

# Wpływ wilgotności na wytrzymałość na ścinanie wybranych gruntów spoistych

## Influence of moisture content of cohesive soils on their shear strength



**Tymoteusz Zydrón**

Dr inż.

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,  
Katedra Inżynierii Wodnej i  
Geotechniki

t.zydron@ur.krakow.pl



**Małgorzata  
Wojciechowska-  
Dymańska**

Mgr inż.

absolwentka Uniwersytetu  
Rolniczego w Krakowie



**Andrzej T. Gruchot**

Dr inż.

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,  
Katedra Inżynierii Wodnej i  
Geotechniki

rmgrucho@cyf-kr.edu.pl



**Tomasz Zaleski**

Dr hab. inż.

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,  
Katedra Gleboznawstwa i  
Ochrony Gleb

t.zaleski@ur.krakow.pl

**Streszczenie:** Celem pracy było określenie wpływu wilgotności na ich parametry wytrzymałości na ścinanie gruntów spoistych o różnej spoistości. Próbki formowano w cylindrze aparatu Proctora przy wilgotności równej optymalnej oraz większej i mniejszej od niej, a następnie je wycinano o wymiarach 6 x 6 x 1,8 cm odpowiadających skrzynce aparatu bezpośredniego ścinania. Badania przeprowadzono przy prędkości ścinania 1,0 mm.min<sup>-1</sup> i czasie konsolidacji 12 h. Dodatkowo przeprowadzono badania przy prędkości 0,05 mm.min<sup>-1</sup> z zawodnieniem płaszczyzny ścięcia w trakcie konsolidacji i ścinania. Wyniki badań wykazały, że najwyższe wartości kąta tarcia wewnętrznego uzyskano przy wilgotności optymalnej lub mniejszej od optymalnej badanego gruntu, a wzrost wilgotności spowodował zmniejszenie jego wartości. Natomiast najwyższe wartości spójności uzyskano przy wilgotności optymalnej. Porównanie wyników badań próbek formowanych przy wilgotności optymalnej, ścinanych przy różnych prędkościach wykazało, że niższa prędkość ścinania i zawodnienie powierzchni ścięcia próbki wpływa w największym stopniu na zmniejszenie spójności.

**Słowa kluczowe:** Grunty spoiste; Wilgotność; Wytrzymałość na ścinanie

**Abstract:** Influence of moisture content of two cohesive soils on their shear strength was the purpose of the tests. The shear strength tests were carried out in a standard direct shear apparatus of dimensions of the box 6 x 6 x 1,8 cm. Each sample of assumed moisture content was preliminary compacted at Proctor apparatus, then was cut using a square cutter and to set into the shear box. Each series of samples were tested at four values of moisture content: equal, lower and higher than optimum moisture content. One series of samples, sheared at moisture content higher than optimum moisture content, was during consolidation and shearing the shearbox was filled with the water to the level corresponding to shearing plane. Main tests were done using shearing rate equal to 1,0 mm.min<sup>-1</sup> and time of consolidation was at least 12 hours. Additional tests were done using shearing rate equal to 0,05 mm.min<sup>-1</sup>. Test results revealed that the most beneficial values of shear strength were obtained at optimum moisture content or lower than optimum moisture content. It stated that the increase of moisture content cause decrease of angle of internal friction and the highest values of cohesion was obtained at optimum moisture content. Comparison of test results obtained for series of samples sheared at optimum moisture content revealed that saturation of soil sample and low shearing rate cause very significant reduction of obtained values of cohesion.

**Keywords:** Cohesive soils; Moisture content; Shear strength

Stosowanie gruntów w budownictwie ziemnym jako materiału konstrukcyjnego wymaga znajomości ich właściwości geotechnicznych, a w szczególności parametrów wytrzymałości na ścinanie. Wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności zależą w

istotnym stopniu od wilgotności i porowatości gruntu. Dlatego chcąc uzyskać możliwie jak najlepsze parametry wytrzymałościowe wymaga się, aby w konstrukcjach ziemnych grunty były zagęszczane przy wilgotności zbliżonej do optymalnej [12], [7].

Typowe prace związane z określeniem parametrów wytrzymałości na ścinanie polegają na badaniach gruntów o wilgotności naturalnej lub optymalnej. Zwykle też próbki ścinane są bez zawodnienia i przy dużych prędkościach ścinania. Natomiast norma

[10] zaleca prowadzenie badań przy zawodnieniu próbek w trakcie konsolidacji i ścinania przy prędkości oznaczanej z konsolidacji próbek.

Celem pracy było określenie wpływu wilgotności na wytrzymałość na ścinanie wybranych gruntów spoistych o różnej spoistości. Dodatkowo określono wpływ zawodnienia powierzchni ścięcia i prędkości ścinania na parametry wytrzymałości na ścinanie.

