

Geologiczno-inżynierskie właściwości namulów z Czosnowa

Julia Rau-Sierańska¹, Piotr Zawrzykraj²



J. Rau-Sierańska



P. Zawrzykraj

Engineering and geological properties of muds from Czosnow. Prz. Geol., 72: 838–845; doi: 10.7306/2024.73

Abstract. Young cohesive sediments that fill oxbow lakes are often classified as weak-bearing soils. They require direct investigation of their parameters and properties for reliable engineering and geological characterization and correct assessment of their interaction with construction structures. The research program included static and dilatometric soundings, oedometer tests and determinations of basic physical properties. From the granulometric point of view, the studied soils have been found to be clay (average content of clay fraction about 36%). Their average liquidity index is $I_L = 0.62$ and natural moisture content is 58.7%. Oedometer tests showed that the range of compressibility modulus values E_{oed} varied between 0.17 and 1.97 MPa (average 0.9 MPa). As a result of the comparison of oedometer compressibility modulus and CPTM static sounding, a correlation between cone resistance and E_{oed} modulus was proposed. Correlations between M_{DMT} modulus and cone resistance q_{cs} , as well as between E_{oed} oedometer modulus and M_{DMT} dilatometer modulus are also presented. Macroscopic, preliminary assessment of the studied sediments of gray and dark gray color, indicating organic soils (muds according to the PN-B-02480 standard) has proved to be incorrect, as laboratory tests of organic matter content by the hydrogen peroxide digestion showed an average organic matter content of about 1.9%. The problem of interpreting the origin of the studied soils as intermediate sediments between lake sediments (oxbow lake sediments) and muds, mainly fed from the water column during the Vistula floods, was pointed out.

Keywords: loam, weak soils, deformability, muds, in situ tests

Obecność osadów organicznych lub utworów słabonośnych w zasięgu oddziaływania projektowanego obiektu najczęściej wymaga parametryzacji fizyczno-mechanicznej na drodze bezpośrednich badań laboratoryjnych i terenowych. W normach trudno znaleźć wartości charakterystyczne dla takich gruntów, co często skłania dokumentatorów do pomijania ich własności w standardowych opracowaniach. Są to grunty problematyczne, o złożonej strukturze i zróżnicowanych właściwościach. Dodatkowo, rzetelne badania zmierzające do kwantyfikacji ich cech deformacyjnych czy wytrzymałościowych wymagają często długotrwałych obserwacji. Dlatego też interesujące i wartościowe są doświadczenia i wyniki oznaczeń ich właściwości geologiczno-inżynierskich udostępniane w literaturze przez innych badaczy (Myślińska, 2001; Lechowicz, Szymański, 2002; Drózd, 2006; Dobak, Kowalczyk, 2011; Malinowska, Domański, 2013; Majer, Białobrzęski, 2015; Paprocki i in., 2016; Łądkiewicz i in., 2017; Młynarek i in., 2023; Rau, 2024).

POŁOŻENIE I SYTUACJA GEOLOGICZNA

Omawiany rejon badań znajduje się w miejscowości Czosnow (ok. 25 km od Warszawy, w kierunku północno-zachodnim), ok. 200 m na północ od drogi krajowej nr 7. Jest to obszar doliny rzeki Wisły, gdzie taras nadzalewowy oddziela od tarasu zalewowego krawędź morfologiczna o wysokości względnej ok. 3,5 m. Osady będące przedmiotem zainteresowania wypełniają łukowate obniżenie w zasięgu tarasu zalewowego, będące dawnym meandrem.

Na *Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski* w skali 1:50 000 (arkusz Modlin-Twierdza) osady te zostały opisane jako holoceni torfy i namuły torfiaste (ryc. 1).

W świetle własnych danych archiwalnych ich miąższość waha się między 2,5 a 3,5 m w pobliżu poligonu badawczego. W profilu pionowym najniższe partie tej serii spójnej stanowią pyły i gliny pylaste, które osiągają miąższość ok. 0,5–1,0 m. Głębiej występują piaski rzeczne tarasu zalewowego. Utwory wypełniające starorzecze to osady bardzo młode, nieskonsolidowane. Napięte lustro wody podziemnej stabilizuje się na rzędnych odpowiadających powierzchni terenu, tj. ok. 72,5 m n.p.m.

