

## BADANIA PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH GRUNTÓW Z OKOLIC GDOWA

### SHEAR STRENGTH TESTS OF SOILS FROM NEIGHBORHOODS OF GDÓW

Tymoteusz Zydróż

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ścinanie gruntów stanowiących pokrywy stokowe zbocza Góry Sypkiej k. Gdowa (Pogórze Wiśnickie), gdzie w okresie maj–czerwiec 2010 r. powstało kilkanaście form osuwiskowych. Badane grunty stanowiły utwory żwirowo-gliniaste, tworzące zasadniczy materiał koluwiów osuwiskowych, grunty piaszczysto-pylaste, obecne w strefie odkłucia, oraz pyły i łupki ilaste. Zasadnicze badania wytrzymałościowe przeprowadzono metodą bezpośredniego ścinania w skrzynce o przekroju  $60 \times 60$  mm na próbkach zarówno nawodnionych, jak i nienawodnionych oraz częściowo w aparacie trójosiowym. Wyniki badań próbek nawodnionych wykazały, że utwory żwirowo-gliniaste oraz pylasto-piaszczyste charakteryzują się wysokimi wartościami kąta tarcia wewnętrznego oraz zróżnicowanymi wartościami spójności, przy czym znacznie mniejsze wartości tego parametru uzyskano dla gruntów piaszczysto-pylastych. Z kolei badania próbek gruntów piasku i pyłu w stanie niepełnego nasycenia wykazały, że wraz ze zmniejszaniem wilgotności następuje wyraźny zwiększenie ich wytrzymałości na ścinanie, przy czym przyrost ten został spowodowany zwiększeniem spójności pozornej gruntów, a zmiany wartości kąta tarcia wewnętrznego były praktycznie pomijalne. Porównawcze badania metodą bezpośredniego ścinania oraz trójosiowego ściskania dały w przypadku pyłu bardzo zbliżone wartości parametrów charakteryzujących jego wytrzymałość na ścinanie. Kilkukrotne serie ścięć łupków ilastych spowodowały ok. 24–36% redukcję jego wytrzymałości maksymalnej, a uzyskany bezpośrednio z badań resztkowy kąt tarcia wewnętrznego wyniósł  $18^\circ$ .

**Abstract.** Shear strength parameters of slope cover soils from Sypka Mts (Wiśnickie Foothills), where in May and June of 2010 were activated massmovements, are presented in the paper. Mainly loamy gravels (colluviums material) and silty sands (slipping surface soil) were the main soils of slope cover, but were also locally observed silt and shales.

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Tymoteusz Zydróż, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: t.zydron@ur.krakow.pl.

Shear strength tests were carried out in direct shear apparatus of dimensions of the box  $60 \times 60$  mm and some tests of silt were done in triaxial apparatus. Tests were carried out for saturated as well as unsaturated soil samples. Shear strength test results of saturated soils revealed that loamy gravels and silty sands had great values of angle of internal friction and varied values of cohesion, where smaller ones were obtained for silty sands. In turn, test results of unsaturated sand and silt revealed that decrease of moisture content caused significant increase of shear strength of soils, but the increase was mainly effect of changes of apparent cohesion. Comparison of direct shear and triaxial test results of silt gave very similar values of angle of internal friction and cohesion. The multiple shearing of shale caused decrease of the initial shear strength by 24–36% and value of residual angle of internal friction calculated directly on test results was equal to  $18^\circ$ .