## Zakres i metodyka badań

Badania przeprowadzono dla dwóch gruntów spoistych o różnej zawartości frakcji ilowej. Były to grunty: mało-spoisty – pył piaszczysty z powierzchniowej strefy osuwiska drogowego na obwodnicy Bochni (woj. małopolskie) oraz średnio spoisty – pył ilasto piaszczysty z północno-zachodniej części Krakowa, stanowiący podłoże drogi lokalnej.

Podstawowe właściwości fizyczne oraz parametry zagęszczalności badanych gruntów oznaczono metodami standardowymi. Skład uziarnienia określono metodą sitową dla  $d \geq 0,063$  mm oraz areometryczną dla  $d < 0,063$  mm [9]. Granicę plastyczności oznaczono metodą walczkowania, a granicę płynności metodą Casagrande'a [11]. Wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu oznaczono w aparacie Proctora w cylindrze o obję-

tości  $1,0 \text{ dm}^3$  przy energii zagęszczania  $0,59 \text{ J} \times \text{cm}^{-3}$  [6].

Wykonano także oznaczenie charakterystyki retencyjnej badanych gruntów metodą płyt porowatych w komorach ciśnieniowych w zakresie potencjałów pF od 1 do 4,2 (odpowiadających wysokości podciśnienia od 1 do 15484 cm). Do oznaczenia wykorzystano próbki gruntu zagęszczone w aparacie Proctora standardową energią zagęszczania przy wilgotności o około 1% większej od optymalnej. Przed badaniem zagęszczone próbki nasycono wodą przez kilka dni, a po umieszczeniu w komorze ciśnieniowej poddawano osuszaniu zwiększając stopniowo wartości podciśnienia (ciśnienia ssania). Przy każdej wartości ciśnienia badanie prowadzono do momentu stabilizacji masy próbek, którą następnie przeliczano na wilgotność objętościową gruntu. Uzyskane z badań krzywe retencyjne opisano równaniem van Genuchtena [18]:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot (u_a - u_w))^n]^{(1-1/n)}} \quad (1)$$

gdzie:

$\theta_r$  – rezydualna wilgotność objętościowa,  $\alpha$ ,  $n$  – stałe równania,  $\theta$  – wilgotność objętościowa,  $\theta_s$  – wilgotność objętościowa gruntu nasyconego,  $u_a$  – ciśnienie powietrza w porach,  $u_w$  – ciśnienie wody w porach.

Oznaczenie parametrów wytrzymałości na ścinanie przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania w skrzynce o wymiarach w przekroju poprzecznym  $6 \times 6$  cm i wysokości próbki 1,8 cm. Próbki do badania formowano w aparacie Proctora w cylindrze o objętości  $1,0 \text{ dcm}^3$  przy energii zagęszczania  $0,59 \text{ J} \times \text{cm}^{-3}$ , a następnie wycinano odpowiednią formę i umieszczano w skrzynce aparatu. Badania wykonano na próbkach zagęszczanych przy wilgotności optymalnej oraz większej i mniejszej od niej o około 3% w przypadku gruntu z Bochni oraz mniejszej o 1% i większej o blisko 3% dla gruntu z Krakowa. W przypadku próbek zagęszczanych przy wilgotności większej od optymalnej badania wykonano bez i z zawodnieniem powierzchni ścięcia. Prędkość ścinania wynosiła  $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  i umożliwiła szybkie ścięcie próbek gruntu, co teoretycznie ogranicza możliwość wzbudzenia ciśnienia wody w porach gruntu [17]. Przeprowadzono również oznaczenie parametrów wytrzymałości na ścinanie przy prędkości ścięcia  $0,05 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  dla próbek formowanych przy wilgotności optymalnej. W tych badaniach konsolidację i ścięcie próbek wykonano przy ich zawodnieniu. Ten typ badania zgodnie z [10] umożliwia uzyskanie efektywnych parametrów wytrzymałości na ścinanie gruntu. Próbki konsolidowano obciążeniem wynoszącym 100 kPa przez 12 godzin, a ścinano przy naprężeniach 25, 50, 75, 100, 125 oraz 150 kPa do uzyskania 15% względnego poziomego odkształcenia próbki.

