

Elżbieta PILECKA, Magdalena MOSKAL

WYKORZYSTANIE GRUNTÓW ANTROPOGENICZNYCH PRZY ZABEZPIECZANIU NIESTATECZNEGO NASYPU DROGOWEGO

W artykule poruszony został problem gruntów antropogenicznych pochodzących z termicznego przetwarzania odpadów pod kątem ich wykorzystania w budownictwie drogowym. W ramach prowadzonych badań określono podstawowe własności fizyczne oraz własności mechaniczne przedstawionych gruntów antropogenicznych. Norma PN-S-02205:1998 analizowany materiał gruntowy (grupa-popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żużlowe) kwalifikuje jako przydatne do wbudowania w dolne warstwy nasypu poniżej strefy przemarzania, pod warunkiem, że zalegają one w miejscach suchych lub są izolowane od wody. Kolejnym krokiem było modelowanie w programie MIDAS GTS NX przykładowego nasypu drogowego znajdującego się w stanie niestateczności. Otrzymane wyniki pokazują, że własności fizyczno-wytrzymałościowe badanych gruntów antropogenicznych dają możliwości ich wykorzystania przy zabezpieczaniu niestabilnych nasypów drogowych przy prostych warunkach gruntowo-wodnych. Należy pamiętać, że analizowane grunty antropogeniczne powinny zostać poddane również rygorystycznym badaniom ich składu chemicznego. Uzyskane wyniki pozwolą określić możliwości ich wykorzystania w budownictwie drogowym pod kątem ich właściwości wytrzymałościowych.

WSTĘP

Zwiększona generacja odpadów komunalnych wynikająca z intensywnego rozwoju przemysłu oraz wzrastającej populacji na świecie skutkuje pogorszeniem się sytuacji ekologicznej. Od drugiej połowy XX w. coraz bardziej zyskują na wartości metody termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Obecnie w Polsce funkcjonuje sześć takich spalarni (Warszawa, Kraków, Białystok, Bydgoszcz, Konin, Poznań), dwie są w trakcie realizacji (Szczecin, Rzeszów) a trzy nowe obiekty są planowane do wybudowania (Warszawa, Gdańsk, Oświęcim). W wyniku prowadzenia procesu termicznego, uzyskuje się ok 25% odpadów procesowych w stosunku do strumienia wejściowego. Odpady te to żużle, popioły paleniskowe, pyły kotłowe i popioły lotne. Żużel (rys. 1), który nie jest odpadem niebezpiecznym może zostać wykorzystany do celów budowlanych pod warunkiem uzyskania odpowiedniej aprobaty technicznej.



Rys. 1. Próbkę gruntu antropogenicznego poddana badaniom techniczno-wytrzymałościowym.

1. BADANIA TECHNICZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE

Określono podstawowe własności fizyczne oraz własności mechaniczne przedstawionych gruntów antropogenicznych w ramach prowadzonych badań:

- wilgotność naturalna
- analiza granulometryczna
- gęstość objętościowa
- gęstość właściwa
- wskaźnik piaskowy
- bezpośrednie ścinanie.

1.1. Wilgotność naturalna i analiza granulometryczna

Badanie wilgotności naturalnej przeprowadzono na trzech próbkach reprezentatywnych zgodnie z PN-CEN ISO/TS 17892-1 [4]. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 1.

Tab. 1. Oznaczenie wilgotności naturalnej

Oznaczenie	1	2	3
masa naczynka pustego [g]:	10,840	10,840	10,850
masa naczynka z gruntem [g]:	34,230	33,070	33,180
masa naczynka z gruntem po wysuszeniu do stałej masy [g]:	30,800	30,120	30,080
wilgotność próby [%]	17,180	15,300	16,120
wilgotność [%]	16,200		

