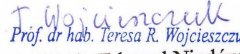
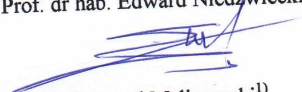



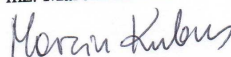


1) KATEDRA GLEBOZNAWSTWA,
2) KATEDRA DENDROLOGII I
KSZTAŁTOWANIA TERENÓW ZIELENI

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET
TECHNOLOGICZNY
W SZCZECINIE

**CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI MORFOLOGICZNYCH I
FIZYKO-CHEMICZNYCH NAWIERZCHNI MINERALNYCH TEGRA
ORAZ OCENA ICH ZASTOSOWANIA W TERENACH ZIELENI I
OBIEKTACH SPORTOWYCH**

Wykonawcy:	/podpis/
Kierownik projektu: Prof. dr hab. Teresa Wojcieszczuk ¹⁾	Prof. dr hab. Teresa Wojcieszczuk ¹⁾ Katedry Gleboznawstwa  Prof. dr hab. Edward Niedźwiecki ¹⁾
Prof. dr hab. Edward Niedźwiecki ¹⁾	 Dr inż. Ryszard Malinowski ¹⁾
Dr inż. Ryszard Malinowski ¹⁾	 Dr hab. Edward Meller ¹⁾
Dr hab. Edward Meller ¹⁾	 Dr inż. Adam Sammel ¹⁾
Dr inż. Adam Sammel ¹⁾	 Dr inż. Marcin Kubus ²⁾
Dr inż. Marcin Kubus ²⁾	

Badania wykonano na podstawie zlecenia z dnia 11.05.2009 na rzecz Przemysław Prochera przedstawiciel firmy TEGRA POLSKA ul. Uczniowska 21, 58-306 Wałbrzych, NIP PL 6141113169, REGON 231196903

SPIS TREŚCI

Wstęp	3
2. Metody badań	3
3. Wyniki badań	6
4. Podsumowanie	31
5. Zastosowanie w terenach zieleni i w obiektach sportowych naturalnych nawierzchni mineralnych i mieszanek tęgą	33
6. Wnioski	37
Literatura	38

WSTĘP

Specjalistyczne kruszywa Tegra stosowane są jako tłuczniowe nawierzchnie w parkach, drogach i terenach sportowych. Wytwarzane są one ze złóż kamienia naturalnego bądź materiałów mieszanych naturalnych kruszyw kamiennych i mączki ceglanej, którą uzyskuje się ze świeżo wypalonych cegieł. W dużej części materiały te ze względu na swój naturalny charakter reklamowane są jako ekologiczne, które jak np. tegra-PLAZADUR nie wywierają szkodliwego wpływu na środowisko przyrodnicze i są szczególnie polecane na obszarach ochrony wód.

Produkty te posiadają certyfikaty niemieckie potwierdzające ich przydatność do stosowania jako nawierzchnie. Charakteryzują się one znaczną odpornością na ścieranie i jednocześnie dużą przepuszczalnością wodną, potwierdzone certyfikatami ISO. Łatwość w pozyskaniu naturalnych kruszyw i ich niewysoki koszt sprawiają, że są coraz częściej stosowane na terenach zieleni miejskiej np. w Szczecinie na Jasnych Błoniach czy obiektach sportowych.

Celami badań były:

- 1) określenie, w dostarczonych próbkach nawierzchni drogowych tegra, cech morfologicznych, podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych, we frakcji mniejszej od 1mm;
- 2) ocena możliwości zastosowania nawierzchni drogowych tegra w terenach zieleni i w obiektach sportowych.

2. METODY BADAŃ

Badaniami objęto próbki czterech nawierzchni drogowych tegra: BERGOLIT G (*Baustoffe GmbH – BERGOLIT G 0/16, nach DIN 18035 Teli 5*); BERGOLIT Z (*Baustoffe GmbH – BERGOLIT Z m 0/16, nach DIN 18035 Teli 5*); PLAZADUR 0/8 (*Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/8, PLAZADUR gelbbeige N*); PLAZADUR 0/5 (*Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/5, PLAZADUR gelbbeige N*), opisanych i dostarczonych w workach foliowych przez zleceniodawcę w maju 2009 roku. Do badań pobrano próbki w trzech powtórzeniach, łącznie przeanalizowano 12 próbek. Uzyskane wyniki z trzech powtórzeń uśredniono i przedstawiono w tabelach 1-32.



Fot. 1. Nawierzchnie drogowe tegra dostarczone do badań laboratoryjnych

W nawierzchniach drogowych tegra oznaczono:

1. Skład petrograficzny i cechy morfologiczne – szacunkowa ocena makroskopowa, ekspercka.
2. Rozkład uziarnienia – przy zastosowaniu sit o średnicach 20-10, 10-9, 9-8, 8-6, 6-5, 5-4, 4-3, 3-2, 2-1 mm, oraz rozkład frakcji mniejszych od 1 mm metodą areometryczną według Prószyńskiego.
3. Właściwości fizyczne
 - barwę gleby – w stanie świeżym oraz w stanie powietrznie suchym przy pomocy skali barw Munsella;
 - gęstość objętościową, pojemność wodną wagową i objętościową: aktualną, kapilarną oraz całkowitą metodą suszarkową przy użyciu pierścieni Kopeky'ego.
4. Właściwości chemiczne sumy frakcji mniejszych od 1mm

- zawartość materii organicznej – poprzez żarzenie w temperaturze 550° C przy użyciu mikrofalowego pieca muflowego (Milestone mls 1200 pyro.);
- odczyn gleby (pH w H₂O i w KCl) – metodą potencjometryczną;
- zawartość węglanu wapnia – metodą Scheiblera;
- stężenie soli NaCl – konduktometrycznie;
- zawartość węgla organicznego oraz azotu i siarki ogólnej – przy użyciu analizatora elementarnego CNS Coestech;
- ogólną zawartość makroskładników (P, K, Na, Ca i Mg) oraz pierwiastków śladowych (Fe, Mn, Pb, Ni, Co, Cu, Zn i Cd) analizowano po zmineralizowaniu próbek w mieszaninie stężonych kwasów HNO₃+HClO₄. Zawartość potasu określono metodą fotometrii płomieniowej, a magnezu i metali ciężkich metodą absorpcji spektrometrii atomowej (FAAS) stosując spektrofotometr Salaar 929 firmy Unicam. Natomiast fosfor oznaczono kolorymetrycznie.



Fot. 2. Próbki frakcji mniejszej od 1 mm poddane badaniom chemicznym

3. WYNIKI BADAŃ

BERGOLIT G

(Baustoffe GmbH – BERGOLIT G 0/16, nach DIN 18035 Teli 5)



Fot. 3. BERGOLIT G *(Baustoffe GmbH – BERGOLIT G 0/16, nach DIN 18035 Teli 5)*



Fot. 4. Główne skały nawierzchni drogowej BERGOLIT G

Nawierzchnia drogowa BERGOLIT G jest ogólnej barwy w stanie mokrym oliwkowo-czarnej 5Y 3/1, w stanie suchym szarej 5Y 6/1. Zabarwienie pochodzi od frakcji pyłowej i drobniejszej, którymi pokryte są większe ziarna żwiru. Kruszywo składa się z naturalnych skał, głównie z niezwiertzałej, twardej, skały magmowej głębinowej – gabra, kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciastej, we frakcjach mniejszych spotyka się też dyskowate i kuliste, kanciaste. Ponadto w kruszywie występują ziarna skały metamorficznej - kwarcytu zbudowanej z kwarcu, kształtu kulistego słabo obtoczone oraz pojedyncze odłamki wietrzejącej skały magmowej głębinowej – granitu z dużym udziałem czerwonego, różowego ortoklazu, kształtu kulistego, kanciaste (wielościany).