**Słowa kluczowe:** wytrzymałość na ścinanie, Pogórze Wiśnickie, pyły, piaski pylaste

**Key words:** shear strength, Wiśnickie Foothills, silts, silty sands

## WSTĘP

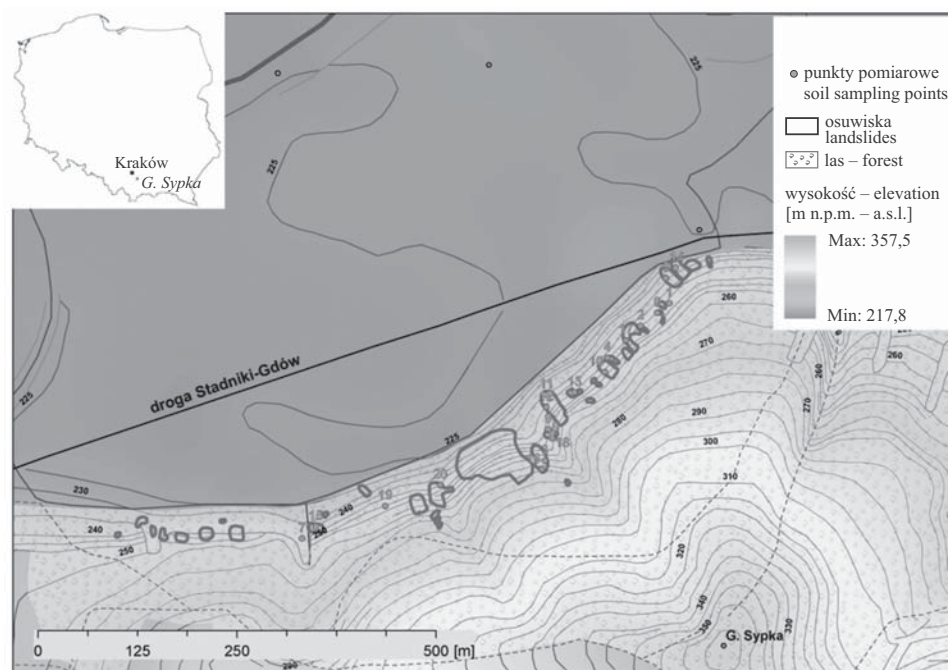
Jednym z istotnych problemów dotyczących zagospodarowania przestrzennego terenów na obszarze południowej Polski są ruchy masowe, które występują zwykle w okresach nasilenia opadów atmosferycznych, powodując znaczne szkody gospodarcze i społeczne. Jak zauważa Margielewski [2008], wśród współcześnie występujących ruchów masowych na terenie Karpat Zewnętrznych przeważają płytkie osuwiska, które powstają w utworach pokrywowych lub skalno-zwietrzelinowych. Wśród podstawowych parametrów geotechnicznych gruntów wpływających na stateczność zboczy wymienia się przede wszystkim parametry charakteryzujące wytrzymałość na ścinanie (kąta tarcia wewnętrznego i spójność). Parametry te stanowią podstawowe dane geotechniczne wykorzystywane do określania warunków posadowienia obiektów inżynierskich czy też analiz stateczności skarp i wykopów.

Przedmiotem pracy były badania wytrzymałości na ścinanie gruntów zalegających na zboczach Góry Sypkiej, zlokalizowanej w okolicach Gdowa. Badania te zostały przeprowadzone w aspekcie oceny uwarunkowań stateczności zboczy, na których w okresie maja i czerwca 2010 r. wystąpiły liczne ruchy masowe.

## CHARAKTERYSTYKA BADANYCH GRUNTÓW

Góra Sypka (363 m n.p.m., współ. geograf.  $49^\circ 53' 17,8N$ ,  $20^\circ 10' 59,39E$ ) pod względem geograficznym zlokalizowana jest na Pogórzu Wiśnickim, granicząc od północy z Podgórzem Bocheńskim obejmującym swym zasięgiem dolinę rzeki Raby (ryc. 1). Według Szczegółowej mapy geologicznej Polski [Burtan 1954] podstawowe utwory zbocza stanowią warstwy chodenickie miocenu, które występują w północno-wschodniej części zbocza i obejmują swym zasięgiem przede wszystkim dolne partie zbocza, gdzie w okresie 2010 r. powstały osuwiska. Z kolei w górnych partiach zbocza góry występują utwory plejstoceny, które stanowią żwiru zlodowacenia środkowopolskiego oraz gliny lessowate. W trakcie badań terenowych stwierdzono, że dominujące utwory pokrywowe zbocza stanowią grunty żwirowo-gliniaste tworzące zasadniczy materiał koluwiów

osuwiskowych oraz grunty piaszczysto-pyłaste występujące w strefach odkłucia dużej części osuwisk. W obrębie kilku osuwisk stwierdzono ponadto, że pod warstwą piasków występuje kilkucentymetrowej miąższości warstwa łupków ilastych, a na jednym z osuwisk zasadniczy materiał występujący w obszarze skarpy głównej stanowiły pyły.



Ryc. 1. Lokalizacja obiektu badań: 1–20 – lokalizacja miejsc poboru próbek do badań  
Fig. 1. Localization of study area: 1–20 – localization of soil sampling points

## METODYKA PRACY

W ramach pracy przeprowadzone zostały terenowe i laboratoryjne badania parametrów geotechnicznych gruntów zalegających na zboczu. Prace terenowe obejmowały rozpoznawcze wkopy badawcze w sąsiedztwie osuwisk oraz w obrębie strefy odkłucia, w których określano gęstość objętościową i wilgotność gruntów oraz pobrano próbki do badań laboratoryjnych (ryc. 1). W ramach badań laboratoryjnych oznaczono skład granulometryczny gruntów, granice konsystencji oraz ich wytrzymałość na ścinanie. Zasadniczą część badań wytrzymałościowych przeprowadzono metodą bezpośredniego ścinania na próbkach o wymiarach  $60 \times 60 \times 18$  mm o uziarnieniu drobniejszym od 5 mm. W przypadku gruntów żwirowo-gliniastych odsiew nadziarna wynosił maksymalnie 25%, a w przypadku gruntów piaszczysto-pyłastych praktycznie nie występował. Ścinanie próbek prowadzono, stosując prędkość w zakresie od 0,05 do  $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Badania przy niskiej prędkości ścinania przeprowadzono na próbkach zanurzonych w wodzie, które wstępnie konsolidowano do uzyskania stabilizacji osiadań. Prędkość