Analizę uzyskanych wyników parametrów wytrzymałości na ścinanie odniesiono do stopnia plastyczności badanych gruntów, co umożliwiło ich porównanie z danymi literaturowymi. Wykonano również analizę porównawczą wyników badań uzyskanych z obydwu prędkości ścinania co pozwoliło określić wpływu sił ssania na wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie. Dla potrzeb tej analizy wykorzystano uproszczony model wytrzymałości na ścinanie gruntu nienasyconego zaproponowany przez Vanapalli i in. [16]:

Tab. 1. Właściwości fizyczne badanych gruntów

Parametry - Parameters	Pochodzenie gruntu	
	Bochnia	Kraków
Zawartość frakcji [%]:		
- piaskowa (0,063-2 mm),	30,2	44,4
- pyłowa (0,002-0,063 mm),	53,1	50,9
- ilowa (<0,002 mm).	16,7	4,7
Nazwa gruntu według PN-EN ISO 14688-2:2004	sacSi (pył ilasto-piaszczysty)	saSi (pył piaszczysty)
Nazwa gruntu według PN-B-02480:1986	G (głina)	Πp pył piaszczysty
Wilgotność optymalna [%]	16,5	13,1
Wilgotność optymalna objętościowa [-]	0,292	0,238
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]	1,77	1,82
Porowatość przy maksymalnym zagęszczeniu [-]	0,332	0,310
Granica plastyczności [%]	17,1	14,6
Granica płynności [%]	34,0	20,3
Wskaźnik plastyczności [%]	16,9	6,14

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u_a) \cdot \tan \phi' + (u_a - u_w) \cdot \Theta^\kappa \cdot \tan \phi' \quad (2)$$

gdzie:

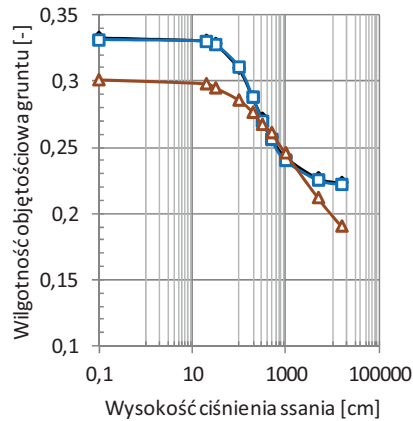
$\phi'$  – efektywny kąt tarcia wewnętrzny,  $c'$  – efektywna spójność gruntu,  $\sigma_n$  – składowa normalna,  $\kappa$  – parametr dopasowania równania,  $\Theta$  – stopień nasycenia gruntu ( $\theta/\theta_s - \theta$  – wilgotność objętościowa gruntu,  $\theta_s$  – wilgotność objętościowa gruntu nasyconego),  $u_a$ ,  $u_w$  – jak we wzorze (1).

## Podstawowe właściwości fizyczne badanych gruntów

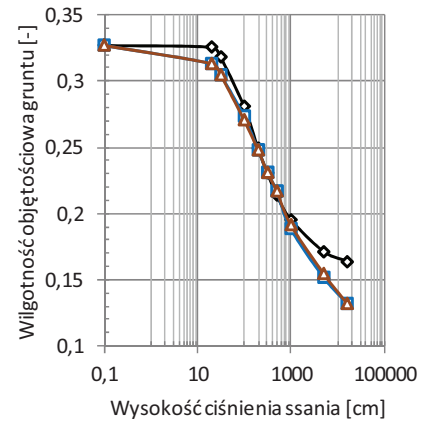
W tabeli 1 przedstawiono podstawowe właściwości geotechniczne badanych gruntów. Grunt z Bochni sklasyfikowano jako pył ilasto-piaszczysty, natomiast z Krakowa jako pył piaszczysty [8]. W obydwu gruntach dominującą była frakcja pyłowa, której było ponad 50%. Natomiast grunty te różniły się znacznie zawartością frakcji piaskowej – w gruncie z Krakowa było jej 1,5-krotnie więcej w stosunku do gruntu z Bochni, który z kolei charakteryzował się ponad trzykrotnie większą zawartością frakcji iltowej. Różnice w zawartości frakcji iltowej spowodowały, że grunt z Bochni cechował się większymi wartościami granic konsystencji, a jego wskaźnik plastyczności był blisko o 11% większy niż gruntu z Krakowa. Przedmiotowe grunty charakteryzowały się dobrą zagęszczalnością z punktu widzenia ich przydatności do celów budownictwa ziemnego [12]. Większą wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu oraz mniejszą wilgotność optymalną uzyskano dla pyłu piaszczystego. Otrzymane wartości wilgotności optymalnej wskazują, że najlepszą zagęszczalność badane grunty posiadają w stanie zwartym odpowiadającym wartości stopnia plastyczności  $I_L = -0,05$  w przypadku gruntu z Bochni oraz  $I_L = -0,35$  dla gruntu z Krakowa.