Próbka składa się średnio w 71,3% z frakcji o ϕ 1 – 20 mm i 28,7% z frakcji mniejszych od 1 mm. W całości analizowanej próbki frakcja o ϕ 10-20 mm stanowi 15%, 8-6 mm – 12%, 1-0,5mm - 11%, 2-3 i 1-2mm po 9%, 4-5 i 3-4mm po 8%, pozostałe frakcje nie przekraczają 5%. Procentowy udział poszczególnych frakcji w materiale skalnym nawierzchni przedstawiają tabele 2, 3 i 4. Na podstawie szacunkowej oceny makroskopowej stwierdzono, że wraz ze zmniejszaniem się średnicy frakcji maleje udział ciemnoszarego gabra, a wzrasta kwarcytu i granitu (tab. 1).

Oznaczone właściwości fizyczne próbki BERGOLIT G przedstawione w tabeli 5 wskazują, że posiada ona: gęstość objętościową - $1,58 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, wilgotność aktualną: wagową - 0,72%, objętościową - 1,15%; pojemność wodną kapilarną: wagową - 14,48%, objętościową (porowatość kapilarna) - 22,94%; pojemność wodną całkowitą: wagową - 20,68% i objętościową (porowatość ogólna) - 32,77%. Przy czym przedstawione właściwości fizyczne nie są parametrami stałymi, gdyż zależą one od stopnia zagęszczenia nawierzchni.

Analiza składu chemicznego frakcji mniejszej od 1 mm (tab. 6) wskazuje, że materiał ten charakteryzuje się odczynem zasadowym, niewielką zawartością węgla wapnia – 0,93%, zasoleniem - $0,16 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ NaCl, materii organicznej (straty przy żarzeniu) – 0,98%, węgla organicznego - 0,285% i azotu ogólnego - 0,011%. Oznaczone ilości makropierwiastków rozpuszczalnych w stężonych kwasach $\text{HNO}_3+\text{HClO}_4$, przedstawiają się następująco: P – 616; K – 2509; Na – 236,3; Ca – 9135; Mg – $7389 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 7). Nie stwierdzono natomiast siarki ogólnej. Stwierdzone w analizowanej nawierzchni zawartości metali ciężkich Fe, Mn, Pb, Ni, Co, Cu, Zn i Cd rozpuszczalnych w stężonych kwasach $\text{HNO}_3+\text{HClO}_4$ (tab. 8) nie

przekraczają wartości dopuszczalnych stężeń w glebie lub ziemi wymienionych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku (poz. 1359), Dziennik Ustaw Nr 165 i są charakterystyczne dla gleb niezanieczyszczonych (PIOŚ i IUNG 1995).

Tabela 1. Opis cech morfologicznych i makroskopowa szacunkowa ocena objętościowego udziału skał w poszczególnych frakcjach nawierzchni drogowej tegra: BERGOLIT G (*Baustoffe GmbH – Bergolit G 0/16, nach DIN 18035 Teli 5*)

Frakcje [mm]	Opis frakcji
20-10	Niezwiertzałe, twarde odłamki gabro. Okruchy głównie kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciaste. Występują też pojedyncze ziarna kwarcu kształtu kulistego słabo obtoczone.
10-9	Dominuje gabro (ponad 90%), kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciaste. W domieszce ziarna kwarcu (kwarcyt-skała metamorficzna) kształtu kulistego słabo obtoczone.
9-8	Dominuje gabro (ok. 93%), kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciaste. W domieszce ziarna kwarcu (kwarcyt-skała metamorficzna) ok. 7%.
8-6	Dominuje gabro (ok. 70%), głównie kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, ale występują też dyskowate i kuliste, kanciaste. Pozostały procent stanowią ziarna kwarcu (kwarcyt-skała metamorficzna), kształtu kulistego, słabo obtoczone.
6-5	Dominuje gabro (ok. 60%), kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, oraz dyskowate, kanciaste. Około 40% stanowią ziarna kwarcu (kwarcyt-skała metamorficzna), kształtu kulistego, słabo obtoczone. Występują również pojedyncze odłamki granitu kształtu kulistego, kanciaste (wielościany).
5-4	Dominuje gabro (ok. 60%), kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, oraz dyskowate, kanciaste. Około 37% stanowią ziarna kwarcu (kwarcyt-skała metamorficzna), kształtu kulistego, słabo obtoczone. Pozostały procent stanowią pojedyncze odłamki granitu kształtu kulistego, kanciaste (wielościany).
4-3	Dominuje gabro (ok. 60%), kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, oraz dyskowate, kanciaste. Około 40% stanowią ziarna kwarcu (kwarcyt-skała metamorficzna), kształtu kulistego, słabo obtoczone.
3-2	Dominuje gabro (ok. 60%), kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, oraz dyskowate i kuliste, kanciaste. Około 30% stanowią ziarna kwarcu

	(kwarcyt- skała metamorficzna), kształtu kulistego, słabo obtoczone, 10% stanowią odłamki granitu kształtu kulistego, kanciaste (wielościany).
2-1	Dominuje gabra (ok. 60%), kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, rzadziej dyskowate oraz kuliste, kanciaste. Około 40% stanowią ziarna kwarcu (kwarcyt- skała metamorficzna), kształtu kulistego, słabo obtoczone i odłamki granitu kształtu kulistego, kanciaste (wielościany).
<1	Fracje składające się z rozdrobnionego materiału frakcji o $\phi > 1\text{mm}$

Tabela. 2. Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach szkieletowych ($\phi > 1$ mm) nawierzchni drogowej BERGOLIT G

Nr próbki	Procentowa zawartość frakcji szkieletowych [ϕ mm]								
	10-20	9-10	8-9	6-8	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2
1	25,3	4,1	5,2	15,1	6,2	12,2	9,8	10,7	11,4
2	19,9	4,8	4,8	16,8	6,4	10,2	12,3	12,8	12,0
3	18,5	3,8	5,8	16,0	6,1	11,7	13,1	14,1	10,9
\bar{x}	21,2	4,2	5,3	16,0	6,2	11,4	11,7	12,5	11,4

Tabela. 3. Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach ziemistych ($\phi < 1$ mm) nawierzchni drogowej BERGOLIT G

Nr próbki	Procentowa zawartość frakcji [ϕ mm]								
	>1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-,002	<0,002
1	71	38	15	16	12	6	5	2	6
2	71	38	15	19	10	5	5	2	6
3	72	37	16	17	12	5	6	2	5
\bar{x}	71,3	37,7	15,3	17,3	11,3	5,3	5,3	2,0	5,7

Tabela 4. Procentowy udział poszczególnych frakcji [ϕ mm] w całości analizowanej próbki nawierzchni drogowej BERGOLIT G

Procentowa zawartość frakcji [ϕ mm]																	
Nr próbki	10,0-20,0	10,0-9,0	9,0-8,0	8,0-6,0	6,0-5,0	5,0-4,0	4,0-3,0	3,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
1	18	3	4	11	4	9	7	7	8	11	4	5	3	2	1	1	2
2	14	3	3	12	5	7	9	9	9	11	4	6	3	1	1	1	2
3	14	3	4	12	4	8	9	10	9	10	4	5	3	1	2	1	1
\bar{x}	15	3	4	12	4	8	8	9	9	11	4	5	3	1	1	1	2

Tabela 5. Właściwości fizyczne nawierzchni drogowej BERGOLIT G

Nr próbki	Gęstość objętościowa	Wilgotność aktualna		Pojemność wodna kapilarna		Pojemność wodna całkowita	
		wagowa	objętościowa	wagowa	objętościowa (porowatość kapilarna)	wagowa	objętościowa (porowatość ogólna)
	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	%					
1	1,57	0,62	0,97	15,18	23,85	20,25	31,81
2	1,61	0,89	1,44	14,74	23,75	22,03	35,50
3	1,57	0,66	1,03	13,53	21,22	19,77	31,01
\bar{x}	1,58	0,72	1,15	14,48	22,94	20,68	32,77