ścianania ustalano w zależności od przebiegu procesu konsolidacji, a po jej zakończeniu ścinano, stosując naprężenia normalne z zakresu 25–150 kPa. Badania te miały na celu określenie wytrzymałości gruntu przy pełnym nasyceniu porów gruntowych wodą, a określone w ten sposób parametry wytrzymałościowe interpretowano zgodnie z PKN-CEN ISO/TS 17892-10: 2009 jako efektywne. Z kolei badania przy większej prędkości ścinania ( $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) miały na celu określenie wytrzymałości na ścinanie próbek nienasyconych, a wysoka prędkość ścinania miała, zgodnie z zaleceniami Vanapalli i Lane'a [2002], ograniczyć możliwość wzbudzenia ciśnienia porowego. Czas wstępnej konsolidacji próbek wynosił 30 min, a wielkość naprężeń konsolidacyjnych oraz normalnych mieściła się w zakresie 25–100 kPa. W każdej z serii badań kryterium ścicia odpowiadało maksymalnej wartości oporu na ścinanie w zakresie odkształceń względnych próbki wynoszącym 15%.

W celach porównawczych przeprowadzono również badania trójosiowe, które wykonano dla pyłu na próbkach o średnicy 50 mm i wysokości 100 mm. Badania te przeprowadzono zgodnie z BS 1377: 1990, stosując stopniowe nasycanie próbek gruntów z wykorzystaniem ciśnienia wyrównawczego do momentu uzyskania stopnia Skempton'a co najmniej 0,95, a następnie konsolidowane do uzyskania założonej wartości ciśnienia efektywnego i ścinano w warunkach bez odpływu (test CIU). Jako kryteria zniszczenia próbki gruntu przyjmowano maksymalną wartość dewiatora naprężeń lub maksymalną wartość ciśnienia porowego.

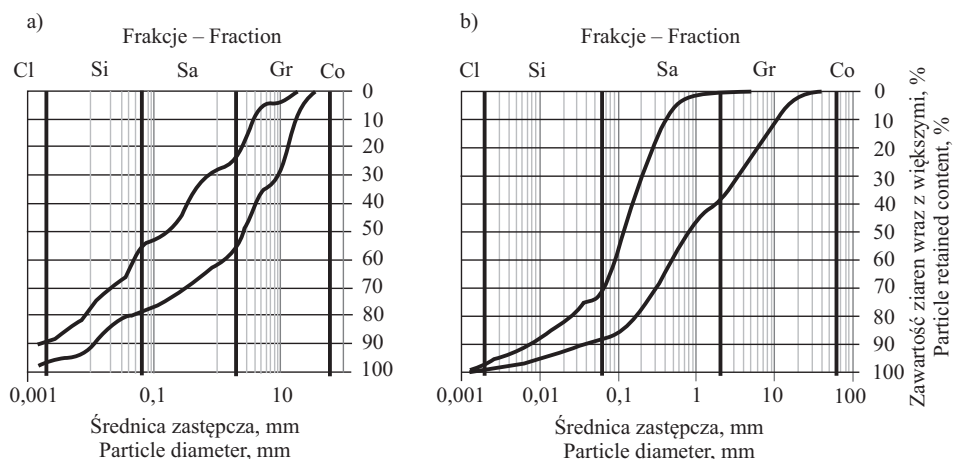
Z kolei w przypadku łupka wykonano trzykrotne ścinanie tych samych próbek celem określenia wytrzymałości resztkowej. Wstępnie próbki były konsolidowane przez około dobę, a następnie ścinane przy prędkości  $0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  do uzyskania względnego odkształcenia 20%. Po ścieniu skrzynka aparatu była cofana do pozycji początkowej, a następnie próbki ścinano ponownie.

W przypadku każdej serii badań parametry charakteryzujące wytrzymałość gruntów na ścinanie obliczane były metodą najmniejszych kwadratów.

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na ryc. 2 zestawiono uziarnienie gruntów żwirowo-gliniastych oraz piaszczysto-pylastych. Według nomenklatury geotechnicznej [PN-EN ISO 14688-2: 2006] uziarnienie utworów żwirowo-gliniastych (ryc. 2a) odpowiada żwirom pylasto-piaszczystym oraz gruntom ilasto-żwirowo-piaszczystym. Z kolei według PN-86/B-02480 utwory te można sklasyfikować jako żwiry i pospółki gliniaste. Utwory piaszczysto-pylaste (ryc. 2b) sklasyfikowano jako piaski, piaski pylaste oraz piaski ze żwirem. Podstawowe właściwości geotechniczne badanych utworów przedstawione są zbiorczo w tabeli 1.

