objętościową. Należy pamiętać, że wilgotność optymalna w procesie stabilizacji ułatwia lepsze zagęszczenie gruntu, rosnącą gęstość objętościową i mniejszą porowatość szkieletu gruntowego (Kieszek, 2014a, b).

W tym rozdziale przedstawiono wpływ stosowania stabilizacji granulometrycznej na gruntach mało spoiwistych ze względu na kształtowanie się wielkości dwóch wskaźników nośności, takich jak kalifornijski wskaźnik nośności CBR (ang. *California Bearing Ratio*) i moduł nośności  $E$  (tab. 4). Nośnością gruntu określa się opór badanego gruntu na odkształcenia pod wpływem obciążenia wykonany zgodnie z normą PN-88/B-O4481 „Grunty budowlane. Badania próbek gruntu” (PN-88/B-O4481; Wiłun, 1967; Wolski, 1996, 1997).

**Tabela 4.** Wartości kalifornijskiego wskaźnika nośności (CBR) i modułu nośności  $E$  w zależności od porowatości ( $n$ ), składu granulometrycznego ( $U$ ) oraz stopnia zagęszczenia ( $0,95-1,05 \rho_{ds}$ ) względem wilgotności optymalnej ( $W_{opt.}$ ) dla optymalnego uziarnienia mieszanek gruntowych – gruntów

Zakres uziarnienia	Numer badanego gruntu	$n$	$U$	CBR [%]			E [MPa]
				$1,05 \rho_{ds}$	$1,00 \rho_{ds}$	$0,95 \rho_{ds}$	$1,00 \rho_{ds}$
				$W_{opt.}$	$W_{opt.}$	$W_{opt.}$	$W_{opt.}$
0–1,02 mm	1	0,253	1,289	28,89	24,89	22,65	50,70
0–12 mm	2	0,170	7,441	69,50	55,64	48,95	85,15
0–25 mm	3	0,151	10,69	94,48	76,90	68,85	115,68

Źródło: badania własne.

Małospoiste grunty stabilizowane granulometrycznie przy optymalnym zagęszczeniu ( $1,00 \rho_{ds}$ ) i wilgotności optymalnej ( $W_{opt.}$ ) oraz zmiennym uziarnieniu (0–1,02 mm, 0–112 mm, 0–25 mm) charakteryzują się zwiększonymi właściwościami mechanicznymi, np. ponad sto procentowym (123,54%) przyrostem nośności między gruntami pierwszym i drugim na skutek ponad pięciokrotnego wzrostu uziarnienia gruntu. Zwiększając uziarnienie w gruntach gruboziarnistych do 25 mm, przyrost nośności zwiększy się o 38,21% między gruntami drugim i trzecim.

Z powyższych danych wynika również, że wskaźnik nośności CBR, charakteryzujący opór szkieletu gruntowego gruntów stabilizowanych granulometrycznie, przy wilgotności optymalnej i stopniu zagęszczania  $1,05 \rho_{ds}$  względem zagęszczenia  $1,00 \rho_{ds}$ , zwiększył się dla gruntów o optymalnym zakresie uziarnienia o 16,07% (grunt pierwszy), 24,91% (grunt drugi) i 22,86% (grunt trzeci). W przypadku gruntów o mniejszym zagęszczeniu ( $0,95 \rho_{ds}$ ) względem zagęszczenia optymalnego następuje spadek nośności o 8,99% (grunt pierwszy), 12,027% (grunt drugi), 10,47% (grunt trzeci).

Moduł nośności E, charakteryzujący opór gruntu na wielkości odkształceń spowodowanych obciążeniem płytą, wykazuje przyrost między gruntem pierwszym a drugim o 67,95% oraz gruntem drugim a trzecim o 38,85%.

Powyższe dane liczbowe przedstawiają, że osiągnięcie optymalnych efektów w stabilizacji granulometrycznej na gruntach małospoistych dla nawierzchni gruntowych szlaków turystycznych zależy od doboru składu granulometrycznego gruntu stabilizowanego w podłożu szlaku i parametrów technologicznych takich jak wilgotność optymalna i stopień zagęszczenia.