METODYKA BADAŃ

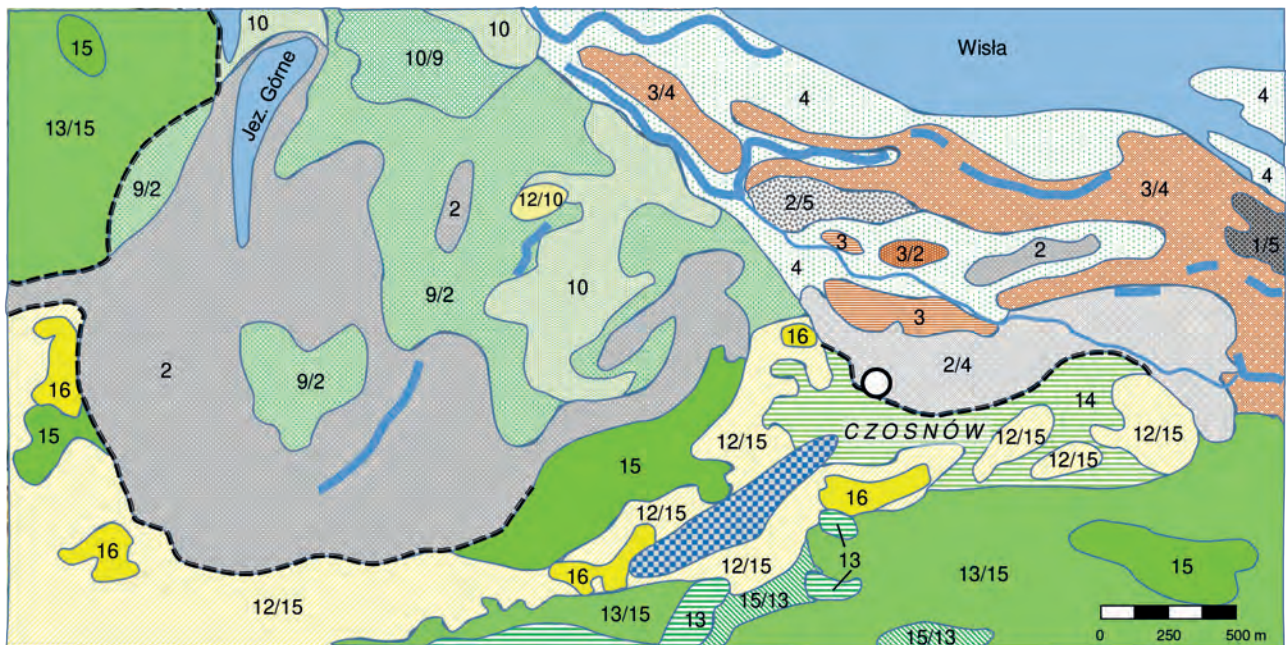
Podstawą obserwacji i analiz przedstawionych w artykule były prace terenowe, które objęły wykonanie 2 sondowań statycznych CPTM, 2 sondowań dylatometrycznych DMT do głębokości ok. 5,5 m oraz pobór próbek o nienaruszonej strukturze przy użyciu cienkościennych próbników rurowych. Sondowania zgrupowano w 2 węzłach badawczych (ryc. 2).

Sondowania statyczne CPTM wykonywano przy zastosowaniu znormalizowanego stożka mechanicznego (tzw. stożka Begemanna). Pomiar oporu wciskania stożka q_c oraz tarcia na tulei f_s wykonywano w profilu pionowym co 20 cm. Do pograżania wykorzystano mobilny penetrometr o maksymalnym nacisku 50 kN, stabilizowany do gruntu przy użyciu czterech spiralnych kotew. Metodyka prowadzenia badania była zgodna z odpowiednimi standardami (PN-B-04452:2002; PN-EN 1997-2:2009; PN-EN ISO 22476-12:2009).

Badania dylatometrem płaskim DMT prowadzono przy użyciu oryginalnego zestawu firmy Studio Prof. Marchetti S.r.l. Płaska łopatką dylatometryczną, wyposażoną w elastyczną, stalową membranę, była wciskana przy użyciu lek-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa; jrau@pgi.gov.pl; ORCID ID: 0009-0002-3354-9668

² Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; Piotr.Zawrzykraj@uw.edu.pl; ORCID ID: 0000-0002-5984-051X