Na ryc. 3 zestawiono wyniki badań uzyskanych dla utworów gliniasto-żwirowych i piaszczysto-pylastych poddanych ściciu w stanie nasycenia, które pobrano z różnych z kilkunastu miejsc zlokalizowanych w dolnej części zbocza Góry Sypkiej (por. ryc. 1). Ogólnie stwierdzono, że bardziej zróżnicowanymi wartościami wytrzymałości na ścinanie charakteryzują się utwory żwirowo-gliniaste, co wynika w dużym stopniu ze zróżnicowania ich składu granulometrycznego (por. ryc. 2). Uzyskane wartości kąta tarcia wewnętrznego tych gruntów mieściły się w zakresie  $28,3\text{--}37,1^\circ$ , a wartości spójności wynosiły od 2,5 do 16,1 kPa. Dla porównania wartości kąta tarcia wewnętrznego dla żwirów i pospółek



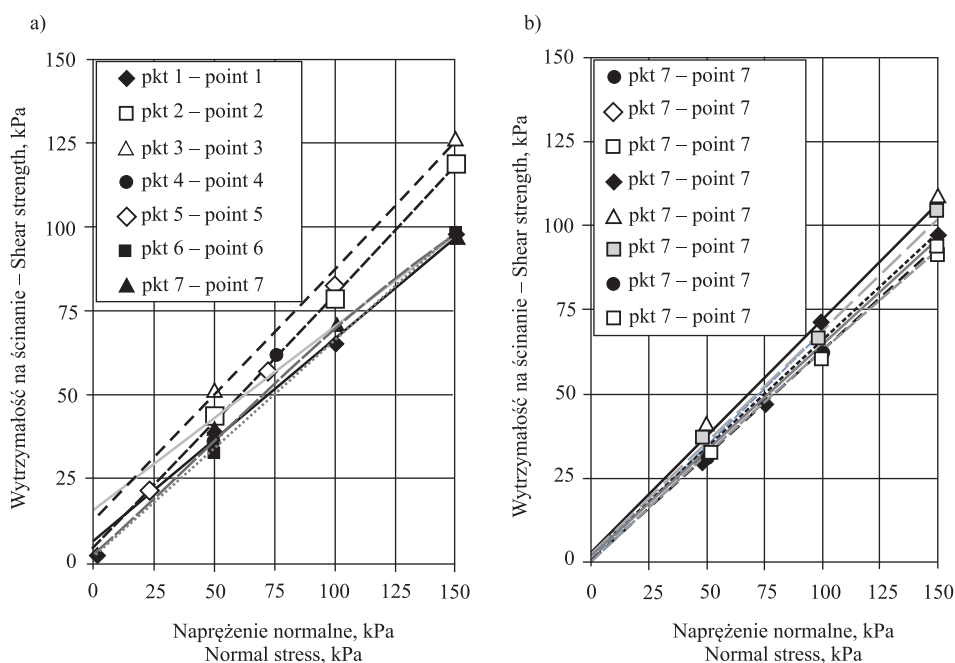
Ryc. 2. Zakres uziarnienia próbek gruntów żwirowo-glinastych stanowiących koluwia osuwiskowe (a) oraz utworów piaszczysto-pyłastych pobranych ze strefy oderwania (b)

Fig. 2. Ranges of grain-size distribution of loamy gravels of colluvium (a) and silty sands from slipping surface (b)

Tabela 2. Właściwości geotechniczne gruntów ze zboczy Góry Sypkiej  
Table 2. Geotechnical parameters of soils from slope of Sypka Hill

Parametr – Parameters	Utory gliniasto- -żwirowe Loamy gravels	Utory piaszczysto- -pyłaste Silty sands	Łupki Shales	Pył Silt
Zawartość frakcji, %: Fraction content, %:				
– kamienista – cobbles (> 63 mm)	–	–	–	–
– żwirowa – gravel (63–2 mm)	26,7–56,0	0,3–38,8	–	–
– piaskowa – sand (2–0,63 mm)	11,7–38,9	47,7–80,	5,9–22,7	4,5
– pyłowa – silt (0,0630,002 mm)	14,8–41,2	810,3–31,5	58,1–63,1	84,5
– ilowa – clay (< 0,002 mm)	3,0–11,0	1,2–2,9	19,2–30,9	11,0
Nazwa wg PN-EN ISO 14688-2: 2006 Type according to PN-EN ISO 14688-2: 2006	sasiGr, sagrel S	Sa, siSa, grSa	sasiCl, siCl	clSi
Granice konsystencji Consistency limits:				
– plastyczności – plastic limit	12,0–19,6	–	24,0–26,3	19,6
– płynności – liquid limit	16,5–38,0	–	54,3–64,8	29,6
Gęstość objętościowa, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ Bulk density, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1960–2090	1560–1930	–	2050–2090
Wilgotność naturalna, % Natural moisture content, %	12,4–27,3	8,4–22,3	26,0–28,4	19,9–21,5
Gęstość objętościowa szkieletu, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ Dry density, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1540–1790	1490–1770	–	1710–1720

gliniastych z okolic Beskidu Małego [Zydróż i in. 2010], uzyskane dla próbek zanurzonych w wodzie, mieściły się zasadniczo w przedziale  $34,2\text{--}34,6^\circ$ , a wartości spójności wynosiły  $0\text{--}7$  kPa. Z kolei wyniki badań gliny pylastej, zawierającej okruchy skalne z okolic Gorlic [Thiel 1989], ścinanej przy podobnej prędkości wykazały, że w zależności od jej początkowej wilgotności wartości kąta tarcia wewnętrznego mieszczą się w przedziale  $24,5\text{--}29,6^\circ$ , a wartości spójności  $13,8\text{--}15,7$  kPa. Porównania te wskazują, że w przypadku gruntów żwirowo-gliniastych obecność grubych frakcji ma istotny wpływ na uzyskiwanie dużych wartości kąta tarcia wewnętrznego, natomiast na wartości spójności tych gruntów zarówno wpływa zawartość frakcji drobnych, jak i może ona częściowo wynikać z efektu klinowania się ziaren występującego w trakcie obrotu i ich przesuwu w strefie ścięcia.