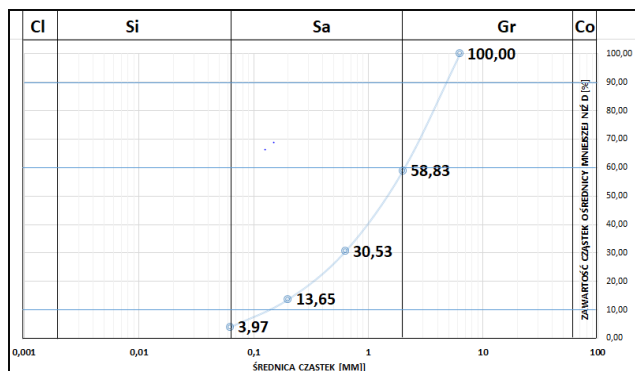
1.2. Analiza granulometryczna

Określenie składu granulometrycznego wykonano zgodnie ze specyfikacją techniczną PN-CEN ISO/TS 17892-4 [7], która dopuszcza przeprowadzenie wyłącznie analizy sitowej jeżeli 90% lub więcej ziaren jest większych od 0,063mm.

Pod względem składu uziarnienia badane kruszywo odpowiada piaskom grubym z dużą domieszką żwiru. Wyniki badania zostały przedstawione w tab. 2 oraz na rys. 2.

Tab. 2. Wyniki analizy sitowej

Data badania:		Nr naczynia:		Masa naczynia z próbą przed [g]		Zawartość [%]
15.03.2018		Z01		371,24		
Wymiar oczek sita [mm]	Masa sita przed [g]	Masa sita z gruntem [g]	Masa sita po [g]	Masa gruntu na sicie [g]	Masa falkcji [g]	
6,3	413,71	566,56	413,71	152,85	371,24	100,00
2	451,20	556,48	451,44	105,04	218,39	58,83
0,63	369,63	432,31	369,64	62,67	113,35	30,53
0,2	317,99	354,00	318,05	35,95	50,68	13,65
0,063	300,67	310,80	300,67	10,13	14,73	3,97
Pojemnik	506,3	510,63	506,03	4,60	4,60	1,24
Suma				371,24		



Rys. 2. Krzywa granulometryczna badanego gruntu

1.3. Gęstość objętościowa i gęstość właściwa

Gęstość objętościową badanego materiału wyznaczono jako stosunek masy próbki do jej objętości wraz z zawartymi w niej porami w stanie naturalnym. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wyniki z badania gęstości objętościowej gruntu

Gęstość objętościowa:		
Oznaczenie	1	2
masa próbki [g]:	14,790	18,880
masa próbki w parafinie [g]:	16,480	20,700
masa próbki w wodzie [g]:	6,850	9,120
temperatura [°]:	20,600	21,900
gęstość objętościowa [g/cm ³]	1,908	1,975
Wartość średnia [g/cm ³]	1,942	

Gęstość właściwą [6] oznaczono na dwóch próbkach w stanie powietrzno-suchym otrzymanych przez wysuszenie w suszarce w 105°C. Ponieważ gęstość cząstek stałych została wyznaczona bez porów, cały badany materiał został zmielony. Wyniki z badania gęstości właściwej szkieletu gruntowego przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Wyniki z badania gęstości właściwej szkieletu gruntowego

Gęstość właściwa:		
Oznaczenie	1	2
masa piknometru [g]:	43,820	43,850
masa piknometru z gruntem [g]:	55,300	55,180
masa gruntu [g]:	11,480	11,330
masa piknometru z gruntem całkowicie wypełnionym płynem kontrolnym [g]	150,880	150,670
masa piknometru z płynem kontrolnym [g]:	144,040	144,000
objętość szkieletu gruntowego [cm ³]:	4,640	4,660
gęstość właściwa płynu kontrolnego [g/cm ³]	1	1
gęstość właściwa [g/cm ³]	2,474	2,431
wartość średnia [g/cm ³]	2,453	

1.4. Wskaźnik piaskowy

Wskaźnik piaskowy wyznaczono zgodnie z normą BN-64/8931-01 [1]. Przesiana przez sito #5mm próbkę materiału z niewielką ilością roztworu flokulacyjnego przeniesiono do cylindra. W celu usunięcia otoczek z grubszych ziaren cylinder z gruntem poddano wstrząsaniu. Przy użyciu dodatkowej ilości roztworu flokulacyjnego, kruszywo zostało przemyte w wyniku czego drobne cząstki przeniosły się do zawiesiny. Po upływie 20min. Wyznacza się wartość wskaźnika piaskowego, która jest wyrażona jako stosunek wysokość osadu do całkowitej wysokości zawiesiny [2].