- | | |
|--|---|
| | 1/5 Piaski humusowe oraz namuly den dolinnych i zagłębień bezodpływowych na piaskach rzecznych
Humus sands and muds of river valley floors and of closed depressions on fluvial sands |
| | 2 Torfy i namuly torfiaste
Peats and peaty muds |
| | 2/4 Torfy i namuly torfiaste na piaskach rzecznych i madach
Peats and peaty muds on fluvial sands and muds |
| | 2/5 Torfy i namuly torfiaste na piaskach rzecznych
Peats and peaty muds on fluvial sands |
| | 3 Mulki rzeczne tarasów zalewowych 1-1,2 m n.p. rzeki
Fluvial silts of flood-plain terrace 1-1,2 m over river level |
| | 3/2 Mulki rzeczne tarasów zalewowych 1-1,2 m n.p. rzeki na torfach i namulach torfiastych
Fluvial silts of flood-plain terrace 1-1,2 m over river on peats and peaty muds |
| | 3/4 Mulki rzeczne tarasów zalewowych 1-1,2 m n.p. rzeki na piaskach i madach
Fluvial silts of flood-plain terrace 1-1,2 m over river on sands and muds |
| | 4 Mady i piaski rzeczne tarasów zalewowych 1-1,2 m n.p. rzeki oraz kęp i mielizn
Muds and fluvial sands of flood-plain terrace 1-1,2 m over river and of islets and riffles |
| | 9/2 Mady tarasów zalewowych 2-3,5 m n.p. rzeki na torfach i namulach torfiastych
Muds of flood-plain terrace 2-3,5 m over river on peats and peaty muds |
| | 10 Piaski rzeczne tarasów zalewowych 2-3,5 m n.p. rzeki
Fluvial sands of flood-plain terrace 2-3,5 m over river level |
| | 10/9 Piaski rzeczne tarasów zalewowych 2-3,5 m n.p. rzeki na madach
Fluvial sands of flood-plain terrace 2-3,5 m over river level on muds |
| | 12/10 Piaski eoliczne na piaskach rzecznych tarasów zalewowych 2-3,5 m n.p. rzeki
Aeolian sands on fluvial sands of flood-plain terrace 2-3,5 m over river level |
| | 12/15 Piaski eoliczne na piaskach rzecznych tarasów nadzalewowych 4-6 m n.p. rzeki
Aeolian sands on fluvial sands of overflood terrace 4-6 m over river level |
| | 13 Mady tarasów nadzalewowych 4-6 m n.p. rzeki
Muds of overflood terrace 4-6 m over river level |
| | 13/15 Mady tarasów nadzalewowych 4-6 m n.p. rzeki na piaskach rzecznych
Muds of overflood terrace 4-6 m over river level on fluvial sands |
| | 14 Mady i piaski rzeczne tarasów nadzalewowych 4-6 m n.p. rzeki
Muds and fluvial sands of overflood terrace 4-6 m over river level |
| | 15 Piaski rzeczne tarasów nadzalewowych 4-6 m n.p. rzeki
Fluvial sands of overflood terrace 4-6 m over river level |
| | 15/13 Piaski rzeczne tarasów nadzalewowych 4-6 m n.p. rzeki na madach
Fluvial sands of overflood terrace 4-6 m over river level on muds |
| | 16 Piaski eoliczne w wydmach
Aeolian sands in dunes |

- | | |
|--|-------------------------------------|
| | wody powierzchniowe
water bodies |
| | grunty nasypowe
filled soils |
| | krawędzie tarasów
terrace risers |
| | poligon badawczy
studied area |

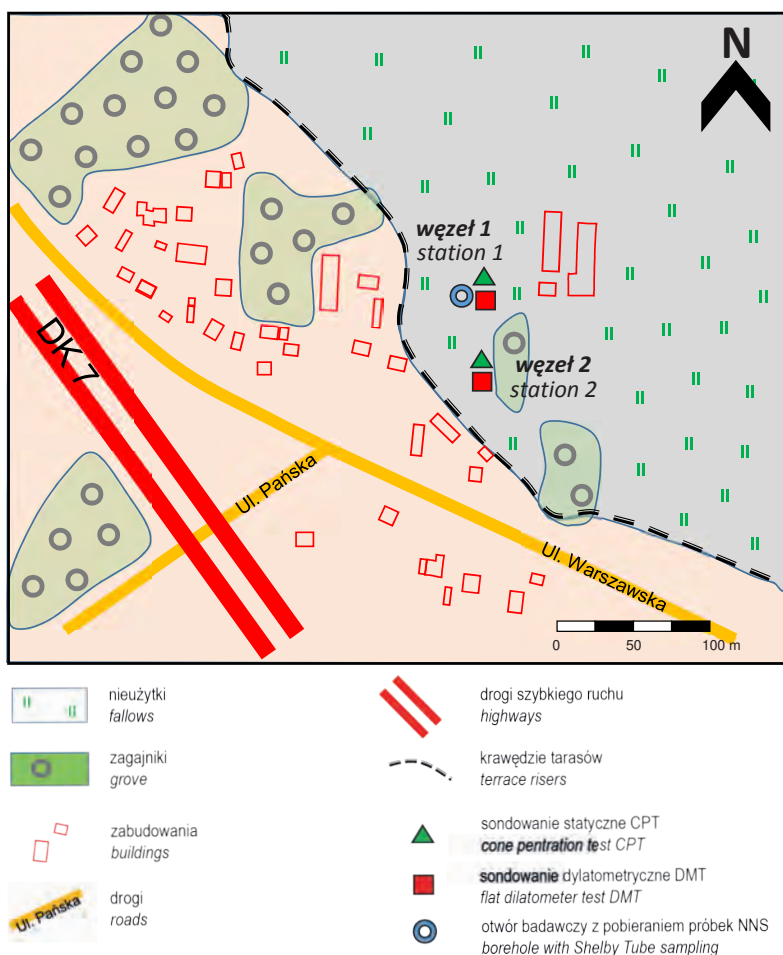
Ryc. 1. Fragment Szczegółowej Mapy geologicznej Polski, arkusz Modlin-Twierdza (Nowak, Skompski, 1992, zmienione)
Fig. 1. Fragment of the Detailed Geological Map of Poland, sheet Modlin-Twierdza (Nowak, Skompski, 1992, modified)

kiego penetrometru, którego używano również do sondowania statycznego CPT. Parametry sondowania dylatometrycznego, tj. ciśnienia p_0 i p_1 , rejestrowano w profilu pionowym co 20 cm. Procedura badawcza była zgodna z obowiązującymi normami (PN-B-04452:2002; PN-EN 1997-2:2009; PN-EN ISO 22476:11).

