

Tomasz Szczepański

Przykłady zastosowań koncepcji parametrów inherentnych w badaniach gruntów spoistych

Examples of inherent properties concept applications in clayey soils research

Streszczenie: Coraz szerzej, również w naszym kraju, stosuje się podejście badawcze polegające na analizie gruntów naturalnych przez porównanie ich parametrów z parametrami wykonanych z nich past gruntowych. Umożliwia ono analizę, modelowanie różnych procesów w laboratorium, wychodząc poniekąd od punktu zerowego w gruncie. Praca przedstawia przykłady zastosowania takiej metodyki przy badaniu wpływu tworzenia się wzmocnienia strukturalnego na parametry wytrzymałości i sztywności iltu mio-plioceńskiego serii poznańskiej.

Słowa kluczowe: parametry inherentne, badania modelowe, ilt

Abstract: Characteristics of reconstituted clays are more and more widely used as a basic frame of reference for interpreting the corresponding characteristics of natural sedimentary clays. These properties of reconstituted clays are called “intrinsic” or “inherent”, and are characteristic of mineralogical – grain size distribution composition for a given soil. This approach allows, among other things, to assess the influence of soil structure, and to model various processes in the laboratory, using reconstituted soil as a zero or reference point. Article presents example output of model tests, depicting influence of structure hardening on elastic and strength parameters of clays.

Key words: inherent properties, model tests, clays

Grunty występujące w naturze podlegają wielkiemu spektrum zjawisk, procesów i przeobrażeń od momentu ich powstawania. Próba opisanie materiału tak niejednorodnego i skomplikowanego w składzie i właściwościach poprzez parametry liczbowe, współczynniki, zależności i funkcje jest niezwykle trudna. W przypadku wielu elementów tej skomplikowanej układanki metodą na zbliżenie się do odkrycia praw lub zależności rządzących danym zjawiskiem jest próba modelowania go

w kontrolowanych warunkach. Modelowanie jest uznaną metodą w mechanice gruntów (Yamamuro, 2005). Umożliwia to wyekstrahowanie ze złożoności procesu wycinka danych możliwych do bardziej jednoznacznej interpretacji.

Podjęcie badawcze polegające na analizie gruntów naturalnych przez porównanie ich parametrów z parametrami wykonanych z nich past gruntowych jest powszechnie stosowane (np. Paszyc-Stępkowska, 1966; Ewertowska-Madej, 1969; Burland, 1990; Leroueil, Maugham, 1990; Schmertman, 1991; Coop i in., 1995; Sheahan, 1996; Cotecchia, Handler, 1997; Shibuya, 1997; Dobak, 1999; Liu, Carter, 1999; Barański, 2000; Nagaraj i in., 2000; Stróżyk, Izbicki, 2003; Barański i in., 2004; Oka, Kimoto, 2005; Sheahan, 2005). Ma ono na celu rozdzielanie tej części właściwości gruntu, za które odpowiedzialny jest sam materiał w znaczeniu kompozycji mineralogiczno-granulometrycznej (**własności inherentne**), od tej będącej wynikiem szeroko pojętej historii geologicznej gruntu i nabytego przez to wzmocnienia strukturalnego. Po to powstała koncepcja określania inherentnych (tkwiących w jego naturze) właściwości danego gruntu (*Intrinsic properties*) (Burland, 1990). Termin inherentne właściwości ma odnosić się do pasty gruntowej przygotowanej tak, aby wilgotność wynosiła pomiędzy w_L a $1,5 w_L$, a następnie skonsolidowanej, najlepiej w jednoosiowych warunkach. Badania na pastach gruntowych wymagają również oceny ich zachowania na tle dotychczas znanych zależności dla gruntów naturalnych (metodyczny aspekt przygotowania i badań past gruntowych).