Tabela 6. Podstawowe właściwości chemiczne nawierzchni drogowej BERGOLIT G

Nr próbki	pH		CaCO ₃	Formy ogólne		C org.	Straty przy żarzeniu	NaCl g·dm ⁻³
	H ₂ O	KCl		N	S			
			%					
1	7,69	7,50	0,93	0,011	0,0	0,285	1,04	0,175
2	7,79	7,70	0,93	0,011	0,0	0,285	0,93	0,175
3	7,81	7,73	0,93	0,011	0,0	0,285	0,96	0,14
\bar{x}	-	-	0,93	0,011	0,0	0,285	0,98	0,16

Tabela 7. Zawartość makropierwiastków rozpuszczalnych w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ [mg·kg⁻¹] nawierzchni drogowej BERGOLIT G

Nr próbki	P	K	Na	Ca	Mg
1	627	2420	280,9	10935	7838
2	616	2668	224,4	7820	6987
3	605	2438	203,5	8650	7343
\bar{x}	616	2509	236,3	9135	7389

Tabela 8. Zawartość metali ciężkich rozpuszczalne w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ [mg·kg⁻¹] nawierzchni drogowej BERGOLIT G

Nr próbki	Fe	Mn	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Cd
1	23955	314,7	16,88	3,07	4,66	14,61	63,58	0,00
2	21140	295,2	14,20	2,43	4,52	11,75	50,72	0,00
3	21784	307,4	14,67	3,21	4,63	13,55	57,84	0,00
\bar{x}	22293	305,8	15,25	2,90	4,60	13,30	57,38	0,00

BERGOLIT Z

(Baustoffe GmbH – BERGOLIT Z m 0/16, nach DIN 18035 Teli 5)



Fot. 5. BERGOLIT Z (*Baustoffe GmbH – BERGOLIT Z m 0/16, nach DIN 18035 Teli 5*)



Fot. 6. Główne skały i tłużeń ceglany nawierzchni drogowej BERGOLIT Z

Kruszywo BERGOLIT Z zabarwione jest od pyłu ceglanego, jego ogólna barwa w stanie mokrym jest czerwono-brązowa 2,5YR 4/8, w stanie suchym mocno pomarańczowa 2,5YR 6/4. Składa się ono z tłuczni ceglanego, głównie kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego oraz materiału skalnego kształtu kulistego słabo obtoczonego, o powierzchni chropowatej. W domieszce występuje głównie skała magmowa głębinowa – granit, kształtu kulistego, kanciasty (przypomina wielościący). Odłamki ceglane są mniejszej twardości niż skały naturalne (w moździerzku łatwo kruszą się i rozcierają).

Materiał nawierzchni stanowią głównie ziarna żwiru (frakcje o ϕ 1 – 20 mm) – 79,7% z domieszką frakcji mniejszych od 1 mm – 20,3%.

W całości analizowanej próbki największy udział procentowy mają frakcje 10-20 mm – 17%, 3-4 mm – 12%, 6-8 mm – 11%, 1-2 i 2-3 mm po 10% oraz 0,5-1 i 4-5 mm po 8%, pozostałe frakcje stanowią od 0 do 4% (tab. 12). Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach większych i mniejszych od 1 mm przedstawiają tabele 10 i 11. Przy czym tłuźceń ceglany (ceramiczny) dominuje objętościowo we frakcjach o ϕ większych od 6mm, natomiast we frakcjach o ϕ od 1-6mm materiał skalny (tab. 9).

Analizowane kruszywo charakteryzuje się właściwościami fizycznymi: gęstością objętościową 1,36 g·dm⁻³; zawartością wody higroskopowej 0,25%; wilgotnością aktualną wagową 0,94% i objętościową 1,27%; pojemnością wodną kapilarną wagową 20,13% i objętościową (porowatość kapilarna) 27,34%; pojemnością wodną całkowitą wagową 29,65% i objętościową (porowatość ogólna) 38,11% (tab. 13).

Oznaczenia podstawowych właściwości chemicznych w badanych próbkach wskazują, że materiał kruszywa składający się z frakcji mniejszych od 1 mm charakteryzuje się odczynem zasadowym, brakiem węgla wapnia i siarki ogólnej, zasoleniem 0,12 g·dm⁻³ NaCl, zawartością materii organicznej (straty przy żarzeniu) 2,74%, węgla organicznego 0,117% oraz azotu ogólnego 0,009% (tab. 14). Zawartość makropierwiastków rozpuszczalnych w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄, wynosiła: P – 183; K – 2088; Na – 182,4; Ca – 2035; Mg – 1368 mg·kg⁻¹ (tab. 15). Natomiast zawartości metali ciężkich rozpuszczalnych w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ (tab. 16) kształtowały się następująco: Fe – 14087; Mn – 99,2; Pb – 8,71; Ni – 1,59; Co – 2,76; Cu – 3,21; Zn – 15,91 mg·kg⁻¹ i nie stwierdzono kadmu (poza zakresem oznaczalności). Przedstawione wartości dowodzą, że badane kruszywo, mimo znacznego udziału czerwonego tłuczni ceglanego, jest materiałem o niewielkiej zawartości metali ciężkich (Dziennik Ustaw 2002, PIOŚ i IUNG 1995), mniejszej niż w innych badanych kruszywach naturalnych.

Tabela 9. Opis cech morfologicznych i makroskopowa szacunkowa ocena objętościowego udziału skał w poszczególnych frakcjach nawierzchni drogowej tegra: BERGOLIT Z (Baustoffe GmbH – Bergolit Zm 0/16, nach DIN 18035 Teli 5)

Fracje [mm]	Opis frakcji
20-10	Fracja składa się w ok. 45% zabarwionego na czerwono tuczni ceglanego (o uziarnieniu bardzo drobnym) głównie kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego. Pozostały procent stanowi materiał kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej. W domieszce występuje granit kształtu kulistego, kanciasty (wielościanny).
10-9	Dominuje tuczeń ceglany (ok. 50%), kształtu płasko- wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego. Około 40% stanowi materiał kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej i ok. 10% granit kształtu kulistego, kanciasty (wielościanny).
9-8	Dominuje tuczeń ceglany (ok. 50%), kształtu płasko- wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego. Około 30% stanowi materiał kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej i ok. 20% granit kształtu kulistego, kanciasty (wielościanny).
8-6	Tuczeń ceglany stanowi ok. 40%, kształtu płasko- wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego. Około 50% stanowi materiał kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej i ok. 10% granit kształtu kulistego, kanciasty (wielościanny).
6-5	Dominuje materiał (ok. 60%), kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej. Pozostały procent stanowi tuczeń ceglany, kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego.
5-4	Dominuje materiał (ok. 65%), kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej. Pozostały procent stanowi tuczeń ceglany, kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego.
4-3	Dominuje materiał (ok. 65%), kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej. Pozostały procent stanowi tuczeń ceglany, kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego.
3-2	Dominuje materiał (ok. 65%), kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej. Pozostały procent stanowi tuczeń ceglany, kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego oraz kulistego, kanciastego.
2-1	Dominuje materiał (ok. 70%), kształtu kulistego słabo obtoczony, o powierzchni chropowatej. Pozostały procent stanowi tuczeń ceramiczny, kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego.
<1	Fracje składające się z rozdrobnionego materiału frakcji o $\phi > 1\text{mm}$

Tabela. 10. Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach szkieletowych ($\phi > 1$ mm) nawierzchni drogowej BERGOLIT Z