Podstawowymi zmiennymi ośrodka gruntowego, determinującymi jego właściwości, są: struktura (uziarnienie, zawartość substancji organicznej, wiązania strukturalne), porowatość i wilgotność.

Badane osady spoiste charakteryzowały się barwą szarą, ciemnoszarą lub szaro-czarną, która wskazywała na znaczący udział organiki (ryc. 3).

Aby potwierdzić te obserwacje wykonano 4 oznaczenia strat prażenia w temperaturze 440°C. Wyniki mieściły się w przedziale 5,2–8,1% (średnio 6,6%), co sugerowało, że mamy do czynienia z namułami. Z uwagi na drobnoziarnisty charakter osadów badania zawartości substancji organicznej zweryfikowano metodą wody utlenionej (ryc. 4). Wyniki uzyskane dla 8 próbek wskazują, że zakres zawar-



Ryc. 2. Schematyczna mapa dokumentacyjna
Fig. 2. Schematic documentation map



Ryc. 3. Próbkę gruntu po wypchnięciu z próbnika cienkościennego (fot. J. Rau)
Fig. 3. Soil sample after pushing out of the thin-walled sampler (photo J. Rau)

tości substancji organicznej mieścił się w przedziale 0,5–4,2% (średnio 1,9%). Znaczące różnice w wynikach między zastosowanymi metodami są powodem, dla którego należy przeprowadzić ich krytyczną weryfikację i wybrać prawidłowe rozwiązanie. Wysoka zawartość minerałów ilastych w badanych osadach oznacza większe prawdopodobieństwo (i większy udział) przekształceń mineralnych i uwalniania wody związanej w sieci krystalicznej podczas prażenia, niż podczas stosowania metody wody utlenionej. Dlatego dla osadów ilastych metodą bardziej poprawną wydaje się ta ostatnia. Analizy areometryczne wykazały, że zawartość frakcji ilowej waha się w granicach 30–44% (śred-

nio 36%). Zatem pod kątem granulometrycznym są to ropy (wg PN-B-02480). Również według nowej klasyfikacji gruntów (PN-EN ISO 14688-1:2018-05) należałoby je opisać jako ropy lub ropy z organiką. Ostatecznie osady wypełniające starorzecze okazały się być ropy, a nie gruntami organicznymi jak prognozowano na etapie badań makroskopowych. Determinuje to tym samym odmienne prognozy ich zachowania się podczas współpracy z obiektem budowlanym, niż zakładano pierwotnie. Oznacza to również stosowanie innych kierunków w doborze formuł korelacyjnych w celu wykorzystywania narzędzi *in situ* do prognozy parametrów mechanicznych tego ośrodka gruntowego.

Laboratoryjne badania cech fizycznych objęły także oznaczenia wilgotności, granic konsystencji, gęstości objętościowej i porowatości, które zestawiono na wykresach (ryc. 5). Wilgotność granicy płynności ustalono metodą stożka.

W trakcie badań odkształcalności, które przeprowadzono w automatycznych edometrach, zastosowano cztery stopnie obciążenia, tj. 25, 50, 100 i 200 kPa (Head 1992, 2011; PN-EN ISO 17892-5:2017-06). Komorę, w której umieszczono próbkę gruntu, zalewano wodą, aby nie wystąpiło ryzyko jego wysychania. Odpyły wody podczas konsolidacji był możliwy w kierunku pionowym. Za kryterium zakończenia procesu konsolidacji na każdym stopniu obciążenia przyjęto tempo zachodzących odkształceń, które powinno być mniejsze niż 0,002 mm/1500 min. Dodatkowo kontrolowano na bieżąco kształt krzywej ściśliwości, który, obejmując wyraźnie zarysowany etap konsolidacji wtórnej, pozwalał na przejście do następnego stopnia obciążenia lub zakończenia konsolidacji. Zarejestrowane krzywe konsolidacji uchwyciły etap konsolidacji pierwotnej (filtracyjnej) i wtórnej (strukturalnej, pełzaniowej).