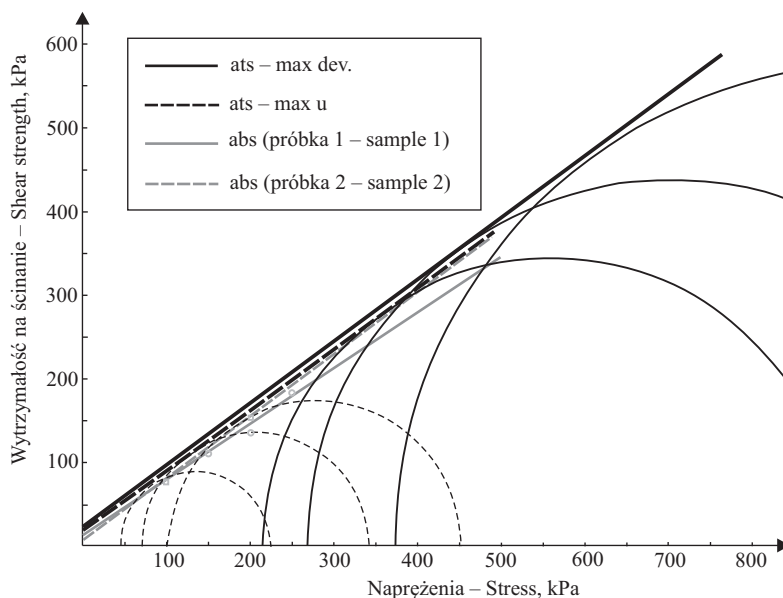


Ryc. 3. Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie utworów gliniasto-żwirowych (a) i piaszczysto-pylastych (b) – próbki nasycone

Fig. 3. Shear strength tests results obtained for saturated samples of loamy-gravel (a) and silty-sand soils (b)

Badania nasyconych próbek gruntów piaszczysto-pylastych ścinanych wykazały znacznie mniejszy zakres wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie w porównaniu z gruntami żwirowo-gliniastymi. Otrzymane wartości kąta tarcia wewnętrznego mieściły się w zakresie od  $30,9$  do  $34,6^\circ$ , a wartości spójności wyniosły  $1,1\text{--}3,3$  kPa. Według informacji podanych w PN-81/B-03020 w przypadku tego typu gruntów należy przyjmować, że ich spójność jest zerowa. Z kolei Wiłun [2003] podaje, że piaski pylaste mogą jednak wykazywać się nieznaczną spójnością ( $1\text{--}3$  kPa). Podobne informacje przedstawione są również w pracy Smolczyka [2002].

W ramach pracy przeprowadzono porównawcze badania wytrzymałości pyłu (punkt pomiarowy 16 – por. ryc. 1) metodą bezpośredniego ścinania i trójosiowego ściskania. Według badań bezpośredniego ścinania uzyskane wartości kąta tarcia wewnętrznego dla próbek nawodnionych zawierały się w przedziale od  $33,6$  do  $36,5^\circ$ , a wartości spójności wyniosły  $3,3$ – $5,9$  kPa. Z kolei wyniki badań w aparacie trójosiowego ściskania dla kryterium odpowiadającego maksymalnej wartości dewiatora naprężeń dały wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego i spójności odpowiednio  $36,3^\circ$  oraz  $9,7$  kPa. W przypadku kryterium odpowiadającego maksymalnej wartości ciśnienia porowego wartości parametrów wytrzymałościowych wyniosły odpowiednio  $36,3^\circ$  i  $7,1$  kPa. Z kolei porównując linie wytrzymałości na ścinanie (ryc. 4) otrzymane z obu metod, można stwierdzić, że w niskim zakresie naprężeń wpływ metody badań na wartości oporu na ścinanie był nieznaczny. Podawane w pracy Wysokińskiego [2006] wartości kąta tarcia wewnętrznego dla tego typu gruntów wynoszą zwykle  $25^\circ$ , a wartości spójności można przyjmować z zakresu  $2,5$ – $5$  kPa. Z kolei Smolczyk [2002] dla pyłów o małej plastyczności podaje wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego w zakresie od  $25$  do  $32^\circ$ , a efektywna spójność stanowi iloczyn naprężeń pionowych ( $0,003$ – $0,01 \sigma_v$ ), co oznacza, że przy naprężeniu normalnym równym  $150$  kPa może ona wynosić  $1,5$  kPa.