Wyniki badań wskaźnika piaskowego przedstawiono w tabeli 5.

Tab. 5. Wyniki z badania wskaźnika piaskowego

Wskaźnik piaskowy:		
Oznaczenie	1	2
wysokość osadu na dnie cylindra [cm]:	14,00	14,50
wysokość osadzonego piasku [cm]:	10,60	10,75
wskaźnik piaskowy WP:	75,71	74,14
wartość średnia:	74,93	

Zgodnie z PN-S-02205:1988 [8] grunty charakteryzujące się wskaźnikiem piaskowym WP>35 należy uznać za niewysadzinowe. Na podstawie wartości wskaźnika piaskowego WP dla analizowanego gruntu antropogenicznego (WP=74,93), można stwierdzić, że jest to grunt bardzo dobry do zastosowania jako podłoże nawierzchni drogowych [5].

1.5. Bezpośrednie ścinanie

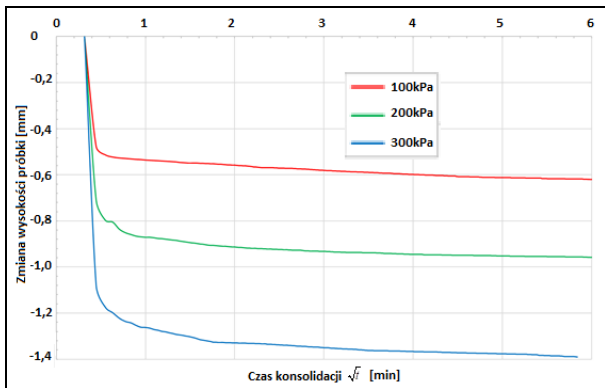
Badania wytrzymałości na ścinanie przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania [10]. Podczas badania próbkę gruntu w formie pryzmy o podstawie kwadratowej poddano obciążeniu normalnemu do płaszczyzny ścinania. Próbka podparta na obwodzie ścina się wzdłuż płaszczyzny poziomej wymuszonej mechanicznie.



Rys. 3. Aparat skrzynekowy Katedry Współdziałania Budowli z Podłożem oraz skrzynka do badania

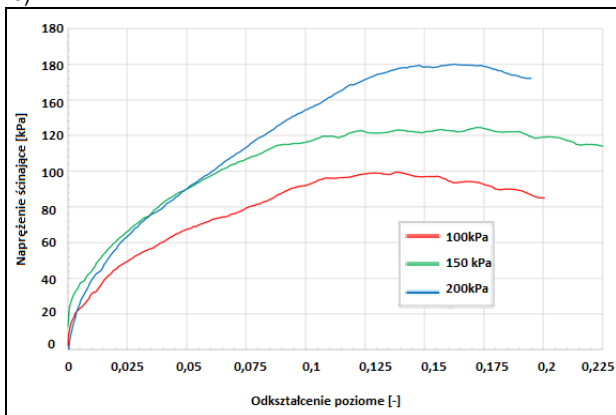
W aparacie skrzynkowym (rys. 3) próbka jest umieszczona w sztywnej skrzynce podzielonej na pół, o przekroju 60x60mm i wysokości 20mm. Ścinanie zostaje zadane poprzez przemieszczenie dwóch połówek aparatu względem siebie [5].

Badaniom poddano trzy próbki analizowanego gruntu antropogenicznego. Każda z nich została skonsolidowana przy trzech różnych nieprężeniach prostopadłych – 100kPa, 150kPa, 200kPa (rys. 4).