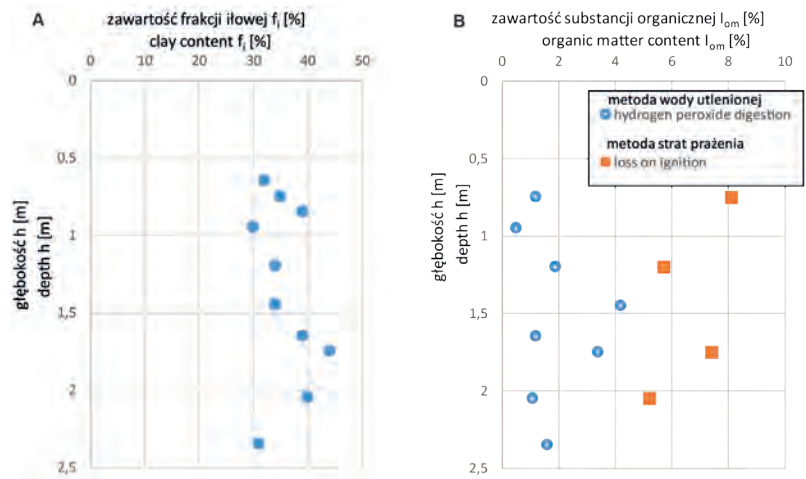
Badania ściśliwości metodą stopniowego obciążania (ang. *IL incremental loading*) umożliwiły obliczenie modułu ściśliwości E_{oed} dla każdego z zastosowanych kroków obciążenia (tab. 1). Wyniki zestawiono względem głębokości pobrania próbek (ryc. 6). Na wykresie oraz w tabeli wyraźnie zaznacza się zależność, zgodnie z którą ze wzrostem zakresu obciążenia wzrastają moduły ściśliwości (wzrasta sztywność badanego gruntu). Wynika to z postępującego stopniowo (za kolejnymi krokami obciążeniowymi) zagęszczania (konsolidacji) struktury badanego osadu. Uzyskane wartości modułów ściśliwości są bardzo niskie. Rozpatrując wszystkie wartości razem, ważyły się w granicach 0,17–1,97 MPa (średnio 0,9 MPa).

Podczas sondowań w warunkach *in situ* rejestrowane parametry własne odnoszą się do gruntów w stanie naturalnym. Jest to ważna cecha wartości pomierzonych, które mogą być traktowane jako obiektywne i wiarygodne. Następnie poprzez korelacje dokonuje się ich powiązania z innymi (operacyjnymi) parametrami mechanicznymi. Na tym

etapie jest wymagana odpowiednia jakość i adekwatność stosowanej formuły do prognozowania innych parametrów. Najczęściej podczas tego etapu dochodzi do uogólnień, a wartości końcowe (prognozowane) obarczone są pewnym błędem związanym z jakością przybliżenia (wiarygodnością formuły korelacyjnej). Należy zwrócić uwagę, czy zastane uwarunkowania geologiczne pozwalają na zastosowanie wybranej zależności. Dobrą zasadą wydaje się powiązanie ustalanych zależności funkcyjnych z litologią, genezą oraz wiekiem osadu (Frankowski, Pietrzykowski, 2017; Zawrzykraj i in., 2017; Nepelski, 2021). Wielu badaczy stara się wiązać swoje wyniki i rekomendować ich stosowanie do określonych typów litogenetycznych osadów, co ma miejsce także w przypadku niniejszego artykułu.

Na rycinach 7 i 8 zestawiono – w formie histogramów – główne parametry pozyskane z sondowań w warunkach *in situ*.

Wykonane w jednym węźle badawczym sondowania statyczne CPT i dylatometryczne DMT oraz badania ścisłości w edometrze pozwoliły na porównanie ze sobą zebranych w tym miejscu danych. Na wykresach (ryc. 9) zestawiono ze sobą opór wciskania stożka q_c oraz edometryczne