Na rysunku 1 przedstawiono krzywe retencyjne obydwu gruntów. Wartości parametrów równania van Genuchtena wynosiły dla pyłu ilasto-piaszczy-

a) saclSi (Bochnia)



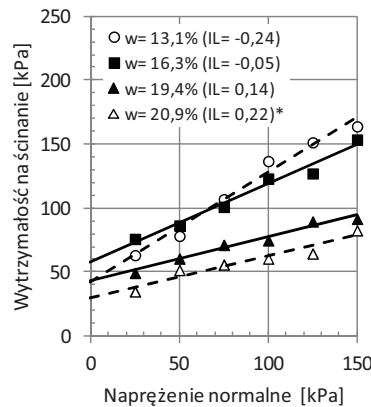
b) saSi (Kraków)



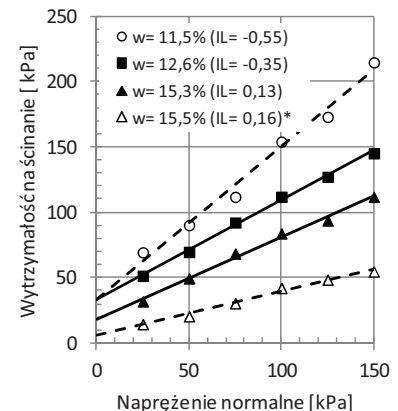
—◇— próbka 1 —□— próbka 2 —△— próbka 3

1. Krzywe retencyjne badanych gruntów

a) saclSi (Bochnia)



b) saSi (Kraków)



2. Wytrzymałość na ścinanie badanych gruntów uzyskanej przy różnej wilgotności zagęszczania próbek i prędkości ścinania 1,0 mm·min<sup>-1</sup>

Objaśnienie: \*próbki zagęszczane przy wilgotności większej od optymalnej i ścinane z nawodnieniem powierzchni ścinania

stego  $a = 0,02342 \text{ m}^{-1}$  oraz  $n = 1,11137$ , a dla pyłu piaszczystego -  $a = 0,02307 \text{ m}^{-1}$  oraz  $n = 1,19034$ . Stwierdzono, że wartości parametru  $a$  dla obydwu gruntów były podobne i zbliżone do wartości podawanych w pracy Lu i Griffiths [2004] dla gruntów piaszczystych, natomiast wartości parametru  $n$  były w zakresie dla gruntów iltowych [3]. Otrzymana charakterystyka retencyjna wskazuje, że przy wilgotności optymalnej wysokość ciśnienia ssania w przypadku pyłu ilasto-piaszczystego wynosiła 173 cm, a dla pyłu piaszczystego 261 cm.

## Wyniki badań i ich analiza

Wzrost wilgotności zagęszczanych próbek o 6% w przypadku pyłu ilasto-piaszczystego spowodował zmiany stopnia plastyczności w zakresie od

-0,24 do 0,14, przy zmianach gęstości objętościowej szkieletu od 1,68 do 1,77 g·cm<sup>-3</sup> (rys. 3a). Natomiast dla pyłu piaszczystego wzrost wilgotności o 4% spowodował zmiany stopnia plastyczności w zakresie od -0,55 do 0,16 i gęstości objętościowej szkieletu w zakresie nie przekraczającym 0,02 g·cm<sup>-3</sup>. W przypadku obydwu gruntów największe ich zagęszczenie uzyskano przy wilgotności optymalnej.

Na rysunkach 2-3 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ścinanie uzyskane przy prędkości ścinania 1,0 mm·min<sup>-1</sup>. Stwierdzono zmniejszenie się wartości wytrzymałości na ścinanie obydwu gruntów wraz ze wzrostem ich stopnia plastyczności. Szczególnie wyraźne zmiany wytrzymałości na ścinanie uzyskano dla pyłu piaszczystego, co prawdopodobnie

było związane z jego niską plastycznością. Dla pyłu ilasto-piaszczystego wartości wytrzymałości na ścinanie uzyskane dla próbek przy wilgotności mniejszej i równej optymalnej można uznać za zbliżone. Natomiast w przypadku pyłu piaszczystego największe wartości wytrzymałości na ścinanie otrzymano dla próbek o wilgotności mniejszej od optymalnej.

Należy zauważyć, że zawodnienie próbek zagęszczanych przy wilgotności większej od optymalnej, nieznacznie zwiększyło wilgotność końcową próbek, ale w istotny sposób zmniejszyło wytrzymałość na ścinanie badanych gruntów. Wpływ ten był wyraźniejszy w przypadku pyłu piaszczystego.