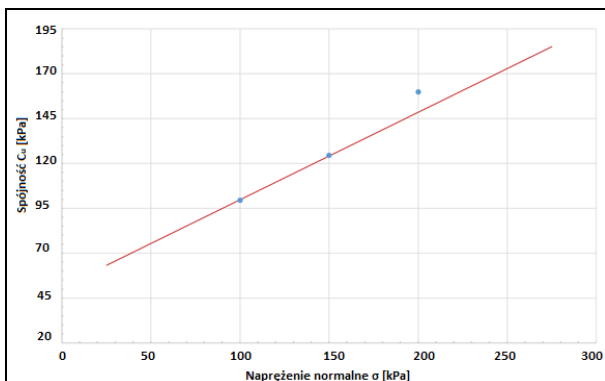
Rys. 4. Wykres zmiany wysokości próbki w czasie (konsolidacja gruntu)

Ścinanie próbek odbywało się przy stałej prędkości (naprężenie kontrolowane). Proces ścinania został zakończony gdy zaobserwowano przekroczenie odkształcenia przy obciążeniu szczytowym (rys. 5).



Rys. 5. Wykres wytrzymałości gruntu na ścinanie

Aby wyznaczyć kąt tarcia wewnętrznego sporządzono wykres zależności wytrzymałości na ścinanie względem składowej normalnej naprężenia (rys. 6).

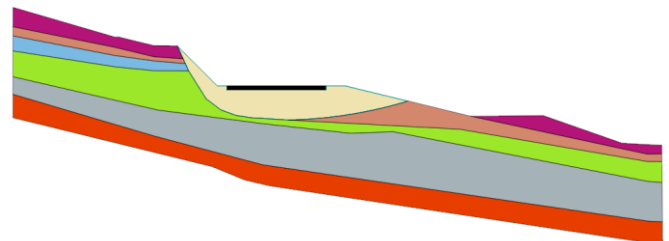


Rys. 6. Wykres zależności wytrzymałości gruntu na ścinanie od składowej normalnej naprężenia

Uzyskane w wyniku badań wartości kąta tarcia wewnętrznego ($\phi_u = 26kPa$) i spójności ($c_u = 51kPa$) można uznać za stosunkowo wysokie.

2. ANALIZA NUMERYCZNA

W celu weryfikacji wyznaczonych parametrów analizowanych odpadów gruntowych w programie MIDAS GTZ NX zamodelowano przykładowy, niestacyczny nasyp drogowy (rys. 7).



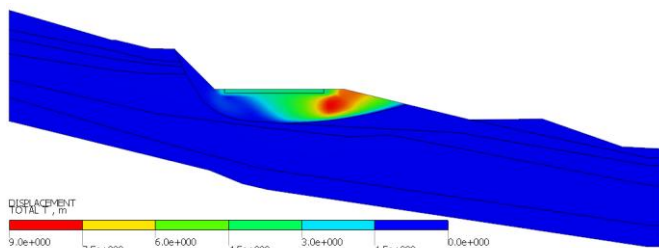
Rys. 7. Model nasypu drogowego

Dane materiałowe poszczególnych warstw gruntowych przedstawiono w tab. 6.

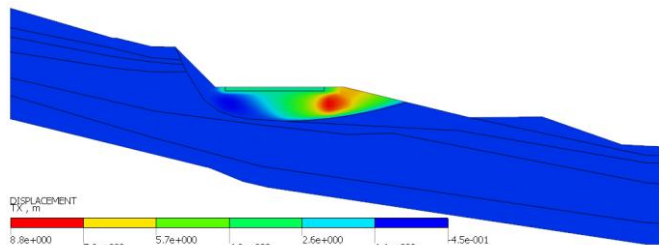
Tab. 6. Parametry geotechniczne warstw w modelu numerycznym

Oznaczenie	Symbol Gruntu	Model materiałowy	Współczynnik Poissona [-]	Wilgotność naturalna [%]	Gęstość objętościowa [t/m ³]	Kohezja [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]	Moduł Young'a [kPa]
■	Jezdnia	Elastic	0.2	-	2.50	-	-	50 000
■	Gπ H KRpc	Mohr-Coulomb	0.3	26.6	1.90	10	7	50 000
■	Gπ H KRpc	Mohr-Coulomb	0.3	21.6	2.10	16	14	29 000
■	Gπz KRpc H	Mohr-Coulomb	0.3	23.4	2.00	16	14	29 000
■	Pg KRpc	Mohr-Coulomb	0.3	13.7	2.15	21	16	37 000
■	It KRi pc	Mohr-Coulomb	0.3	20.1	2.05	60	13	39 000
■	Pg KRpc //It	Mohr-Coulomb	0.3	14.7	2.15	60	13	40 000
■	KW(ii)	Mohr-Coulomb	0.3	21.6	2.05	-	39	190 000
■	Grunt antropogeniczny	Mohr-Coulomb	0.3	16.2	1.94	51	26	50 000