Nr próbki	Procentowa zawartość frakcji szkieletowych [ϕ mm]								
	10-20	9-10	8-9	6-8	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2
4	22,7	4,1	4,7	12,9	5,5	10,0	13,3	13,3	13,5
5	23,5	4,5	4,7	13,6	5,6	9,8	15,0	12,1	11,2
6	19,5	4,4	5,0	14,9	5,5	11,3	15,5	13,2	10,7
\bar{x}	21,9	4,3	4,8	13,8	5,5	10,4	14,6	12,9	11,8

Tabela. 11. Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach ziemistych ($\phi < 1$ mm) nawierzchni drogowej BERGOLIT Z

Nr próbki	Procentowa zawartość frakcji [ϕ mm]								
	>1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-,002	<0,002
4	79	38	14	16	10	5	4	2	11
5	81	37	16	15	10	4	4	3	11
6	79	36	15	15	12	4	5	2	11
\bar{x}	79,7	37,0	15,0	15,3	10,7	4,3	4,3	2,3	11,0

Tabela 12. Procentowy udział poszczególnych frakcji [ϕ mm] w całości analizowanej próbki nawierzchni drogowej BERGOLIT Z

Procentowa zawartość frakcji [ϕ mm]																	
Nr próbki	10,0-20,0	10,0-9,0	9,0-8,0	8,0-6,0	6,0-5,0	5,0-4,0	4,0-3,0	3,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
4	18	3	4	10	4	8	11	11	11	8	3	3	2	1	1	0	2
5	18	3	4	11	5	8	12	10	9	7	3	3	2	1	1	1	2
6	16	3	4	12	4	9	12	10	9	8	3	3	3	1	1	0	2
\bar{x}	17	3	4	11	4	8	12	10	10	8	3	3	2	1	1	0	2

Tabela 13. Właściwości fizyczne nawierzchni drogowej BERGOLIT Z

Nr próbki	Gęstość objętościowa	Wilgotność aktualna		Pojemność wodna kapilarna		Pojemność wodna całkowita	
		wagowa	objętościowa	wagowa	objętościowa (porowatość kapilarna)	wagowa	objętościowa (porowatość ogólna)
	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	%					
4	1,37	0,73	1,00	19,36	26,53	28,00	38,37
5	1,35	0,81	1,10	19,36	26,38	28,01	38,11
6	1,35	0,90	1,21	19,42	26,24	28,02	37,86
\bar{x}	1,36	0,81	1,10	19,36	26,38	28,01	38,11

Tabela 14. Podstawowe właściwości chemiczne nawierzchni drogowej BERGOLIT Z

Nr próbki	pH		CaCO ₃	Formy ogólne		C org.	Straty przy żarzeniu	NaCl g·dm ⁻³
	H ₂ O	KCl		N	S			
			%					
4	7,62	7,42	0,00	0,009	0,0	0,117	2,71	0,122
5	7,47	7,33	0,00	0,009	0,0	0,117	2,95	0,122
6	7,44	7,30	0,00	0,009	0,0	0,117	2,57	0,122
\bar{x}	-	-	0,00	0,009	0,0	0,117	2,74	0,12

Tabela 15. Zawartość makropierwiastków rozpuszczalnych w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ [mg·kg⁻¹] nawierzchni drogowej BERGOLIT Z

Nr próbki	P	K	Na	Ca	Mg
4	187	2042	168,7	2007	1342,5
5	187	2144	183,9	2153	1415,5
6	176	2078	194,7	1945	1346,0
\bar{x}	183	2088	182,4	2035	1368

Tabela 16. Zawartość metali ciężkich rozpuszczalne w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ [mg·kg⁻¹] nawierzchni drogowej BERGOLIT Z

Nr próbki	Fe	Mn	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Cd
4	12820	92,5	7,44	1,52	2,30	3,13	15,37	0,00
5	15265	109,3	8,53	1,82	3,30	3,61	16,97	0,00
6	14175	95,6	10,17	1,44	2,68	2,90	15,40	0,00
\bar{x}	14087	99,2	8,71	1,59	2,76	3,21	15,91	0,00

PLAZADUR 0/8

(Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/8, PLAZADUR gelbbeige N)



Fot. 7. PLAZADUR 0/8 (Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/8, PLAZADUR gelbbeige N)



Fot. 8. Główne skały nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/8

PLAZADUR 0/8 ma charakter żwiru (frakcje o ϕ 1 – 20 mm) składającego się głównie z naturalnych skał (62,7%) i frakcji mniejszych od 1 mm (37,3%). Analizowane kruszywo jest ogólnej barwy w stanie mokrym brązowej 10YR 4/6, w stanie suchym mocno żółtej 10YR 6/4. Zabarwienie pochodzi od frakcji pyłowych i spławialnych (pochodzących z rozartego granitu i piaskowca), którymi pokryte są większe ziarna naturalnych skał.

Frakcje o ϕ 1 – 20 mm składają się z:

- skała magmowa głębinowa - wietrzejący granit (sjenit) o składzie mineralogicznym: różowy ortoklaz, kwarc i niewielki udział minerałów ciemnych (np. biotyt). Kształt skały kulisty, kanciasty (wielościany), łatwo rozciera się w moździerzu;
- skała metamorficzna – gnejs (o charakterystycznej budowie warstwowej), występują dwa rodzaje jasnoszary kwarcowy i czarno-szary zbudowany głównie z minerałów ciemnych, kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciasty, skała twarda;
- skała osadowa scementowana - pyłowiec, barwy żółtej, kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciasty, skała łatwo rozciera się w moździerzu.

Frakcje o średnicy większej od 8mm składają się, w podobnych proporcjach, z trzech skał granitu, pyłowca i gnejsu. Natomiast frakcje mniejsze składają się przede wszystkim z wietrzejącego granitu, którego udział objętościowy we frakcjach o ϕ 1-2 i 2-3 mm dochodzi do 80% (tab. 17). Procentowy wagowy udział poszczególnych frakcji w całości analizowanej próbki (tab. 20) wskazuje, że frakcje większe od 8 mm i mniejsze od 0,1 mm mają niewielki udział, a dominują okruchy skał o średnicach 3-2; 2-1 i 1-0,5 mm, które łącznie stanowią 44% masy całej próbki.

Nawierzchnia PLAZADUR 0/8 wykazuje gęstością objętościową $1,51 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$, wilgotność aktualną wagową 0,98% i objętościową 1,48%; pojemność wodną kapilarną wagową 19,59% i objętościową (porowatość kapilarna) 29,56%; pojemność wodną całkowitą wagową 23,42% i objętościową (porowatość ogólna) 35,40% (tab. 21).

Właściwości chemiczne frakcji mniejszych od 1 mm przedstawione w tabeli 22 wskazują, że jest to materiał o odczynie zasadowym, zawartości węgla wapniowego 2,72%, zasoleniu $0,18 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ NaCl, zawartości materii organicznej 2,03%, węgla organicznego 0,941% oraz azotu ogólnego 0,013%. W badanym materiale stwierdzono znaczne ilości kationów o charakterze zasadowym Ca - 17 618, Mg - 13 650 i K -5744 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast mniejszą zawartość P i Na odpowiednio 781 i 126,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 23). Koncentracja metali ciężkich Fe, Mn, Pb, Ni, Co, Cu, Zn, Cd rozpuszczalnych w stężonych kwasach $\text{HNO}_3+\text{HClO}_4$ (tab. 24) nie stanowi zagrożenia dla środowiska przyrodniczego (Dziennik Ustaw 2002, PIOŚ i IUNG 1995).