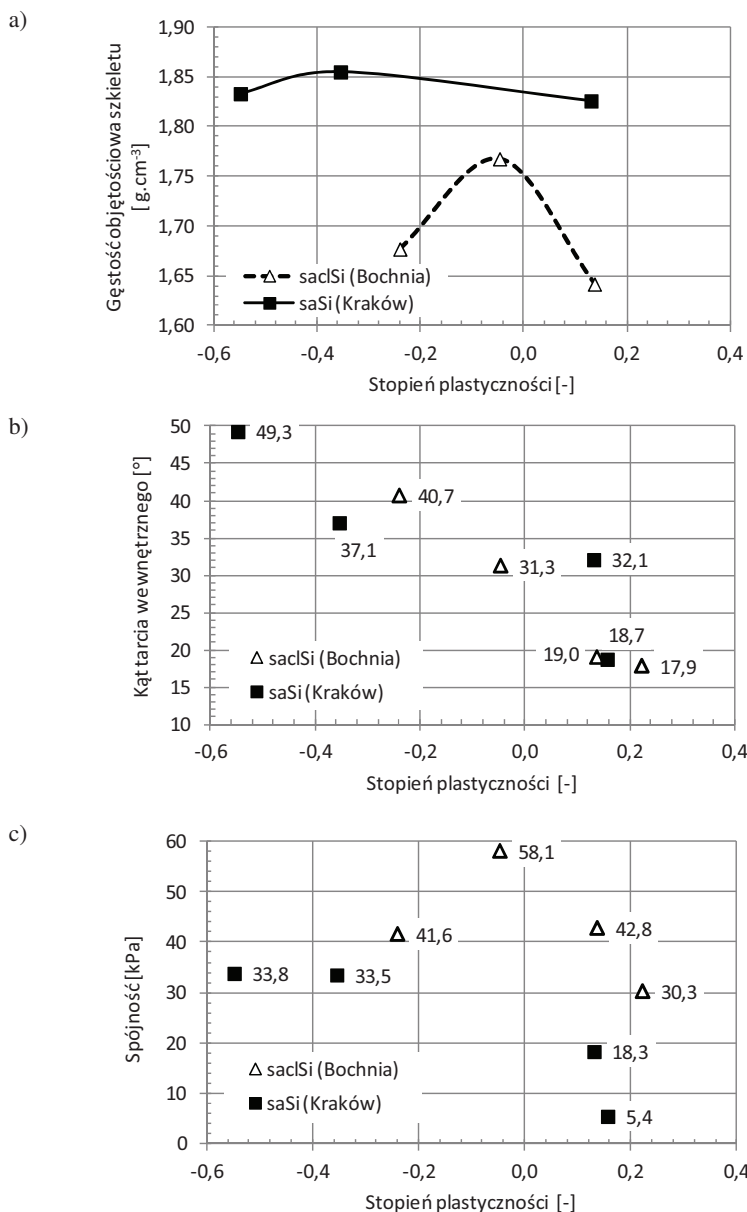
Wysoka wytrzymałość na ścinanie znalazła odzwierciedlenie w wartościach kąta tarcia wewnętrznego i spójności badanych gruntów (rys. 3b, 3c). Stwierdzono, że wzrost wilgotności spowodował zmniejszenie wartości kąta tarcia wewnętrznego, co jak wskazuje Pisarczyk [5] jest charakterystyczne dla naturalnych gruntów mineralnych. Zauważano, że uzyskane wartości kąta tarcia wewnętrznego badanych gruntów były większe niż podawane przez Wiłuna [19] i Pisarczyka [5]. Natomiast wartości tego parametru nie różnią się znacząco od podawanych między innymi w pracy Steckiewicz i Zabielskiej-Adamskiej [14] czy też w literaturze zagranicznej [4], [1] dotyczących badań gruntów nienasyconych.

Porównując wartości kąta tarcia wewnętrznego uzyskane dla obydwu gruntów, stwierdzono, że wyższe jego wartości uzyskano dla pyłu piaszczystego, co było związane z większą zawartością frakcji piaskowej.

W przypadku spójności pyłu ilasto-piaszczystego najwyższe jej wartości uzyskano przy wilgotności optymalnej, co jest zależnością powszechnie spotykaną dla naturalnych gruntów mineralnych i wynikającą z ich maksymalnego zagęszczenia uzyskiwanego przy tej wilgotności [5]. Natomiast dla pyłu piaszczystego wartości spójności uzyskane przy wilgotności optymalnej i mniejszej od niej były podobne.

Analiza porównawcza parametrów wytrzymałości na ścinanie bez i z zawodnieniem powierzchni ścienia próbek uzyskanych przy prędkości ścinania  $1,0 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  pozwoliła stwierdzić istotny wpływ zawodnienia na uzyskane ich wartości. W przypadku pyłu ilasto-piaszczystego wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności z badań z zawodnieniem były odpowiednio o 42 i 30% względnie mniejsze niż wartości tych parametrów z badań bez zawodnienia. Z kolei dla pyłu piaszczystego wpływ zawodnienia na uzyskane wartości kąta tarcia wewnętrznego był nieznaczny, ale wyraźnie zaznaczył się w przypadku spójności, której wartość uzyskana dla próbek bez zawodnienia była ponad 3-krotnie większe niż z badań z zawodnieniem próbek.