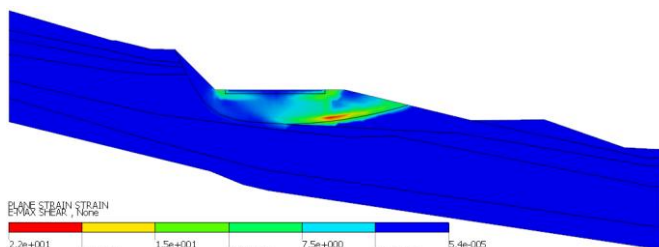
Największe przemieszczenia analizowanej skarpy zlokalizowane są w warstwach nasypowych (rys. 8, rys. 9) i właśnie tutaj pojawia się potencjalna powierzchnia poślizgu (rys. 10).



Rys. 8. Przemieszczenia całkowite [m]



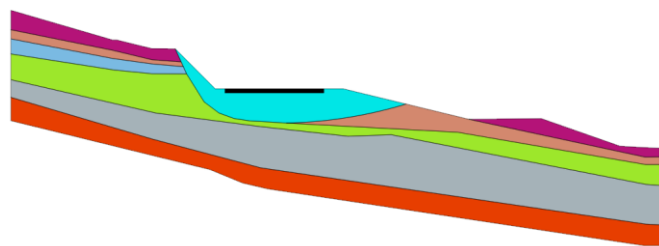
Rys. 9. Przemieszczenia poziome [m]



Rys. 10. Maksymalne odkształcenia całkowite [-]

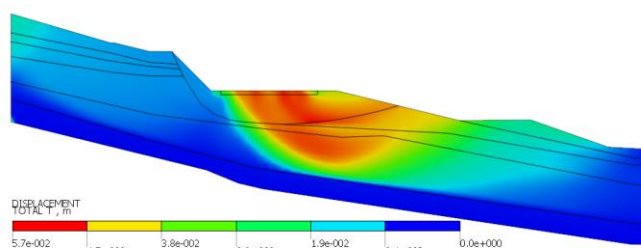
Przeprowadzone wyniki wykazały, że analizowany nasyp drogowy nie jest stateczny ($FoS=1,03$). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [9] analizowana skarpa nie może zostać uznana za stateczną ($FoS < 1.50$) [3].

Warstwy gruntu nasypowego, w których zlokalizowana jest potencjalna powierzchnia poślizgu, zastąpiono analizowanym gruntem antropogenicznym.

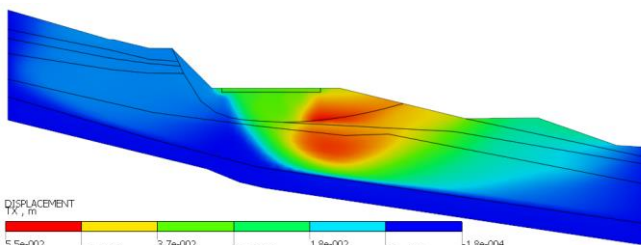


Rys. 11. Model nasypu drogowego po wymianie gruntu nasypowego

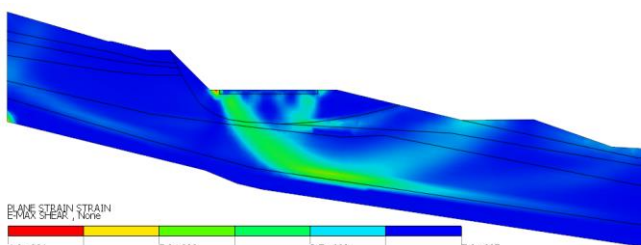
Analiza wykazała, że współczynnik bezpieczeństwa dla skarpy z wbudowanymi gruntami antropogenicznymi wynosi $FoS=3.3$. Wydaje się więc, że przy powyższych założeniach wystąpienie stref osuwiskowych jest mało prawdopodobne. Powyższe, potwierdzają mapy przemieszczeń całkowitych i poziomych (rys. 12, rys. 13) oraz mapa odkształceń całkowitych (rys. 14).