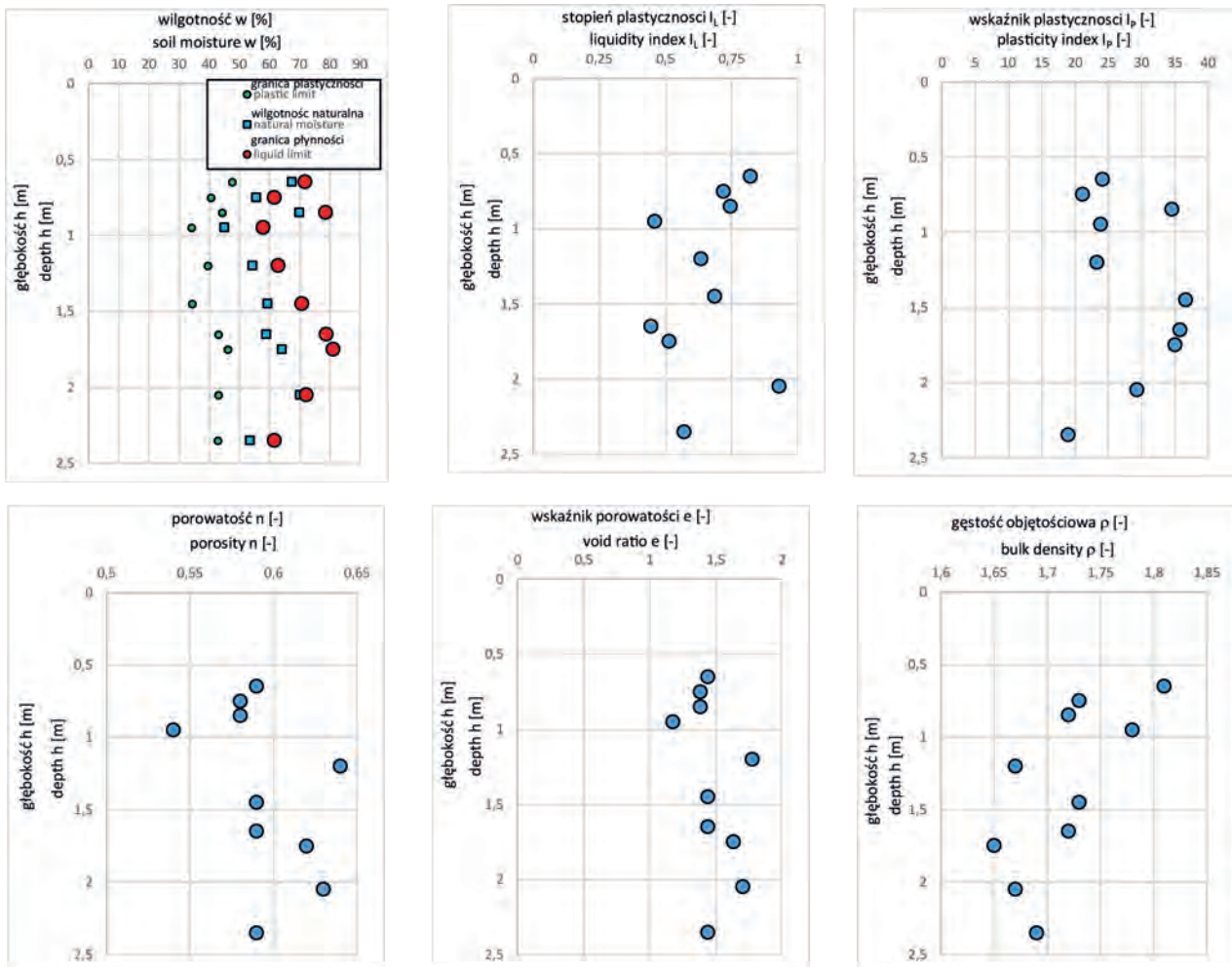


Ryc. 4. Zawartość frakcji iłowej (A) i zawartość substancji organicznej (B) w profilu pionowym

Fig. 4. Clay content (A) and organic matter content (B) in the vertical profile

moduły ścisłości E_{oed} na podobnych, odpowiadających sobie wzajemnie, głębokościach.

Porównanie to wykonano dla każdego stopnia obciążenia i reprezentującego go modułu odrębnie. Celem tego podejścia było wskazanie bardziej odpowiednich współczynników dopasowania, adekwatnych do spodziewanego za-



Ryc. 5. Zróżnicowanie parametrów fizycznych namulów w profilu pionowym

Fig. 5. Variability of physical parameters of muds in vertical profile

Tab. 1. Wartości modułów ścisłości z badań edometrycznych
Table 1. Compressibility modulus values from oedometer tests

Głębokość pobrania próbki Sample depth [m]	Zakres obciążenia Load range [kPa]			
	0–25	25–50	50–100	100–200
0,7–0,8	0,48	0,53	0,98	1,71
0,8–0,9	0,48	0,47	0,94	1,97
0,9–1,0	0,57	0,92	1,28	1,84
1,6–1,7	0,49	0,47	0,93	1,81
1,7–1,8	0,23	0,55	0,89	1,45
2,0–2,1	0,17	0,44	0,75	1,30

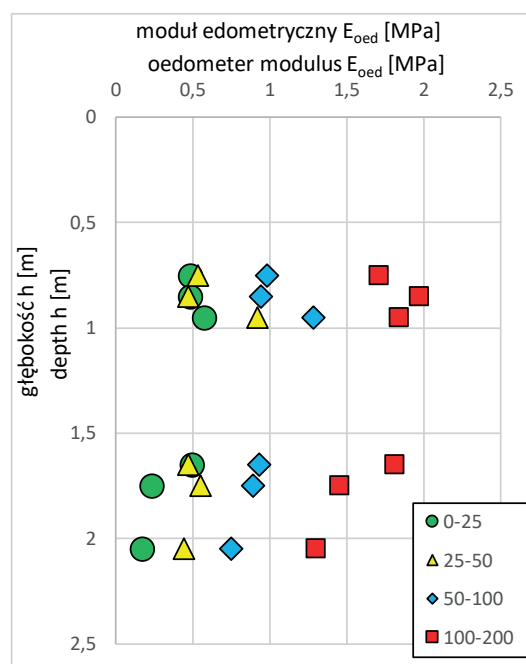
kresu obciążenia, które umożliwiłyby prognozowanie ścisłości młodych, spoistych osadów starorzeczy na podstawie sondowania statycznego CPT. Ogólna formuła wyrażająca zależność między oporem wciskania stożka q_c i edometrycznym modułem ścisłości E_{oed} ma postać liniową (Sanglerat, 1972):

$$E_{oed} = \alpha * q_c$$

Poszukiwanym współczynnikiem dopasowania jest α . Jego wartości rosną wraz z kolejnym krokiem obciążenia. Najmniejsze wartości uzyskano, dopasowując opór na stożku q_c do modułu edometrycznego $E_{oed\ 0-25}$ reprezentującego pierwszy przyrost obciążenia (0–25 kPa) i wynosił on $\alpha = 2,3$, natomiast wartość największa odpowiada przyrostowi obciążenia 100–200 kPa i wynosi $\alpha = 9,5$. Zatem wartość współczynnika dopasowania nie jest stała dla danego typu gruntu, a zależy dodatkowo od zakresu prognozowanego stopnia obciążenia.