Przedstawione powyżej wyniki parametrów wytrzymałości na ścinanie bez zawodnienia płaszczyzny ścienia nie mogą być traktowane jako uniwersalne. Wyniki te odnoszą się do badań próbek gruntów nienasyconych, w których pory gruntowe są częściowo wypełnione powietrzem. Tak więc uwzględniając one również występowanie w gruncie zjawiska ssania, które wpływa na zwiększenie wytrzymałości na ścinanie gruntu. Dlatego wykonano badania wytrzymałości na ścinanie zgodnie z PKN-CEN ISO/TS 17892-10:2009 [10], która zaleca aby proces konsolidacji i ścinania prowadzony był w warunkach zawodnienia gruntu, a prędkość ścinania powinna być określona w oparciu przebieg procesu



3. Zależność gęstości objętościowej szkieletu (a), kąta tarcia wewnętrznego (b) i spójności (c) od stopnia plastyczności badanych gruntów

konsolidacji. Zabiegi te mają na celu odwzorowanie warunków ścinania odpowiadających występowaniu naprężeń efektywnych.

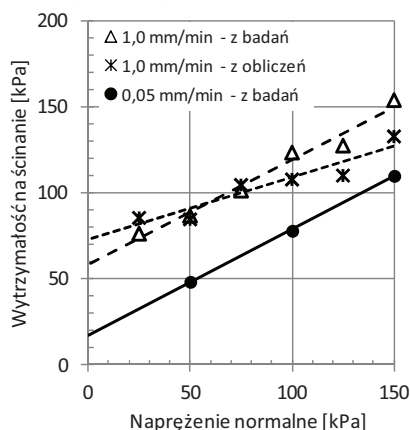
Badania przeprowadzone przy prędkości ścinania  $0,05 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  (rys. 4) wykazały, że w przypadku pyłu ilasto-piaszczystego wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności wyniosły odpowiednio  $31,6^\circ$  i  $17,2 \text{ kPa}$ . Z kolei w przypadku pyłu piaszczystego wartość kąta tarcia wewnętrznego wyniosła  $34,8^\circ$ , a spójność  $2,0 \text{ kPa}$ .

Wartości kąta tarcia wewnętrznego uzyskane dla obydwu gruntów były znacząco większe w stosunku do wartości tego parametru podawanego dla gruntów mało i średnio-spoistych przez Wiłuna [19], niemniej mieszczą się w one zakresie wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego podawanych dla pyłów o niskiej i średniej plastyczności przez Smoltczyka [13]. Natomiast kąt tarcia wewnętrznego pyłu ilasto-piaszczystego był podobny do efektywnej wartości tego parametru otrzymanej przez Krysiaka i in. [2] dla ilów warwowych o zbliżonym uziarnieniu do badanego pyłu ilasto-piaszczystego. Analizując uzyskane wartości spójności obydwu gruntów stwierdzono, że były one mniejsze niż podaje Wiłun [19], ale można je uznać za zbliżone do wartości spójności podanych w pracach Sun i Xu [15] oraz Wysokińskiego [20] dla gruntów o podobnym uziarnieniu.

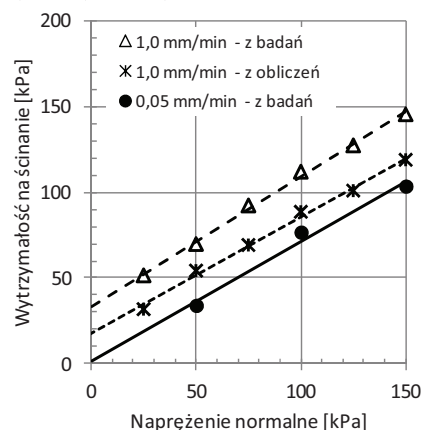
Porównanie wyników z badań próbek zagęszczanych przy wilgotności optymalnej i ścinanych przy prędkości  $0,05$  i  $1,0 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  (rys. 4) wskazuje, że stosowanie mniejszej prędkości ścinania oraz zawodnienia próbek wpływa w niewielkim stopniu na kąt tarcia wewnętrznego, natomiast ma bardzo istotny wpływ na spójność. Z punktu widzenia oceny stateczności konstrukcji ziemnych bardziej bezpieczne wydają się parametry otrzymane z badań przy mniejszej prędkości ścinania.