Tabela 17. Opis cech morfologicznych i makroskopowa szacunkowa ocena objętościowego udziału skał w poszczególnych frakcjach nawierzchni drogowej tegra: PLAZADUR 0/8 (Baustoffe GmbH – Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/8, PLAZADUR gelbbeige N)

Fracje [mm]	Opis frakcji
20-10	Frację stanowi mieszanina skał w podobnych proporcjach: gabra, gnejsu i pyłowca głównie kształtów płasko-wydłużonych i wrzecionowatych oraz dyskowatych, kanciastych. W domieszce występuje granit kształtu kulistego, kanciasty.
10-9	Występują głównie trzy skały o podobnym udziale procentowym: pyłowiec kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciasty, granit kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), gnejs kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciasty.
9-8	Występują głównie trzy skały o podobnym udziale procentowym: pyłowiec kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciasty, granit kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), gnejs kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciasty.
8-6	Dominuje granit kształtu kulistego (ok. 40%), kanciasty (wielościany). Po 30% stanowią pyłowiec i gnejs głównie kształtów płasko-wydłużonych i wrzecionowatych rzadziej kulistych, kanciastych.
6-5	Dominuje granit (ok. 65%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 25% stanowi pyłowiec i około 10% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciaste.
5-4	Dominuje granit (ok. 70%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 20% stanowi pyłowiec i około 10% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciaste.
4-3	Dominuje wyraźnie granit (ok. 75%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 15% stanowi pyłowiec i około 10% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciaste.
3-2	Dominuje wyraźnie granit (ok. 80%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 10% stanowi pyłowiec i około 10% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciaste.
2-1	Dominuje wyraźnie granit (ok. 80%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 10% stanowi pyłowiec i około 10% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciaste.
<1	Fracje składające się z rozdrobnionego materiału frakcji o $\varnothing > 1\text{mm}$

Tabela. 18. Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach szkieletowych ($\phi > 1$ mm) nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/8

Nr próbki	Procentowa zawartość frakcji szkieletowych [ϕ mm]								
	10-20	9-10	8-9	6-8	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2
7	1,1	2,7	3,6	11,8	6,2	9,9	14,3	21,9	28,5
8	0,5	2,3	4,3	13,0	8,5	12,0	14,8	24,6	20,0
9	0,8	3,3	4,9	17,1	6,1	11,3	15,9	18,2	22,4
\bar{x}	0,8	2,8	4,3	14,0	6,9	11,1	15,0	21,6	23,6

Tabela. 19. Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach ziemistych ($\phi < 1$ mm) nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/8

Nr próbki	Procentowa zawartość frakcji [ϕ mm]								
	>1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-,002	<0,002
7	58	40	20	17	8	3	5	2	5
8	64	41	20	16	7	4	5	2	5
9	66	43	20	15	8	3	4	2	5
\bar{x}	62,7	41,3	20,0	16,0	7,7	3,3	4,7	2,0	5,0

Tabela 20. Procentowy udział poszczególnych frakcji [ϕ mm] w całości analizowanej próbki nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/8

Procentowa zawartość frakcji [ϕ mm]																	
Nr próbki	10,0-20,0	10,0-9,0	9,0-8,0	8,0-6,0	6,0-5,0	5,0-4,0	4,0-3,0	3,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
7	1	2	2	7	4	6	8	13	16	17	8	7	3	1	2	1	2
8	0	1	3	8	5	8	10	15	13	15	7	6	3	1	2	1	2
9	1	2	3	11	4	7	10	12	15	15	7	5	3	1	1	1	2
\bar{x}	1	2	3	9	4	7	9	13	15	16	7	6	3	1	2	1	2

Tabela 21. Właściwości fizyczne nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/8

Nr próbki	Gęstość objętościowa	Wilgotność aktualna		Pojemność wodna kapilarna		Pojemność wodna całkowita	
		wagowa	objętościowa	wagowa	objętościowa (porowatość kapilarna)	wagowa	objętościowa (porowatość ogólna)
	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	%					
7	1,49	0,93	1,38	19,92	29,67	23,37	34,81
8	1,47	1,01	1,49	20,24	29,83	22,78	33,57
9	1,57	1,01	1,58	18,61	29,17	24,12	37,81
\bar{x}	1,51	0,98	1,48	19,59	29,56	23,42	35,40

Tabela 22. Podstawowe właściwości chemiczne nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/8

Nr próbki	pH		CaCO ₃	Formy ogólne		C org.	Straty przy żarzeniu	NaCl g·dm ⁻³
	H ₂ O	KCl		N	S			
			%					
7	7,64	7,66	2,97	0,013	0,0	0,941	2,00	0,175
8	7,75	7,73	2,63	0,013	0,0	0,941	2,08	0,175
9	7,78	7,75	2,55	0,013	0,0	0,941	2,00	0,175
\bar{x}	-	-	2,72	0,013	0,0	0,941	2,03	0,18

Tabela 23. Zawartość makropierwiastków rozpuszczalnych w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ [mg·kg⁻¹] nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/8

Nr próbki	P	K	Na	Ca	Mg
7	737	5508	126,3	17585	13160
8	792	6264	127,6	17825	14150
9	814	5460	126,7	17445	13640
\bar{x}	781	5744	126,9	17618	13650

Tabela 24. Zawartość metali ciężkich rozpuszczalne w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ [mg·kg⁻¹] nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/8

Nr próbki	Fe	Mn	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Cd
7	21465	397,8	43,74	4,86	6,28	23,50	77,73	0,042
8	22545	399,2	59,45	5,58	6,76	23,58	75,71	0,095
9	21845	384,6	52,34	5,20	6,63	23,56	84,22	0,063
\bar{x}	21952	393,9	51,84	5,21	6,56	23,55	79,22	0,067

PLAZADUR 0/5

(Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/5, PLAZADUR gelbbeige N)



Fot. 9. PLAZADUR 0/5 (*Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/5, PLAZADUR gelbbeige N*)



Fot. 10. Główne skały nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/5

Materiał skalny analizowanej próbki nawierzchni PLAZADUR 0/5 makroskopowo jest bardzo podobny do PLAZADUR 0/8. Frakcje o ϕ 1 – 20 mm stanowią 58,3%, a mniejsze od 1 mm 41,7%. Kruszywo to jest ogólnej barwy w stanie mokrym brązowej 10YR 4/6, w stanie suchym mocno żółtej 10YR 6/4. Zabarwienie pochodzi od frakcji pyłowej i frakcji drobniejszych, którymi pokryte są większe ziarna żwiru.

W nawierzchni PLAZADUR 0/5 występują trzy główne skały:

1. zwietrzały granit, kształtu kulistego, kanciasty (wielościanny),
2. pyłowiec kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i kulistego, formy kanciaste;
3. gnejs kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciasty. Gnejs wykazuje się większą twardością niż granit i pyłowiec, szczególnie jasnoszary zbudowany głównie z warstw drobnego kwarcu.

Cechą charakterystyczną tego kruszywa (tab. 26, 27 i 28) jest znikomy udział (wagowy) frakcji o ϕ 20-10, 10-9, 9-8 mm (pojedyncze ziarna skał) oraz znaczny udział frakcji o ϕ 4-3 mm (12%), 3-2 mm (14%), 2-1 mm (17%) i 1-0,5 mm (16%).

We frakcjach żwiru (o ϕ od 20-1mm) obserwuje się wzrost ilości zwietrzałego granitu wraz ze zmniejszeniem średnic frakcji (tab. 25).

Analizowane kruszywo posiada gęstość objętościową $1,52 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$, zawartość wody higroskopowej 0,46%, wilgotność aktualną wagową 1,33% i objętościową 2,03%; pojemność wodną kapilarną wagową 21,11% i objętościową (porowatość kapilarna) 32,16%; pojemność wodną całkowitą wagową 23,76% i objętościową (porowatość ogólna) 36,18% (tab. 29).