Należy przy tym zaznaczyć, że dysponowano jedynie sześcioma oznaczeniami edometrycznego modułu ścisłości dla czterech zakresów obciążeń, które porównywano z sondowaniem CPT, co stanowi raczej minimalną liczebność statystyczną do przedstawiania korelacji. Mimo to uzyskane wskaźniki są dostatecznie wyraźne, aby wskazać charakter zmian wartości współczynnika α w zależności od poszukiwanej odkształcalności w oczekiwanym zakresie obciążenia.

Dysponując wynikami sondowań dylatometrycznych, dokonano próby walidacji dylatometrycznego modułu ścisłości M_{DMT} , uzyskiwanego w warunkach *in situ* poprzez porównanie go z edometrycznym modułem ścisłości E_{oed} .



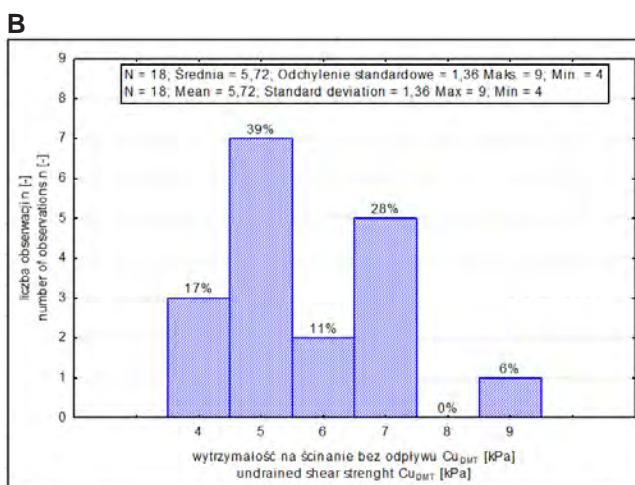
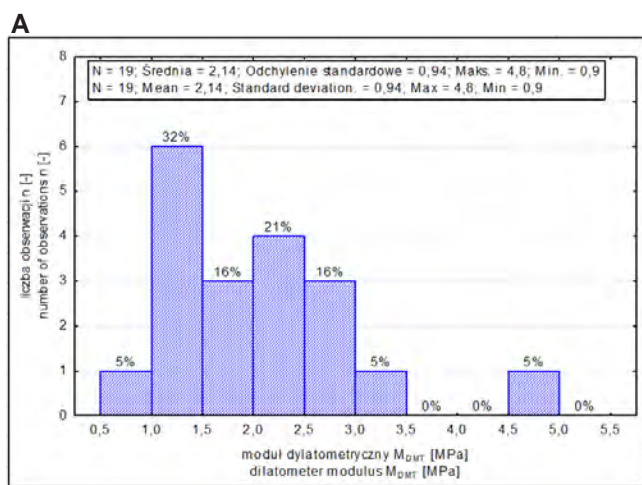
Ryc. 6. Zmienność modułów ścisłości względem głębokości
Fig. 6. Variability of compressibility moduli versus depth

Podobnie jak w przypadku sondowania statycznego, porównanie to wykonano odrębnie dla każdego stopnia obciążenia i reprezentującego go modułu (ryc. 10). W tym celu zaproponowano formułę wyrażającą relację między modułem dylatometrycznym M_{DMT} i edometrycznym modułem ścisłości E_{oed} w następującej postaci:

$$E_{oed} = \beta * M_{DMT}$$

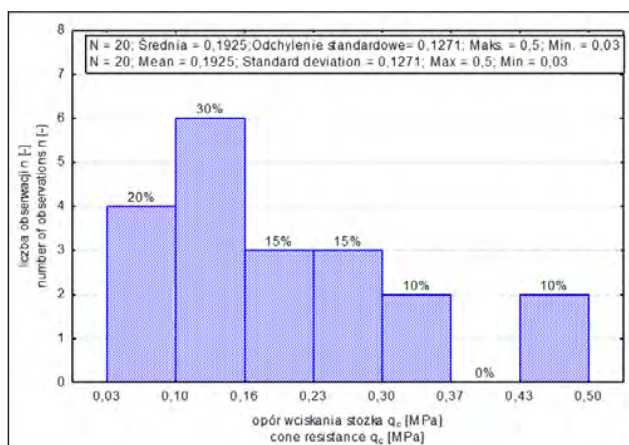
Poszukiwanym współczynnikiem dopasowania jest β . Wykresy (ryc. 10) prezentują wyniki takiej komparacji.