Rys. 12. Przemieszczenia całkowite [m]



Rys. 13. Przemieszczenia poziome [m]



Rys. 14. Maksymalne odkształcenia całkowite [-]

PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników dokonano oceny możliwości wykorzystania badanego kruszywa do budowy nasypów drogowych. Warunki określające przydatność gruntów naturalnych i antropogenicznych zostały określone w normie PN-S-02205:1998. Dotyczą one zarówno parametrów fizycznych materiału jak i mechanicznych.

Norma PN-S-02205:1998 kwalifikuje takie materiały (grupa – popioły lotne i mieszaniny popiołowo–żużłowe) jako przydatne do wbudowania w dolne warstwy nasypu poniżej strefy przemarzania, pod warunkiem, że zalegają one w miejscach suchych lub są izolowane od wody.

Przeprowadzone w artykule rozważania pokazują, że analizowany grunt antropogeniczny po spełnieniu dodatkowych wymagań związanych z badaniami chemicznymi mogą zostać wykorzystanie w budownictwie drogowym.

BIBLIOGRAFIA

1. BN-64/8931-01, Drogi samochodowe, Oznaczanie wskaźnika piaskowego
2. Piech R., Wilczek J., Kraszewski C., Ocena zawartości drobnych cząstek w kruszywach drogowych na podstawie wskaźnika piaskowego, Drogownictwo 2/215, str. 53-56.
3. Pilecka E., Białek M., Manterys T., The influence of geotechnical conditions on the instability of road embankments and methods of protecting them, Technical Transactions. Civil Engineering 3-B/2016.

4. PN-CEN ISO/TS 17892-1, Badania geotechniczne, Badania laboratoryjne gruntów, Część 1: Oznaczanie wilgotności, Specyfikacja techniczna PKN.
5. PN-CEN ISO/TS 17892-10, Badania geotechniczne, Badania laboratoryjne gruntów, Część 10: Badania w aparacie bezpośrodkowego ścinania, Specyfikacja techniczna PKN.
6. PN-CEN ISO/TS 17892-3, Badania geotechniczne, Badania laboratoryjne gruntów, Część 3: Oznaczanie gęstości właściwej - Metoda piknometru, Specyfikacja techniczna PKN.
7. PN-CEN ISO/TS 17892-4, Badania geotechniczne, Badania laboratoryjne gruntów, Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego, Specyfikacja techniczna PKN.
8. PN-S-02205: 1998, Drogi samochodowe, Roboty ziemne, Wymagania i badania, Polska Norma PKN.
9. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. 1999 nr 43 poz. 430).
10. Witun Z., *Zarys geotechniki*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.

Use of anthropogenic soils in securing unstable road embankment

In the article the problem of anthropogenic soils from thermal treatment of waste in terms of their use in road construction is discussed. As part of the research, the basic physical and mechanical properties of the anthropogenic soils were determined. PN-S-02205: 1998, the analyzed ground material (fly ash and slag mixture) qualifies as useful for embedding into the lower layers of the embankment below the freezing zone, provided they are in dry places or are insulated from water. The next step was to model an exemplary, unstable road embankment in the MIDAS GTS NX. The results point out that the strength and physical properties of the anthropogenic soils may be used to secure unstable road embankments with simple soil and water conditions. It should be remembered that analysed anthropogenic soils should also be subjected to rigorous testing for their chemical composition. The obtained results will allow us to determine the possibilities of their use in road construction in terms of their strength properties.

Autorzy:

dr hab. inż. **Elżbieta Pilecka**, prof. PK – Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Współdziałania Budowli z Podłożem.

mgr. inż. **Magdalena Moskał** – Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Współdziałania Budowli z Podłożem.

JEL: R42 DOI: 10.24136/atest.2018.065

Data zgłoszenia: 2018.05.21 Data akceptacji: 2018.06.15