Właściwości chemiczne frakcji o średnicach mniejszych od 1mm analizowanego kruszywa przedstawione są w tabelach 30, 31 i 32. Jest to materiał o odczynie zasadowym; zawartości węgla wapnia 2,91%; zasoleniu $0,27 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ NaCl; zawartości materii organicznej (straty przy żarzeniu) 1,94%; węgla organicznego 0,665% oraz azotu ogólnego 0,013%. Oznaczone ilości makropierwiastków rozpuszczalnych w stężonych kwasach $\text{HNO}_3+\text{HClO}_4$ wskazują na znaczne zawartości kationów o charakterze zasadowych głównie Ca – 15797; Mg – 9545; K – 5617 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartość metali ciężkich: Fe – 22523; Mn – 328,5; Pb – 35,80; Ni – 7,30; Co – 8,14; Cu – 21,83; Zn – 78,24 i Cd – 0,015 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ nie przekracza norm dopuszczalnych stężeń w glebie lub ziemi wymienionych w Dzienniku Ustaw (2002) i przez PIOŚ i IUNG (1995).

Tabela 25. Opis cech morfologicznych i makroskopowa szacunkowa ocena objętościowego udziału skał w poszczególnych frakcjach nawierzchni drogowej tegra: PLAZADUR 0/5 (*Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/5, PLAZADUR gelbbeige N*)

Fracje [mm]	Opis frakcji
20-10	Występuje 1 okruch granitu kształtu kulistego, kanciasty (wielościan)
10-9	Występują dwie skały o podobnym udziale procentowym: pyłowiec kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciasty oraz granit kształtu kulistego, kanciasty (wielościany).
9-8	Dominuje granit (ok. 50%), kształtu kulistego, kanciaste (wielościany). Po ok. 25% stanowią pyłowiec i gnejs kształtów płasko-wydłużonych i wrzecionowatych rzadziej kulistych, kanciastych.
8-6	Występują głównie trzy skały o podobnym udziale procentowym: pyłowiec kształtu głównie płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciasty, granit kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), gnejs (skała metamorficzna z charakterystyczną budową warstwową) kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz dyskowaty, kanciasty.
6-5	Dominuje granit (ok. 40%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany) i po ok. 30% stanowią pyłowiec oraz gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego rzadziej kulistego, kanciaste. Pojawiają się również w tej frakcji pojedyncze ziarna kwarcu.
5-4	Dominuje granit (ok. 50%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 15% stanowi pyłowiec i około 35% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego i dyskowatego, kanciaste.
4-3	Dominuje wyraźnie granit (ok. 55%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 15% stanowi pyłowiec i około 30% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciaste.
3-2	Dominuje granit (ok. 55%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 15% stanowi pyłowiec i około 30% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciaste.
2-1	Dominuje wyraźnie granit (ok. 60%), kształtu kulistego, kanciasty (wielościany), ok. 10% stanowi pyłowiec i około 30% gnejs, skały kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego oraz kulistego, kanciaste. Występuje też kwarc.
<1	Fracje składające się z rozdrobnionego materiału frakcji o $\phi > 1\text{mm}$

Tabela. 26. Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach szkieletowych ($\phi > 1$ mm) nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/5

Nr próbki	Procentowa zawartość frakcji szkieletowych [ϕ mm]								
	10-20	9-10	8-9	6-8	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2
10	0,0	0,2	0,4	6,4	7,7	11,1	20,2	24,6	29,4
11	0,2	0,2	0,5	6,2	7,5	12,9	20,9	22,5	29,1
12	0,1	0,0	1,0	7,3	6,6	12,7	19,9	24,1	28,3
\bar{x}	0,1	0,1	0,6	6,6	7,3	12,2	20,3	23,7	28,9

Tabela. 27. Procentowy udział poszczególnych frakcji w częściach ziemistych ($\phi < 1$ mm) nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/5

Nr próbki	Procentowa zawartość frakcji [ϕ mm]								
	>1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
10	59	37	19	19	9	4	5	2	5
11	58	38	20	17	9	4	4	2	6
12	58	41	18	16	10	4	3	3	5
\bar{x}	58,3	38,7	19,0	17,3	9,3	4,0	4,0	2,3	5,3

Tabela 28. Procentowy udział poszczególnych frakcji [ϕ mm] w całości analizowanej próbki nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/5

Procentowa zawartość frakcji [ϕ mm]																	
Nr próbki	10,0-20,0	10,0-9,0	9,0-8,0	8,0-6,0	6,0-5,0	5,0-4,0	4,0-3,0	3,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
10	0	0	0	4	4	7	12	14	17	15	8	8	4	2	2	1	2
11	0	0	0	4	4	7	12	13	17	16	8	7	4	2	2	1	3
12	0	0	1	4	4	7	12	14	16	17	8	7	4	2	1	1	2
\bar{x}	0	0	0	4	4	7	12	14	17	16	8	7	4	2	2	1	2

Tabela 29. Właściwości fizyczne nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/5

Nr próbki	Gęstość objętościowa	Wilgotność aktualna		Pojemność wodna kapilarna		Pojemność wodna całkowita	
		wagowa	objętościowa	wagowa	objętościowa (porowatość kapilarna)	wagowa	objętościowa (porowatość ogólna)
	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	%					
10	1,47	1,31	1,92	21,38	31,35	24,10	35,34
11	1,49	1,36	2,03	20,92	31,21	23,71	35,36
12	1,61	1,33	2,14	21,04	33,93	23,46	37,84
\bar{x}	1,52	1,33	2,03	21,11	32,16	23,76	36,18

Tabela 30. Podstawowe właściwości chemiczne nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/5

Nr próbki	pH		CaCO ₃	Formy ogólne		C org.	Straty przy żarzeniu	NaCl g·dm ⁻³
	H ₂ O	KCl		N	S			
			%					
10	7,78	7,42	2,97	0,013	0,0	0,665	2,10	0,262
11	7,77	7,73	2,63	0,013	0,0	0,665	1,99	0,280
12	7,79	7,71	3,14	0,013	0,0	0,665	1,73	0,280
\bar{x}	-	-	2,91	0,013	0,0	0,665	1,94	0,27

Tabela 31. Zawartość makropierwiastków rozpuszczalnych w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ [mg·kg⁻¹] nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/5

Nr próbki	P	K	Na	Ca	Mg
10	770	6508	141,0	17075	10290
11	704	5332	142,6	14485	9004
12	726	5012	139,3	15830	9340
\bar{x}	733	5617	141,0	15797	9545

Tabela 32. Zawartość metali ciężkich rozpuszczalne w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄ [mg·kg⁻¹] nawierzchni drogowej PLAZADUR 0/5

Nr próbki	Fe	Mn	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Cd
10	23660	350,1	38,08	7,71	8,67	22,41	79,69	0,001
11	21240	325,7	36,33	7,31	7,96	22,06	78,09	0,037
12	22670	309,7	33,00	6,87	7,78	21,03	76,95	0,006
\bar{x}	22523	328,5	35,80	7,30	8,14	21,83	78,24	0,015

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania morfologiczne, chemiczne i fizyczne dostarczonych 4 próbek nawierzchni tegra wykazały, że: w przypadku BERGOLIT G, PLAZADUR 0/8 i PLAZADUR 0/5 kruszywo stanowią naturalne kanciaste odłamki skał magmowych (gabro, granit), metamorficznych (kwarcyt, gnejs) i osadowych scementowanych (pyłowiec) w różnych proporcjach, a w przypadku kruszywa BERGOLIT Z jest to naturalny materiał skalny mieszany z czerwonym tłucznem ceglany (ceramicznym).