Wyniki badań

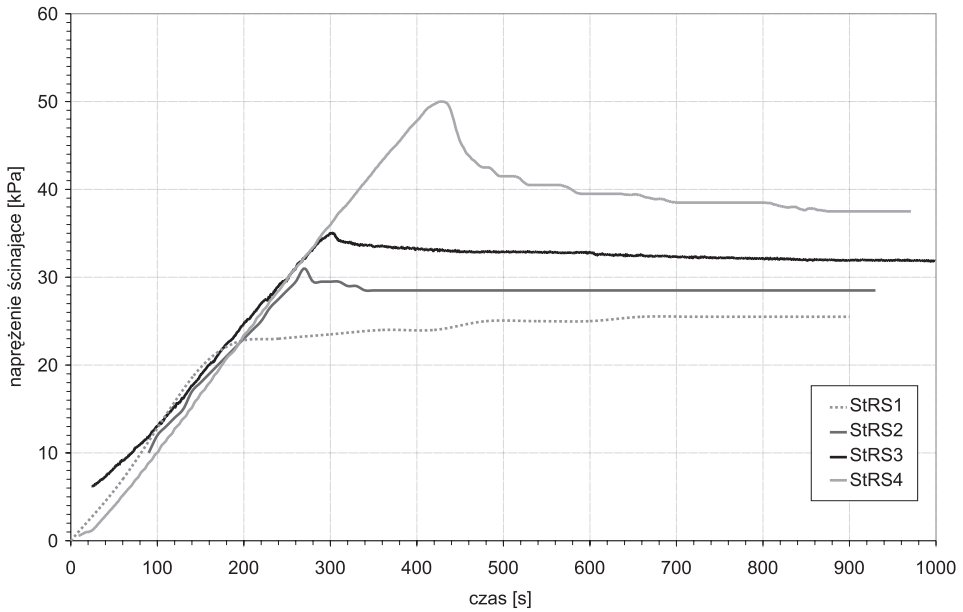
W artykule jako przykład badań modelowych z odwołaniem się do punktu odniesienia, jakim są własności inherentne gruntu, przedstawione zostaną wyniki uzyskane na pastach ilów mio-pleceńskich z Warszawy (seria StRS) i ilów eoceńskich z Libii (seria LiRS), które wykonane były na potrzeby pracy doktorskiej autora. Dotyczą wpływu rozwoju **wzmocnienia strukturalnego** w próbkach podlegających zróżnicowanym warunkom obciążeń na parametry wytrzymałościowe i sprężyste gruntu (szczegółowe opisy metodyki badań i analiza wyników w: Szczepański, 2005).



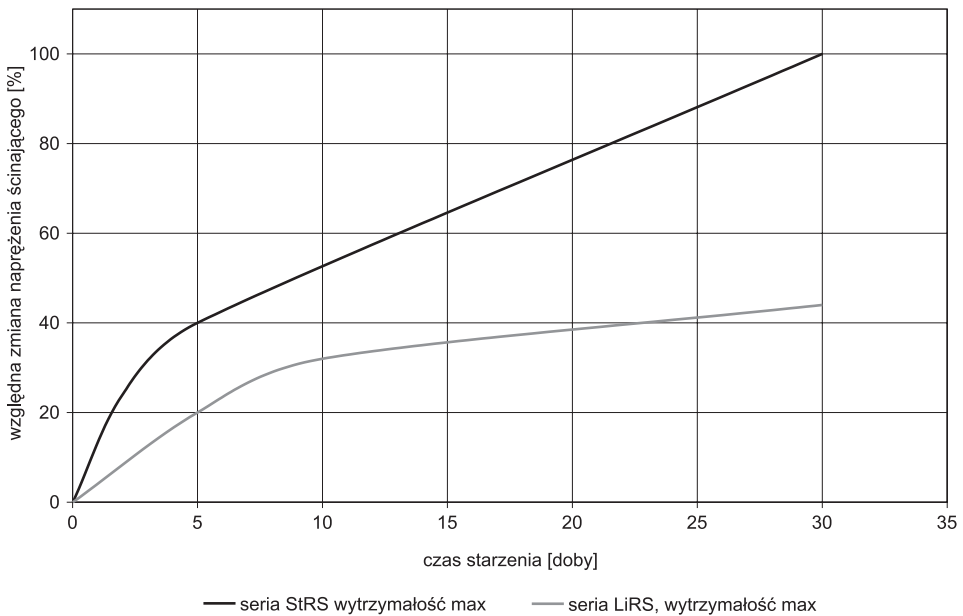
Ryc. 1. Aparat pierścieniowy *Ring Shear*
Fig. 1. Ring Shear Apparatus

zróżnicowanym warunkom obciążeń na parametry wytrzymałościowe i sprężyste gruntu (szczegółowe opisy metodyki badań i analiza wyników w: Szczepański, 2005).