Korzystając z zależności (1) i (2) określono teoretyczną wartość wytrzymałości na ścinanie próbek ścinanych przy wilgotności optymalnej

a) saSi (Bochnia)



b) saSi (Kraków)



4. Linia wytrzymałości na ścinanie badanych gruntów uzyskanej z badań i obliczeń przy wilgotności optymalnej i obydwu prędkościach ścinania

i prędkości  $1,0 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Stwierdzono, że teoretyczne wartości wytrzymałości na ścinanie były zaniżone w stosunku do wartości otrzymanych z badań, co może być związane z zastosowaniem przybliżonej metody szacowania wartości ciśnienia ssania występującego w badanym gruncie. Należy też zwrócić uwagę, że przedstawiona powyżej charakterystyka retencyjna uwzględnia wyniki badań uzyskane dla próbek formowanych przy wilgotności większej od optymalnej, a więc o nieco większej porowatości niż próbki formowane przy wilgotności optymalnej. Rozbieżności pomiędzy wynikami badań a obliczeń mogą także wynikać z zastosowania dużej prędkości ścinania, która może sprzyjać zjawisku klinowania się ziaren grubszych, co wykazane zostało w innej pracy autorów [21].

## Wnioski

1. Badane grunty cechowały się zróżnicowanymi wartościami parametrów wytrzymałości na ścinanie, które w znaczącym stopniu zależały od wilgotności.
2. Najkorzystniejsze wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie uzyskano się przy wilgotności optymalnej lub nieco mniejszej od optymalnej. Wyniki badań wykazały, że wraz ze wzrostem wilgotności gruntu zmniejszyły się wartości kąta tarcia wewnętrznego, a w przypadku spójności

największe jej wartości uzyskano przy wilgotności optymalnej.

3. Wykazano, że zawodnienie gruntów w trakcie konsolidacji i ścinania wpływa na zmniejszenie ich wytrzymałości na ścinanie, co powoduje przede wszystkim zmniejszenie wartości spójności.
4. Otrzymane wyniki badań wskazują, że badane grunty charakteryzują wysokimi wartościami kąta tarcia wewnętrznego i spójności przy wilgotności optymalnej, co pozwala stwierdzić ich przydatność do wznoszenia nasypów ziemnych. Jak wskazują przeprowadzone badania, dla zachowania wysokiej wytrzymałości na ścinanie badanych gruntów powinny być one chronione przed dostępem wód infiltracyjnych i gruntowych. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Bonsch C., Lempp C. Shear Strength Affected by Suction Tension in Unsaturated Fine Grained Soils? [W:] Schanz T. (Ed.) Experimental Unsaturated Soil Mechanics. Springer, 145-152, 2007.
- [2] Krysiak S., Sahajdak K., Skutnik Z., Zajdel J. Dobór parametrów podłoża do projektowania zabezpieczenia wykopu na podstawie wyników pomiaru sił w kotwach. Acta Scientiarum Polonorum Architectura, 15(3), 55-70, 2016.

- [3] Lu N., Griffiths D.V. Profiles of steady-state suction stress in unsaturated soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130, 10, 1063-1076, 2004.
- [4] Matsushi Y., Matsukura Y. Cohesion of unsaturated residual soils as a function of volumetric water content. *Bull Eng Geol Env* 65: 449-455, 2006.
- [5] Pisarczyk S. Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, 2004.
- [6] PN-B-04481:1988. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. Polski Komitet Norm Miar i Jakości, Warszawa
- [7] PN-B-12095:1997. Urządzenia wodno-melioracyjne. Nasypy. Wymagania i badania przy odbiorze. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [8] PN-EN ISO 14688-2:2004. Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikacja gruntów. Część 2. Zasady klasyfikowania. Polski Komitet Normalizacji, Warszawa.
- [9] PKN-CEN ISO/TS 17892:2009. Badania geotechniczne, Badania laboratoryjne gruntów, Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa,
- [10] PKN-CEN ISO/TS 17892-10:2009. Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 10. Badanie w aparacie bezpośrednio ścinania. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [11] PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009. Badania geotechniczne, Badania laboratoryjne gruntów, Część 12: Oznaczanie granic Atterberga, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [12] PN-S-02205: 1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania. PKN, Warszawa.
- [13] Smolczyk U. Geotechnical Engineering Handbook. Volume 1: Fundamentals. Ernst & Sohn, 2002.
- [14] Steckiewicz R., Zabielska-Adamska K. Określenie wytrzymałości gruntów w polowym aparacie bezpośrednio ścinania. XI Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, 25-27 czerwca 1997, Gdańsk, 151-154. 1997.
- [15] Sun S., Xu H. Determining the shear strength of unsaturated silt. [W:] Schanz T. (Ed.) *Experimental Unsaturated Soil Mechanics*. Springer, 195-206, 2007.
- [16] Vanapalli S.K., Fredlund D.G., Pufahl D.E., Clifton A.W. Model for prediction of shear strength with respect to soil suction. *Canadian Geotechnical Journal*, 33: 379-392, 1996.
- [17] Vanapalli S.K., Lane J.J. A simple technique for determining the shear strength of fine-grained unsaturated soils using the conventional direct shear apparatus. *Proceedings of the Second Canadian Specialty Conference on Computer Applications in Geotechnique*, Winnipeg, 245-253, 2002.
- [18] van Genuchten M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society American Journal*, 44, 892-898, 1980.
- [19] Wiłun Z. *Zarys geotechniki*. WKiŁ, 2003.
- [20] Wysokiński L. Ocena stateczności skarp i zboczy. *Instytut Techniki Budowlanej, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki*, Nr 424/2006. 36.
- [21] Zydroń T., Kogut M., Gruchot A. Wpływ prędkości ścinania na kształtowanie się parametrów wytrzymałościowych gruntów z obszaru karpackiego. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 35 (2), 619-626, 2011.