Ocena makroskopowa (ekspercka) frakcji >1 mm wykazała, że nawierzchnia BERGOLIT G składa się przede wszystkim z naturalnych kanciastych odłamków skał magmowych głębinowych – gabra głównie kształtu płasko-wydłużonego i wrzecionowatego, kanciastej, ale też we frakcjach mniejszych dyskowatego i kulistego, kanciaste. Ponadto występują ziarna skały metamorficznej - kwarcytu zbudowanej z kwarcu, kształtu kulistego słabo obtoczone oraz pojedyncze odłamki wietrzejącej skały magmowej głębinowej – granitu, kształtu kulistego, kanciaste (wielościanny). Przy czym udział gabra wynosi od 60% w drobniejszych frakcjach aż do ponad 90% w grubszych.

Nawierzchnie PLAZADUR 0/8 i PLAZADUR 0/5 składają się z tych samych, naturalnych kanciastych okruchów skał: granitu, pyłowca i gnejsu. Różnicuje je tylko zawartość poszczególnych frakcji w kruszywie. PLAZADUR 0/8 posiada wyraźnie większy udział frakcji o średnicach 20-10; 10-9; 9-8 i 6-8 mm. Przy czym we frakcjach mniejszych od 6 mm dominuje wietrzejący granit.

BERGOLIT Z w odróżnieniu od pozostałych próbek składa się z kruszywa mieszanego: naturalne skały z tłucznem i pyłem ceglany (ceramicznym). Tłuczeń ceglany jest głównie kształtu płasko-wydłużonego, wrzecionowatego i dyskowatego, kanciastego natomiast materiał skalny, kształtu kulistego słabo obtoczonego, o powierzchni chropowatej.

Nawierzchnie tegra składają się z frakcji o średnicach mniejszych od 20 mm. Frakcje o średnicy od 1-20 mm (szkieletowe-żwiru wg nazewnictwa stosowanego w gleboznawstwie) stanowią ponad 50% wagowych (od 58,3 w PLAZADUR 0/5 do 79,7% w BERGOLIT Z), natomiast pozostały procent wagowy są to frakcje mniejsze od 1 mm (ziemiste wg nazewnictwa stosowanego w gleboznawstwie).

Nawierzchnie BERGOLIT G i BERGOLIT Z charakteryzują się znacznym udziałem frakcji dużych o średnicach 20-10 mm, natomiast nawierzchnie PLAZADUR 0/8 i PLAZADUR 0/5 zawierają znikomy procent tej frakcji.

Skład petrograficzny, kształt, twardość oraz udział procentowy poszczególnych frakcji

w nawierzchniach drogowych tego powoduje, że jest to materiał po zagęszczeniu zwarty mało podatny na przemieszczanie i rozmywanie.

Właściwości fizyczne badanych nawierzchni tego zależne są od stopnia zagęszczenia materiału skalnego. Oznaczona gęstość objętościowa w materiałach naturalnych BERGOLIT G, PLAZADUR 0/8 i PLAZADUR 0/5 kształtowała się od 1,51 do 1,58 g·cm⁻³, natomiast w nawierzchni mieszanej BERGOLIT Z - 1,36 g·cm⁻³. Pojemność wodna kapilarna objętościowa wynosiła od 22,94 w BERGOLIT G do 32,16% w PLAZADUR 0/5, a pojemność wodna całkowita (porowatość ogólna) od 32,77 w BERGOLIT G do 38,11% w BERGOLIT Z. Przy czym obie pojemności wodne wyraźnie wyższe były w nawierzchniach o większym udziale frakcji drobniejszych mających lepsze właściwości retencyjne wody.

Ocena składu chemicznego frakcji mniejszych od 1mm (części ziemiste wg nazewnictwa stosowanego w gleboznawstwie) w badanych nawierzchniach tego wykazała, że charakteryzują się one odczynem zasadowym (pH_{KCl} powyżej 7,2), przy czym w trzech nawierzchniach drogowych, BERGOLIT G; PLAZADUR 0/8 i PLAZADUR 0/5 stwierdzono węglan wapnia. Zasolenie kształtowało się od 0,12 w BERGOLIT Z do 0,27 g·dm⁻³ NaCl w PLAZADUR 0/5. W badanych próbkach nawierzchni stwierdzono występowanie materii organicznej (straty przy wyżarzaniu) od 0,98 w BERGOLIT G do 2,74 % w BERGOLIT Z; węgla organicznego od 0,117 w BERGOLIT Z do 0,941% w PLAZADUR 0/8 i azotu ogólnego od 0,009 w BERGOLIT Z do 0,013% w PLAZADUR 0/5.

Zasobność w makropierwiastki ogólne (formy rozpuszczalne w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄) można uszeregować następująco: Ca>Mg>K>P>Na, tylko w przypadku BERGOLIT Z stwierdzono nieco więcej potasu niż magnezu.

Oznaczenia zawartości metali ciężkich ogółem (formy rozpuszczalne w stężonych kwasach HNO₃+HClO₄): Fe, Mn, Pb, Ni, Co, Cu, Zn, Cd, wskazują, że są to materiały niezanieczyszczone, które nie stanowią zagrożenia dla środowiska przyrodniczego. Przy czym zwraca uwagę niższa zawartość metali ciężkich w nawierzchni BERGOLIT Z, która jest z domieszką tłucznia ceglanego niż w nawierzchniach wytworzonych z naturalnych skał (BERGOLIT G; PLAZADUR 0/8 i PLAZADUR 0/5).

Według przetłumaczonego na j. polski (Borycka A. tłumacz przysięgły) Świadectwa Badań nr: 506.048 „Plazadur” i nr 506.201 „Bergolit Z” wydanego przez niemieckie Laboratorium Kontrolne Budownictwa Drogowego, Podziemnego oraz Boisk i Terenów Sportowych w Pappelweg 4,29664 Walsrode, 2006 wynika, że nawierzchnia Plazadur charakteryzuje się wodoprzepuszczalnością $k=1,5 \times 10^{-4}$ cm/s, wytrzymałością na ścinanie $\tau_s=74,2$ kN/m², zdolnością pochłaniania wody = 9,3/m² (gęstość warstwy gruntu 0,95 P_{Pr}, grubość warstwy 4 cm),

maks. pojemnością kapilarną wodną (PK) = 23,1 poj.-%, porowatością ogólną 33,4 poj.-% i objętością powietrza dla pF 1,8 (duże pory) = 11,9 poj.-%. Natomiast nawierzchnia Bergolit Z, wodoprzepuszczalnością $k=11,0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, wytrzymałością na ścinanie $\tau_s=78,4 \text{ kN/m}^2$, odpornością na ścieranie 9,5% i mrozoodpornością 1,4%. Przedstawione wyniki niemieckich badań, przeprowadzonych zgodnie z Federalnym Rozporządzeniem w sprawie ochrony gruntów i dekontaminacji (BbodSchV) nie przekraczają norm wartości dopuszczalnych i spełniają we wszystkich sprawdzanych parametrach wymagania normy niemieckiej DIN 18 035 – 5. Nawierzchnie drogowe „Plazadur” i „Bergolit Z” dopuszczone zostały do stosowania bez ograniczeń w obszarach zabudowy mieszkaniowej, w parkach, na terenach rekreacyjnych, placach zabaw dla dzieci oraz gruntach przemysłowych.

Badania produktów tegra (BERGOLIT G; BERGOLIT Z, PLAZADUR 0/8 i PLAZADUR 0/5) przeprowadzone przez Katedrę Gleboznawstwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie informują o składzie petrograficznym, cechach morfologicznych, rozkładzie frakcji, podstawowych właściwościach fizycznych i składzie chemicznym frakcji mniejszych od 1mm. Uzyskane wyniki wskazują, że dostarczone próbki nawierzchni tegra wytworzone są z naturalnych skał oraz materiału mieszanego (naturalne skały, tłuczeń ceglany) i pod względem składu chemicznego nie stanowią zagrożenia dla środowiska przyrodniczego oraz mogą być stosowane bez ograniczeń.