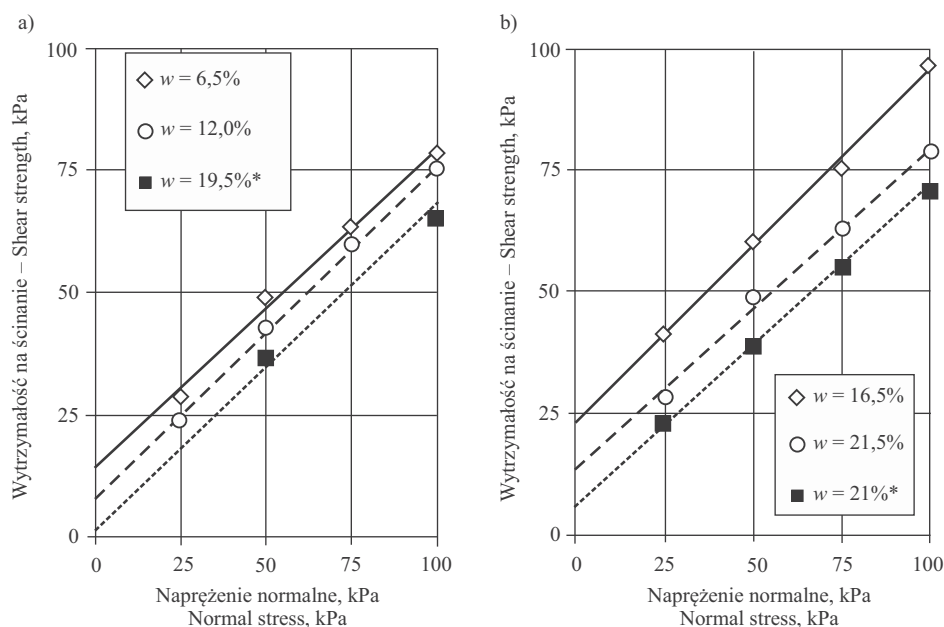
Ryc. 4. Porównanie wytrzymałości na ścinanie dla pyłu z badań w aparacie bezpośredniego ścinania i trójosiowego ściskania.

Fig. 4. Comparison of shear strength results of silt determined using direct shear box and triaxial apparatus.

Objaśnienia – Explanation: ats – aparat trójosiowego ściskania – triaxial apparatus, abs – aparat bezpośredniego ścinania – direct shear box test apparatus, max dev. – kryterium maksymalnej wartości dewiatora naprężeń – failure criteria, maximum value of deviatoric stress, max – kryterium maksymalnej wartości ciśnienia porowego – failure criteria, maximum value of pore water pressure



Obserwowany od kilkunastu lat rozwój geologii inżynierskiej w zakresie badań gruntów nienasyconych powoduje, że coraz powszechniej zwraca się uwagę na wpływ sił ciśnienia ssania na wytrzymałość gruntu na ścinanie. Dlatego też w ramach badań wykonano kilka serii ścięć próbek pyłu i piasku (wg starej nomenklatury piasku pylistego) w stanie niepełnego nasycenia. Wyniki tych badań zilustrowano na ryc. 5 oraz zestawiono zbiorczo w tabeli 2. Ogólnie można zwrócić uwagę, że im mniejsza była wartość wilgotności gruntu, tym większe uzyskano wartości wytrzymałości na ścinanie. Zauważalne jest, że otrzymane linie wytrzymałości na ścinanie zarówno pyłu, jak i piasku, są do siebie prawie równoległe, co oznacza, że wzrost oporu na ścinanie jest zasadniczo spowodowany przyrostem tzw. spójności pozornej (por. tab. 2), związanej z działaniem sił ciśnienia ssania. Wyraźnie większe wartości przyrostu wytrzymałości na ścinanie uzyskano dla pyłu, co prawdopodobnie wynika z większej zawartości frakcji drobnych odpowiedzialnych za występowanie ciśnienia ssania w gruntach. Wyniki badań uzyskane dla piasku wykazały, że jego spójność przy wilgotności 6,5% wyniosła ponad 14 kPa, co może wydać się dyskusyjne w świetle klasycznej teorii wytrzymałościowej, gdzie spójność tego typu gruntów dla potrzeb projektowych zwykle przyjmowana jest jako równa zero [PN-81/B-03020]. Z kolei zalecenia niektórych norm [Wiłun 2003] podają, że w zależności od porowatości, do obliczeń projektowych wartości spójności dla piasków pylistych można przyjmować nawet rzędu 8 kPa. Wyniki pracy Schnellmanna i in. [2013], uzyskane dla gruntu podobnego pod względem uziarnienia do badanych w niniejszej pracy, pokazują nawet, że piaski mogą osiągać wartości spójności pozornej dochodzące do ponad 30 kPa.