## Park&Ride w Lublinie. Samochód na parking, kierowca do autobusu

Artur Jurkowski, Kurier Lubelski, 7.03.2017

Przy m.in. Żeglarskiej, Drodze Męczenników Majdanka i Kraśnickiej powstaną miejsca Park&Ride, czyli „parkuj i jedź”. 241,3 tys. samochodów było na koniec ubiegłego roku zarejestrowanych w Lublinie. Do tego dochodzą jeszcze pojazdy spoza miasta, które codziennie do niego wjeżdżają. Ratusz chce ograniczyć liczbę prywatnych aut na lubelskich ulicach. Ma do tego zachęcać system „parkuj i jedź” (Park&Ride), w ramach którego na obrzeżach miasta powstaną buforowe parkingi, gdzie będzie można zostawić auto i przesiąść się do komunikacji zbiorowej. Urzędnicy zaczęli właśnie szukać firmy, która je zaprojektuje (...).

## Sosnowiec i GDDKiA wspólnie przebudują S1. Będzie nowy węzeł

Anna Dziedzic, Dziennik Zachodni, 9.03.2017

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad wspólnie z miastem Sosnowiec przebudują fragment trasy ekspresowej S1 w tym mieście. Powstanie nowy węzeł na S1 - Klimontów. Sosnowiec i GDDKiA wspólnie przebudują S1. Zarówno miastu jak i Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Katowicach bardzo zależy na przebudowie tej trasy. Zabiorą się więc do tego wspólnie. - Tak się szczęśliwie składa, że obie strony w tym samym czasie przystępują do projektowania tych inwestycji. My zajmiemy się przebudową i modernizacją drogi ekspresowej, a miasto wybuduje węzeł, na którym mu zależy - mówi Marek Niełacny, zastępca dyrektora katowickiego oddziału GDDKiA. - Chcemy by nasze projekty się uzupełniały, a nie wykluczały, stąd nasza współpraca - dodaje Niełacny. Zadanie GDDKiA to dokładny remont i modernizacja ok. 4,9 km trasy S1 również z częścią węzła. Miasto ma zaprojektować i wybudować węzeł Klimontów (...).

## Żelazny most z Ozimka trafi na listę Pomników Historii

Anna Grudzka, nto.pl, 8.03.2017

Żelazny Most Wiszący w Ozimku zostanie wpisany na listę Pomników Historii. Gminę właśnie poinformowała o tym kancelaria prezydenta. - Czekaliśmy na ten moment cztery lata. Wszystko zaczęło się w 2013 roku. Wtedy, tuż po renowacji mostu, pojawił się pomysł by ubiegać się o wpisanie go na listę Pomników Historii. Zaczęliśmy od przygotowania potrzebnej dokumentacji, którą potem przekazaliśmy wojewódzkiemu konserwatorowi zabytków – wspomina Barbara Durka-lec, sekretarz gminy Ozimek. Stamtąd wniosek trafił do Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego, gdzie utknął aż do teraz (...). Most w Ozimku został wybudowany w 1827 roku. To najstarszy w kontynentalnej Europie żelazny most wiszący. Ten dowód kunsztu ozimeckich hutników i mistrza Carla Schotteliusa został już dwa razy doceniony, m.in. przez międzynarodową Footbridge Award 2014. - Teraz będziemy zabiegali o to by wpisać nasz most na listę dziedzictwa UNESCO - mówi Tomasz Juros ze stowarzyszenia Dolina Małej Panwi.