Zmiany wytrzymałości maksymalnej chwilowej wraz z przebywaniem (starzeniem) pasty pod obciążeniem przez określony czas oznaczano przy wykorzystaniu aparatu Ring Shear (ryc. 1), który generalnie służy do badania wytrzymałości rezydualnej. Dzięki temu, że konstrukcja aparatu (pierścieniowy kształt komory) umożliwia zadawanie nieograniczonego przemieszczenia, mo-



Ryc. 2. Krzywe wytrzymałości na ścinanie serii pasty ilów mio-pliocenijskich (StRS)
 Fig. 2. Shear strength lines of reconstituted mio-pliocene clays samples (StRS)



Ryc. 3. Względna zmiana wytrzymałości na ścinanie w czasie starzenia past pod obciążeniem
 Fig. 3. Relative change of shear strength during ageing under load

żliwa była realizacja poniższych niestandardowych badań. Pasty wstępnie skonsolidowane (200 kPa) odciążano, umieszczano w aparacie, zalewano komorę wodą (w celu uniemożliwienia wysychania próbki), obciążano (100 kPa), wstępnie wytwarzano powierzchnię ścięcia (szybki obrót o 360°) i wykonywano pierwsze badanie (prędkość przesuwu 0,1 stopnia/min). Następnie próbka przebywała w aparacie przez coraz dłuższy czas (ryc. 3), po którym następowało kolejne badanie, wcięż na tej samej wymuszonej powierzchni ścinania.

Przeprowadzone badania wykazały wzrost wytrzymałości badanych gruntów wraz ze wzrostem czasu przebywania próbek pod obciążeniem (ryc. 3). Maksymalne zanotowane zwiększenie wytrzymałości wyniosło 100% w stosunku do wytrzymałości początkowej w serii StRS oraz 40% w serii LiRS (ryc. 3).

Badania wpływu tworzenia się wzmocnienia strukturalnego na sztywność geomaterialów to drugi przykład badań, w których odniesienie do referencyjnych parametrów inherentnych jest istotne. Badania wykonywano za pomocą aparatury typu *bender elements* (ryc. 4), umożliwiającej pomiar prędkości fal akustycznych w próbce i dzięki temu określenie parametrów sprężystych, m.in. modułu sztywności G.

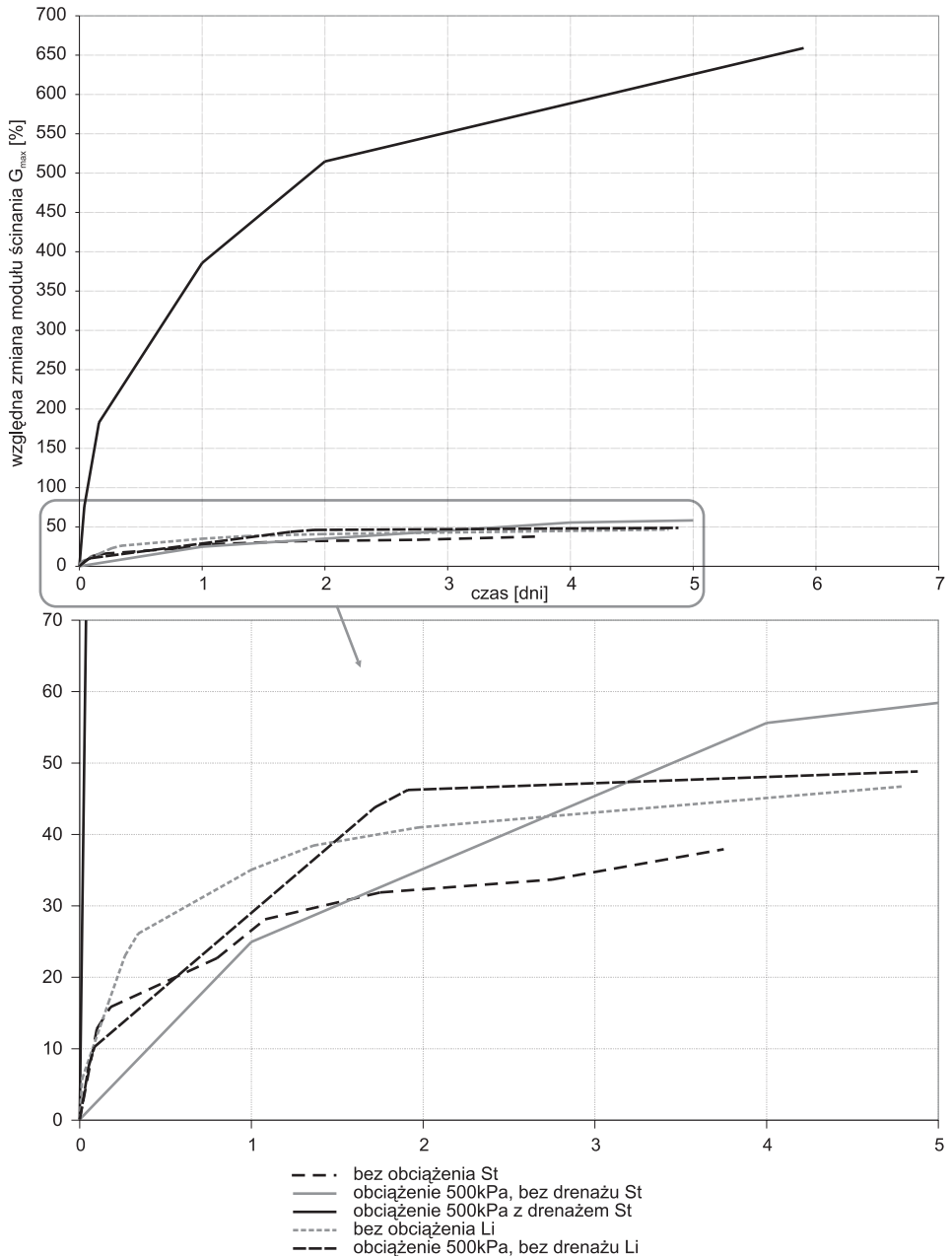
Przykładowe wyniki przedstawiono na rycinie 5. Generalne zależności otrzymane z badań to wzrost sztywności próbek obciążonych bez drenażu oraz znacznie