Rys. 5. Wytrzymałość na ścinanie piasku (a) i pyłu (b) w zależności od ich wilgotności

Fig. 5. Shear strength of sand (a) and silt (b) vs. moisture content

Objaśnienia – Explanation: \* – próbki nawodnione – saturated samples

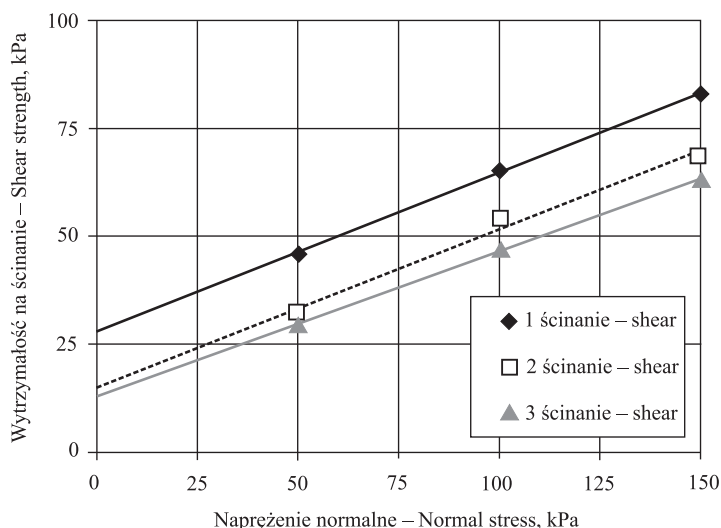


Tabela 2. Porównanie wytrzymałości na ścinanie gruntów w stanie niepełnego nasycenia  
 Table 2. Shear strength of unsaturated soils

Rodzaj gruntu Type of soil	Wilgotność Moisture content %	Parametry wytrzymałości na ścinanie Shear strength parameters:	
		Kąt tarcia wewnętrznego, ° Angle of internal friction, °	Spójność – Cohesion kPa
Piasek – Sand	19,5 (próbki nawodnione – saturated samples)	33,8	1,7
	12,0	34,4	8,0
	6,5	33,1	14,4
Pył – Silt	21 (próbki nawodnione – saturated samples)	33,6	5,9
	21,5	33,3	13,6
	16,5	36,0	23,0

Badania terenowe wykazały, że w przypadku kilku osuwisk pod warstwą utworów piaszczysto-pyłowych występują niewielkiej miąższości łupki ilaste (punkty pomiarowe 17–20). Utwory tego typu są powszechnie spotykane na obszarze karpackim i tworzą często strefy poślizgu, zwłaszcza w obrębie głębokich aktywnych bądź okresowo aktywnych osuwisk strukturalnych. Utwory te zwykle przy niskich wartościach wilgotności charakteryzują się wysoką wytrzymałością, która zmniejsza się znacząco przy wzroście ich wilgotności oraz po naruszeniu ich struktury. Jak zauważają Borecka i in. [2006], wpływ naruszenia struktury gruntów na wytrzymałość gruntów na ścinanie jest w analizach stateczności często pomijany. Badania przeprowadzone przy wilgotności naturalnej łupków wynoszącej 28% (ryc. 6) wykazały, że wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności uzyskane przy maksymalnej wytrzymałości gruntu na ścinanie wynoszą odpowiednio 20,3° i 30,0 kPa, co jest w przypadku wartości kąta tarcia wewnętrznego zgodne z zakresem wartości tego parametru dla ilów o wysokiej plastyczności według Smolczyka [2002]. Z kolei Wysokiński [2006] podaje nieco niższe wartości kąta tarcia wewnętrznego, natomiast wartości spójności mieszczą w zakresie 17,5–35 kPa. Wyniki badań zwartych i twaroplastycznych ilów ze zboczy wyrobiska Kopalni „Belchatów” o podobnych wartościach wskaźnika plastyczności do badanych w niniejszej pracy wykazały, że ich spójność może wynosić nawet ponad 200 kPa. Dla porównania wyniki badań łupków ilastych i ilasto-marglistych z obszaru karpackiego [Thiel 1995] wykazały, że ich maksymalne wartości kąta tarcia wewnętrznego wynoszą od 13 do 32°, a wartości spójności kształtują się w przedziale od 3 do 120 kPa, wynosząc przeważnie ponad 30 kPa. Kolejne dwie serie ścinań próbek łupka spowodowały wyraźne zmniejszenie wartości jego wytrzymałości gruntu na ścinanie. Wskaźniki Bishopa po trzeciej serii badań wyniosły 0,24–0,36, co oznacza, że wytrzymałość resztkowa stanowi maksymalnie 76% wytrzymałości maksymalnej. Otrzymane z badań wartości resztkowego kąta tarcia wewnętrznego i spójności wyniosły odpowiednio 18,5° i 13,2 kPa. Dla porównania wyniki badań opartych na pojedynczym ścinaniu łupku o wilgotności 42,5% ( $I_L = 0,61$ ) dały krańcowe wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności odpowiednio

18,4° i 7,3 kPa. Otrzymane wyniki wskazują więc, że wartość resztkowego kąta tarcia wewnętrznego łupków wynosi ok. 18°. Dyskusyjna wydaje się uzyskana wartość spójności, która w teorii powinna wynosić 0 kPa [Stark i Eid 1994, Smolczyk 2002], niemniej spotyka się również wyniki badań [m.in. Borecka i in. 2006, Thiel 1989, 1995], gdzie parametr ten uzyskuje wysokie wartości. Jednym z wyjaśnień tego fenomenu może być liniowy opis wytrzymałości gruntu na ścinanie. Przy zastosowaniu nieliniowego opisu zależności (resztkowy kąt tarcia wewnętrznego – naprężenie normalne) wyliczone wartości kąta tarcia wewnętrznego dla badanego łupka mieściły się w zakresie 20,7–30,5°.