5. ZASTOSOWANIE W TERENACH ZIELENI I W OBIEKTACH SPORTOWYCH NATURALNYCH NAWIERZCHNI MINERALNYCH I MIESZANEK TEGRA

Badania podstawowych właściwości fizyko-chemicznych kruszyw tegra o nazwach handlowych: PLAZADUR 0/5, PLAZADUR 0/8, BERGOLIT G, BERGOLIT Z wykazały, że ww. produkty tegra wytworzone są wyłącznie z naturalnych skał (w przypadku BERGOLIT Z współkomponentem jest mączka ceglana) i mają korzystne właściwości frakcji o średnicy poniżej 1 mm, takie jak: odczyn, znaczna zawartość mikropierwiastków ogólnych i brak zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Nawierzchnie nie stanowią zagrożenia dla środowiska przyrodniczego. Świadcstwo badań przeprowadzonych przez niemieckie Laboratorium Kontrolne Budownictwa Drogowego, Podziemnego oraz Boisk i Terenów Sportowych potwierdza parametry dotyczące wodoprzepuszczalności, zdolności pochłaniania wody, wytrzymałości na ściskanie, odporności na ściskanie i mrozoodporności badanych nawierzchni spełniające wymagania normy DIN 18035-5.

W technologii wykonywania dróg warstwę wierzchnią stanowi tegra-PLAZADUR 0/5 i 0/8 (grub. warstwy 3-4 cm), natomiast tegra-BERGOLIT G i T (grub. warstwy 4-6 cm) stosowane są jako warstwy dynamiczne. Na gruncie rodzimym stabilizowanym podbudowę dla ww. nawierzchni według zaleceń producenta stanowią: warstwa filtrująca (grub. 6 cm) i warstwa nośna, np. z tłucznia 2/32 mm (grub. 10-15 cm) – rys. 1. Spadki poprzeczne alejki powinny wynosić około 3%. Warstwy PLAZADUR i BERGOLIT należy przy nakładaniu poleć wodą do wysycenia i po wysuszeniu przewalcować (bez wibrowania), co spowoduje samoklinowanie się poszczególnych frakcji. Osiadanie po walcowaniu wynosi od 0,5 do 1 cm.



Rys. 1. Przekrój nawierzchni tegra (wg zaleceń producenta)

Zastosowanie kolejnych warstw kruszyw o odpowiednich parametrach fizyko-mechanicznych pozwala na uzyskanie nawierzchni o wysokiej odporności na ścieranie i dużej przepuszczalności wodnej, nie wymagającej instalacji systemów odwadniających. Obserwacje zachowania się nawierzchni tegra wykonanej późną jesienią 2008 roku na reprezentacyjnym placu-zieleniu Jasne Błonia w Szczecinie (powierzchnia ok. 20 000 m²) przeprowadzone w maju i czerwcu br. w pełni potwierdziły jej ww. właściwości (fot. 11-14).

Nawierzchnie tłuczniowe oferowane przez firmę tegra są alternatywą dla dominujących w terenach zieleni nawierzchni betonowych (m.in. z płyt lub kostek polbruk) i zdobywają coraz większą popularność na naszym rynku.



Fot. 11. Nawierzchnia PLAZADUR-tegra na Jasnych Błoniach w Szczecinie



Fot. 12. Nawierzchnia PLAZADUR-tegra na Jasnych Błoniach w Szczecinie



Fot. 13. Nawierzchnia PLAZADUR-tegra na Jasnych Błoniach w Szczecinie



Fot. 14. Nawierzchnia PLAZADUR-tegra na Jasnych Błoniach w Szczecinie

6. WNIOSKI

Przeprowadzone badania cech morfologicznych i właściwości fizyko-chemicznych nawierzchni drogowych Tegra: BERGOLIT G (*Baustoffe GmbH – BERGOLIT G 0/16, nach DIN 18035 Teli 5*); BERGOLIT Z (*Baustoffe GmbH – BERGOLIT Z m 0/16, nach DIN 18035 Teli 5*); PLAZADUR 0/8 (*Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/8, PLAZADUR gelbbeige N*); PLAZADUR 0/5 (*Baustoffe GmbH – Wegedeckschicht 0/5, PLAZADUR gelbbeige N*) wykazały, że:

1. Nawierzchnie drogowe BERGOLIT G, PLAZADUR 0/8, PLAZADUR 0/5 wytwarzane są z naturalnych skał: gabra (występuje głównie w BERGOLIT G), granitu, pyłowca, gnejsu i kwarcytu. Natomiast kruszywo BERGOLIT G z materiału mieszanego – naturalne skały i tłućceń ceglany.
2. Skład petrograficzny, kształt ziaren (wydłużony i wrzecionowaty, ale też we frakcjach mniejszych dyskowaty i kulisty, kanciasty lub słabo obtoczony) oraz udział procentowy poszczególnych frakcji w nawierzchniach drogowych tegra powoduje, że jest to materiał po zagęszczeniu zwarty mało podatny na przemieszczanie i rozmywanie. Badania niemieckie wskazują również na spełnienie norm technicznych, którymi powinny się charakteryzować nawierzchnie drogowe.
3. Właściwości fizyczne nawierzchni zależne są od stopnia ich zagęszczenia. Naturalne nawierzchnie BERGOLIT G, PLAZADUR 0/8 i PLAZADUR 0/5 charakteryzują się wyższą gęstością objętościową niż nawierzchnia BERGOLIT Z wytworzona z materiału mieszanego. Natomiast pojemności wodne zależały w znacznym stopniu od udziału frakcji drobniejszych (<1mm) mających lepsze właściwości retencyjne wody.
4. Frakcje mniejsze od 1mm wszystkich analizowanych nawierzchni zawierają niewielką domieszkę materii organicznej poniżej 3% i węgla organicznego poniżej 1%. Charakteryzują się one odczynem zasadowym, przy czym węglan wapnia stwierdzono tylko w nawierzchniach naturalnych BERGOLIT G, PLAZADUR 0/8, PLAZADUR 0/5.
5. Frakcje mniejsze od 1mm są zasobne w makropierwiastki ogólne jak wapń, magnez i potas, w mniejszych ilościach występuje sód, fosfor i azot, natomiast siarki nie stwierdzono. Analizowane frakcje nie były zanieczyszczone metalami ciężkimi Fe, Mn, Pb, Ni, Co, Cu, Zn, Cd, a ich stężenia nie stanowią zagrożenia dla środowiska przyrodniczego.
6. Nawierzchnie drogowe tegra (tłuczniowe, mineralne) są produktem w pełni ekologicznym o wszechstronnym zastosowaniu w różnych terenach zieleni i obiektów sportowych oraz

na obszarach ochrony wód. Dzięki utrzymaniu odpowiedniej technologii wykonywania nawierzchni tłuczniowej przedstawionej przez producenta, zachowuje ona swoje właściwości tj. wytrzymałość na czynniki zewnętrzne (ścieranie, warunki atmosferyczne, mrozoodporność), trwałość i zdolność przepuszczania wody.

LITERATURA

- PIOŚ i IUNG, 1995: Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb – metale ciężkie, siarka i WWA. *Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 41ss.*
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA 2002: W sprawie standardów jakości gleb i standardów jakości ziemi. *Dz.U. nr 165, poz 1359: 10560-10564.*
- Gadomska E., Gadomski K., 2005. Urządzanie i pielęgnacja terenów zieleni, cz. I, wyd. 1, Hortpress Sp. z o.o., Warszawa: 96-97
- Grzelak E., 1995. Kruszywa mineralne, poradnik. COIB, Warszawa.
- Kosmala M., Suski Z., 1994. Materiały budowlane w architekturze krajobrazu. Wydaw. SGGW, Warszawa.