Ryc. 4. Stanowisko do badań własności sprężystych (BES)

Fig. 4. BES apparatus for soil elastic properties measurements

większy wzrost w próbkach obciążonych z umożliwiającym odpływem wody. W trakcie prowadzenia badań zaobserwowano nie opisywane dotychczas zjawisko, ciekawe od strony metodyki prac modelowych na pastach, które chciałbym w tym miejscu omówić. Procedura badań była następująca: z wcześniej przygotowanej i wstępnie skonsolidowanej pasty formowano walec do umieszczenia w aparacie. Pomiary na tak przygotowanych próbkach dawały wyniki w postaci zwiększającego się modułu ścinania w czasie (w zakresie podobnym jak przy obciążeniu bez drenażu), o ile były uformowane tuż przed badaniem. Główne zmiany zachodziły w ciągu pierwszych dwóch dni od początku badania, później następowała względna stabilizacja. Jeśli walec był uformowany wcześniej i umieszczony w aparacie dopiero po upływie ok. 48 godzin, zmiany nie zachodziły. Co więcej, gdy próbkę wyjęto z urządzenia po badaniu (trwającym kilka dni), zdeformowano przez ugniatanie i powtórnie uformowano i umieszczono w urządzeniu, proces



Ryc. 5. Względna zmiana modułu ścinania w seriach badawczych iłłów mio-pleciocénskich z Warszawy (St) i iłłów eocénskich z Libii (Li), w trakcie różnych programów obciążeń

Fig. 5. Relative change in shear modulus G_{max} , measured on reconstituted clay samples (mio-pleiocene from Warsaw (St) and eocene from Libia (Li)) under different load conditions

stabilizacji zaczynał się od nowa. Mamy więc do czynienia ze swoistym metastabilnym zachowaniem gruntu, w znacznej mierze odwracalnym. Pierwsze skojarzenie prowadzi nas do właściwości tiksotropowych ilów, ale jednoznacznie przyczyn nie udało się dotychczas ustalić. Poprzez szczegółowe testy wykluczono czynniki aparaturowe. Analiza obrazów ze Skaningowego Mikroskopu Elektronowego (SEM) nie wykazała zauważalnych i ukierunkowanych zmian na poziomie mikrostrukturalnym mogących pomóc w wytlumaczeniu zjawiska.