Ryc. 6. Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie dla łupka

Fig. 6. Residual shear strength test results of shale

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ścinanie gruntów stanowiących pokrywę stokową jednego ze zboczy karpaccich Pogórza Wiśnickiego z okolic Gdowa. Prace terenowe wykazały, że grunty te zasadniczo tworzą utwory żwirowo-gliniaste i piaszczysto-pylaste, ale również na obszarze tym stwierdzono obecność utworów ilastych oraz pyłów o małej plastyczności. Badania wytrzymałości na ścinanie próbek nawodnionych wykazały, że utwory żwirowo-gliniaste oraz pylasto-piaszczyste charakteryzują się wysokimi wartościami kąta tarcia wewnętrznego, co wynika z dużej zawartości w nich frakcji gruboziarnistych, tj. piaszczystej i żwirowej. Z kolei większe wartości spójności uzyskano dla gruntów żwirowo-gliniastych, a spójność w utworach pylasto-piaszczystych była bardzo niewielka.

Badania próbek gruntów piasku i pyłu w stanie niepełnego nasycenia wykazały, że wraz ze zmniejszaniem wilgotności następuje wyraźny przyrost ich wytrzymałości na ścinanie. Stwierdzono, że przyrost ten jest przede wszystkim spowodowany zwiększeniem spójności pozornej gruntów, a zmiany wartości kąta tarcia wewnętrznego były praktycznie pomijalne.

Wyniki badań metodą bezpośredniego ścinania i trójosiowego ściskania dla próbek pyłu wykazały, że grunt ten posiada wysoką wartość kąta tarcia wewnętrznego oraz niedużą spójność, a uzyskany opis charakterystyki wytrzymałościowej z obu metod był bardzo zbliżony.

Badania łupków ilastych wykazały, że grunt ten charakteryzuje się maksymalnym kątem tarcia wewnętrznego około 20°. Kolejne serie ścięć gruntu spowodowały około 24–36% redukcję jego wytrzymałości maksymalnej, a uzyskany bezpośrednio z badań resztkowy kąt tarcia wewnętrznego wyniósł 18°.

## PIŚMIENNICTWO

- BS 1377: 1990. British Standard Methods of test for Soils for civil engineering purposes. Part 8. Shear strength tests (effective stress). British Standards Institution.
- Borecka A., Herzig J., Kaczmarczyk R., Woźniak H., 2006. Właściwości fizykomechaniczne wybranych gruntów spoistych ze zboczy wyrobiska KWB „Bełchatów”. Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Budownictwo 28, 1, 39–50.
- Burtan J., 1954. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000. Arkusz Wieliczka. Wyd. Geologiczne Warszawa.
- Margielewski W., 2008. Wpływ ruchów masowych na współczesną ewolucję rzeźby Karpat fliszowych. [W:] Starkel L., Kostrzewski A., Kotarba A., Krzemień K. Współczesne przemiany rzeźby Polski 4. IGGP UJ Kraków, 69–79.
- PN-86/B-02480. Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów. PKN Warszawa.
- PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie. PKN Warszawa.
- PN-EN ISO 14688-2: 2006. Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2. Zasady Klasyfikowania. PKN Warszawa.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-10: 2009. Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 10. Badanie w aparacie bezpośredniego ścinania. PKN Warszawa.
- Schnellman R., Rahardjo H., Schneider H.R., 2013. Unsaturated shear strength of silty sand. Engineer. Geol. 162, 88–96.
- Smolczyk U., 2002. Geotechnical engineering handbook. T. 1. Fundamentals. Ernst & Sohn Berlin.
- Stark T., Eid H., 1994. Drained residual strength of cohesive soils. J. Geotech. Engineer. 120(5), 856–871.
- Thiel K. (red.), 1989. Kształtowanie fliszowych stoków karpaccich przez ruchy masowe na przykładzie badan na stoku Bystrzyca w Szymbarku. Wyd. IBW PAN Gdańsk.
- Thiel K. (red), 1995. Właściwości fizyko-mechaniczne i modele masywów skalnych polskich Karpat fliszowych. Wyd. IBW PAN, Gdańsk.
- Vanapalli S.K., Lane J.J., 2002. A simple technique for determining the shear strength of fine-grained unsaturated soils using the conventional direct shear apparatus. Proc. Second Canadian Specialty Conference on Computer Applications in Geotechnique, Winnipeg, 245–253.
- Wiłun Z., 2003. Zarys geotechniki. Wyd. Komunikacji i Łączności Warszawa.
- Wysokiński L., 2006. Ocena stateczności skarp i zboczy. Instrukcje, Wytyczne, Poradnik 424/2006. ITB Warszawa.
- Zydroń T., Woźniak T., Niebylski M., Rutkowska M., 2010. Laboratoryjne badania wytrzymałości na ścinanie gruntów z rejonów osuwiskowych Beskidu Małego. Inżyn. Mors. Geotech. 5, 612–621.

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 5.05.2014*