### Podsumowanie

Stabilizacja granulometryczna gruntów małospoistych występujących w nawierzchni szlaków turystycznych jest technologicznym procesem polegającym na modyfikacji uziarnienia gruntu podłoża przez jego doziarnienie innym gruntem, wymieszaniu na sucho i mokro, zagęszczeniu tak otrzymanej mieszaniny przy określonej wilgotności. Proces ten ma na celu polepszenie właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów tworzących nawierzchnię szlaków turystycznych, przyczyniając się do zwiększenia odporności tych gruntów na ruch turystyczny.

Stabilizację granulometryczną kwalifikuje się do nieskomplikowanych i tanich technologii, do której surowce powinno się pozyskiwać z miejscowych zasobów kruszyw.

Szlaki turystyczne na obszarze parku narodowego dla potrzeb turystyki powinny podlegać corocznej ocenie stanu nawierzchni pod względem jakości, tworzeniu docelowej koncepcji układu i gęstości sieci szlaków, procedurze optymalnego wyboru nawierzchni ze względu na obciążenie ruchem turystycznym oraz procedurom mającym na celu zapewnienie wszystkich rygorów bezpieczeństwa i ochrony środowiska wynikających z ich turystycznego użytkowania.

Można stwierdzić, że stabilizacja granulometryczna powinna być stosowana zarówno ze względu na praktyczne efekty, jak i aspekt ekologiczny, ponieważ jest metodą nieszkodliwą dla środowiska.

## Literatura

- Główny Urząd Statystyczny (2009). *Ochrona Środowiska*. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- Główny Urząd Statystyczny (2011–2020). *Ochrona Środowiska*. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- Kieszek, A. (2014). Teoretyczne podstawy wpływu zmienności uziarnienia gruntów stabilizowanych granulometrycznie na wytrzymałość mechaniczną nawierzchni gruntowych szlaków pieszych w przestrzeni turystycznej Mazowsza. *Studia Mazowieckie* 2, s. 109–120.
- Kieszek, A. (2014). Wpływ właściwości fizycznych gruntu i wody na wytrzymałość mechaniczną gruntowych nawierzchni szlaków pieszych na terenach leśnych Mazowsza. *Studia Mazowieckie* 1, s. 113–127.
- Kruczek, Z. (2002). *Polska geografia atrakcji turystycznych*. Kraków: Wydawnictwo Proksemia. PN-88/B-O4481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. Warszawa: Wydawnictwa Normalizacyjne „Alfa”.
- Wiłun, Z. (1967). *Mechanika gruntów i gruntoznawstwo drogowe*. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
- Wolski, W. (1996). *Przewodnik do ćwiczeń z podstaw geotechniki – mechanika gruntów. Część I*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- Wolski, W. (1997). *Przewodnik do ćwiczeń z podstaw geotechniki – mechanika gruntów. Część II*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.

## The granulometric stabilization as a minimally invasive method of improving soil surfaces on tourist trails with low-cohesive soils in Polish national parks

**Abstract.** The article presents the basic importance of the granulometric stabilization for the performance of engineering and repair works on ground surfaces of tourist trails located in national parks. The surface of the tourist trail consists of one layer, two or more layers of the material used for its construction, profiled on the ground in the outline of the trail. It is a process consisting in creating a new soil, also called a soil mixture, from two or three different soils in appropriate weight proportions, then mixing it dry and wet, and subjecting it to the compaction process at a certain humidity. The soil created in this way is characterized by better physical and mechanical properties and greater resistance to various climatic conditions. The use of the granulation of ground surfaces on trails with low-cohesive soils allows obtaining better mechanical properties of granulometrically stabilized tourist trails in national parks.

**Key words:** national parks in Poland, granulometric stabilization, hiking trails, trail density, California Bearing Ratio – CBR, Bearing Modulus – E