Podsumowanie

Dzięki badaniom modelowym na pastach możliwe jest zarówno analizowanie zachowania gruntów o naruszonej strukturze używanych jako materiał konstrukcyjny (zapory, przesłony, bariery), jak i wnikanie w przyczyny określonych właściwości wytrzymałościowych, sprężystych czy odkształceniowych gruntów naturalnych.

Przytoczono przykładowe wyniki badań na pastach. Testy dotyczące wpływu wzmocnienia strukturalnego na zmiany wytrzymałości gruntu wykazały jej wzrost z upływem czasu przebywania pod obciążeniem (40–100% w 30 dni), przy czym istotne jest, że wszystkie kolejne ścięcia następowały na tej samej wymuszonej powierzchni ścinania w tej samej próbce. Aby wyjaśnić przyczyny stwierdzonego wzrostu wytrzymałości, należałoby sięgnąć do fizykochemicznej i mechanicznej analizy oddziaływań między cząstkami gruntu, co wykracza poza zakres tej pracy. Przypuszczalnie w trakcie wytwarzania początkowej, wymuszonej powierzchni (czy też strefy) ścięcia dochodzi do kierunkowego ułożenia cząstek w jej pobliżu, ich reorganizacji, a także odkształcania cząstek. Zachodzenie takich procesów w trakcie ścinania w aparacie trójosiowym opisywała Paszyc-Stępkowska (1966). Po zaprzestaniu przemieszczenia następuje „dopasowywanie” się powierzchni, stopniowa, częściowa relaksacja odkształconych cząstek oraz ustalanie się nowej równowagi sił działających między cząstkami minerałów ilastych, tj.: sił przyciągania van der Waalsa, odpychania warstw podwójnych, elektrostatycznego przyciągania sieci jonowej, elektrostatycznego przyciągania krawędzi do powierzchni i in. (Paszyc-Stępkowska, 1966). Na osiągnięcie tej równowagi, jak wynika z powyższych badań, ma wpływ czas. Wraz z jego wydłużaniem wytwarzające się wiązania strukturalne podwyższają wytrzymałość na ścinanie, co wykazano na dwóch różnych genetycznie gruntach ilastych.

Zjawisko zmiany prędkości fali poprzecznej (przekładające się na wzrost sztywności gruntu w czasie, wyrażonej przez moduł ścinania G_{max}) **przy braku obciążenia** odnotowano na próbkach z pasty ilowej uformowanych bezpośrednio przed badaniem. Właściwsze wydaje się rozpatrywanie zagadnienia jako osiąganie równowagi po mechanicznym wprowadzeniu zakłócenia niż zwiększanie się parametru sensu stricto. W próbkach pasty nie formowanych bezpośrednio przed badaniem oraz w próbkach NNS nie zaobserwowano podobnego zjawiska. Wynika z tego bardzo istotny wniosek metodyczny do badań na pastach gruntowych: konieczność ich stabilizacji przed rozpoczęciem pomiarów.

Wytłumaczenie zjawiska nie wydaje się łatwe ani oczywiste. Nie znaleziono w literaturze podobnego opisu zmian prędkości nie wywoływanych zmianami naprężeń i objętości próbki. Hipotetyczne wytłumaczenia, które autor ma do zaproponowania, są następujące:

- W trakcie formowania próbki przed badaniem być może mogą być generowane strefy zwiększonego lub obniżonego ciśnienia porowego w mikroskali (wysoka zawartość frakcji ilowej, grunt bardzo słabo przepuszczalny) między mikroagregatami lub cząstkami gruntu. Wyrównywanie się lokalnych różnic ciśnienia mogłoby być jedną z przyczyn zmian V_s .
- Formowanie pasty wprowadza zmiany w ułożeniu cząstek gruntu, zniekształca cząstki i pakiety ilaste, wyginając je w przypadkowy sposób. Być może relaksacja tak zaindukowanych mikronaprężeń, osiągnięcie nowej równowagi, stopniowa reorganizacja odbywająca się bez rejestrowalnych zmian objętościowych gruntu ma związek ze zmianami V_s .
- Zmiany w gruncie oparte na zjawisku tiksotropii.

Autor nie jest w stanie stwierdzić na tym etapie badań, czy któraś z powyższych hipotez odzwierciedla rzeczywistość. Jednak tendencja coraz częstszego stosowania badań właściwości sprężystych przy użyciu fal akustycznych oraz modelowych badań na pastach gruntowych być może pozwoli uzyskać odpowiedź na to ważne z punktu widzenia metodyki takich badań pytanie.

Literatura

- Barański M., 2000. Wytrzymałość i odkształcalność glin lodowcowych zanieczyszczanych ropopochodnym benzenem na terenie Petrochemii Płock S.A. Wydział Geologii UW. Rozprawa doktorska.
- Barański M., Kaczyński R., Borowczyk M., Krauzlis K., Trzciniński J., Wójcik E., Granacki W., Szczepański T., Zawrzykraj P., 2004. Ocena zachowania się ilów plioceńskich ze Stegien w warunkach naprężeń efektywnych. Sprawozdanie PB KBN nr 5 T12B 041 22.
- Burland J.B., 1990. On the compressibility and shear strength of natural clays. *Géotechnique* 40, 3: 329–378.
- Coop M.R., Atkinson J.H., Taylor R.N., 1995. Strength and stiffness of structured and unstructured soils. *Proceedings of the 11th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Copenhagen vol. 1, s. 55–62.
- Cotecchia F., Chandler R.J., 1997. The influence of structure on the pre-failure behaviour of a natural clay. *Géotechnique* 47, 3: 523–544.
- Dobak P., 1999. Rola czynnika filtracyjnego w badaniach jednoosiowej konsolidacji gruntów. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Studia, Rozprawy, Monografie 65, Kraków.
- Ewertowska-Madej Z., 1969. Wpływ ułożenia cząstek ilowych na wytrzymałość gruntu na ścinanie. *Rozprawy Hydrotechniczne* 23. Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk.
- Leroueil S., Vaughan P.R., 1990. The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks. *Geotechnique* 40, 3: 467–488.
- Liu M.D., Carter J.P., 2000. Modeling the destructuring of soils during virgin compression. *Géotechnique* 50, 4: 479–483.

- Nagaraj T.S., Pandian N.S., Narasimha Raju P.S.R., 2000. Compressibility behaviour of soft cemented soils. *Géotechnique* 48, 2: 281–287.
- Oka F., Kimoto S., 2005. An elasto-viscoplastic model for clay Considering destructuralization and prediction of compaction bands. W: *Geomechanics. Testing, modeling and simulation. Proceedings of the first Japan-US workshop on testing, modeling and simulation, June 27–29, 2003, Boston, Massachusetts. Geotechnical special publication 143, American Society of Civil Engineers.*
- Paszyc-Stępkowska E., 1966. Próba fizyko-chemicznej interpretacji procesu ścinania nasyconych gruntów ilowych. *Archiwum Hydrotechniki, Instytut Budownictwa Wodnego PAN*, 13, 3–4.
- Schmetrman J.H., 1991. The mechanical aging of soils. *Journal of Geotechnical Engineering* 117, 9: 1288–1330.
- Sheahan T.C., Kalikin V.N. (red.), 1996. Measuring and modeling time dependent soil behavior. *Proceedings of sessions sponsored by The Geo-Institute of the American Society of Civil Engineers in conjunction with the ASCE Convention in Washington DC. Geotechnical special publication 143, American Society of Civil Engineers.*
- Sheahan T.C., 2005. A soil structure index to predict rate dependence of stress-strain behavior. W: *Geomechanics. Testing, modeling and simulation. Proceedings of the first Japan-US workshop on testing, modeling and simulation, June 27–29, 2003, Boston, Massachusetts.*
- Shibuya S., Hwang S.C., Mitachi T., 1997. Elastic shear modulus of soft clays from shear wave velocity measurement. *Géotechnique* 47, 3: 593–601.
- Stróżyk J., Izbicki R.J., 2003. Wpływ historii geologiczno-inżynierskiej na własności ilów formacji poznańskiej. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, s. 167–174.
- Szczepański T., 2005. Ocena stanu skonsolidowania wybranych ilów na podstawie analizy parametrów ściśliwości. *Archiwum Wydziału Geologii UW. Rozprawa doktorska.*
- Yamamuro J.A., Koseki J. (red.), 2005. *Geomechanics. Testing, modeling and simulation. Proceedings of the first Japan-US workshop on testing, modeling and simulation, June 27–29, 2003, Boston, Massachusetts. Geotechnical special publication 143, American Society of Civil Engineers.*