Wartości współczynnika dopasowania β wykazują podobne trendy jak w przypadku współczynnika α . Obserwuje się wzrost wartości β wraz z kolejnymi krokami obciążenia. Najmniejsze wartości uzyskano, dopasowując moduł dylatometryczny M_{DMT} do modułu edometrycznego $E_{oed\ 0-25}$, który reprezentuje pierwszy stopień obciążenia (0–25 kPa) i wynosił on $\beta = 0,23$. Wartość największa odpowiada przyrostowi obciążenia 100–200 kPa i wynosi $\beta = 0,9$. Dodatkowo



Ryc. 7. Histogramy modułu dylatometrycznego (A) oraz niedrenowanej wytrzymałości na ścinanie (B) namułów z Czosnowa uzyskane z badań dylatometrycznych

Fig. 7. Histograms of dilatometer modulus (A) and undrained shear strength (B) of Czosnow muds obtained from dilatometer tests



Ryc. 8. Histogram oporu wciskania stożka uzyskanych dla namulów z badań sondą CPTM

Fig. 8. Histogram of cone resistance obtained for muds from CPTM tests

←

wo w przypadku zestawiania wyników sondowania DMT z badaniami edometrycznymi zaobserwowano lepsze dopasowanie (mniejsze rozrzuty punktów na wykresach) niż przy ich korelacji z sondowaniem CPTM. Zatem można ostrożnie wnioskować, że badanie dylatometryczne lepiej charakteryzuje odkształcalność gruntów słabych niż sondowanie CPTM.

Równolegle wykonane sondowania CPTM i DMT w każdym węzle badawczym dają podstawę do ich wzajemnego porównywania. Dlatego zestawiono opór wciskania stożka q_c oraz moduł dylatometryczny M_{DMT} na odpowiadających sobie głębokościach. Celem tego porównania było wyznaczenie formuły do prognozowania modułu dylatometrycznego na podstawie oporu wciskania stożka. Wynik tej korelacji przedstawiono na wykresie rozrzutu (ryc. 11).

Podobny charakter zależności można znaleźć w literaturze dla sondy CPTU i dylatometru płaskiego (Młynarek i in., 2014).

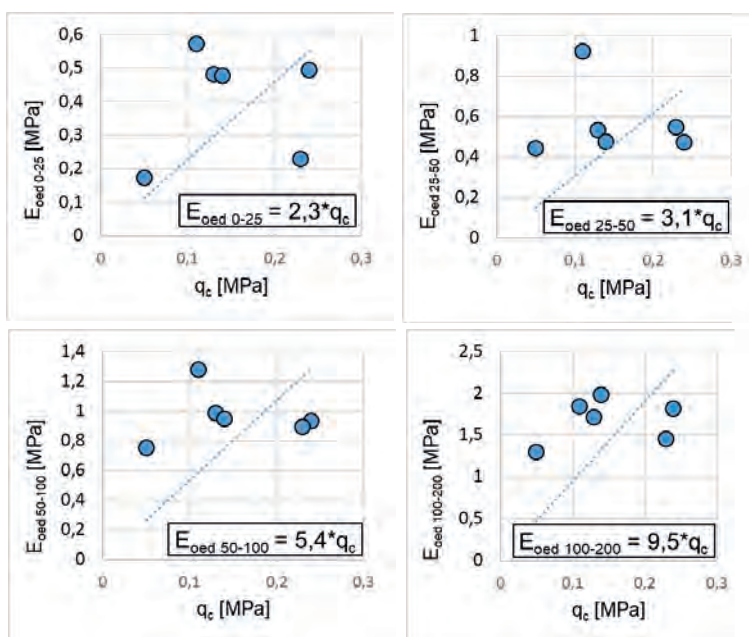
Analizując położenie badanych osadów w profilu geologicznym i pozycję hipsometryczną, napotkano na trudności w jednoznacznym przypisaniu im standardowej/typowej genezy. Są to utwory wypełniające fragment wydłużonego obniżenia, ukształtowanego przez erozję rzeczną. W jej zasięgu, gdy rzeka zmienia swój nurt i opuszcza tę strefę, tworzy się najczęściej jezioro, tzw. starorzecze. Zatem osady powstające w tym miejscu (jeziorze) mają genezę limniczną. Jednak transport materiału i zasilanie osadem tego jeziora odbywa się przede wszystkim w czasie stanów powodziowych, poprzez dostawę i sedymentację cząstek z toni wodnej. Takie warunki są również charakterystyczne dla równi zalewowej (tarasu zalewowego), gdzie z toni wód wezbraniowych powstają mady (osady rzeczne facji powodziowej). Jeśli dodatkowo poziom wody w starorzeczu utrzymuje się na niskich rzędnych lub poniżej powierzchni terenu, to osady partii brzeżnych raczej będą traktowane jako mady, a nie osady jeziorne. Dlatego można wyróżnić strefę przejściową między utworami pochodzenia jeziornego a rzeczno-powodziowego, która charakteryzuje się złożonymi i zmiennymi warunkami sedymentacji, a osady zdeponowane w niej będą miały rzeczno-jeziorną genezę (ryc. 12).

Zgodnie z definicją podaną przez Myślińską (1996), w takich warunkach powstają namuły (ang. *aggrade mud; wrap*), czyli luźne skały okruczowe organiczne, lub organiczno-mineralne, naniesione przez wodę rzeczno-powodziową lub wodę spływającą po stokach. Termin

←

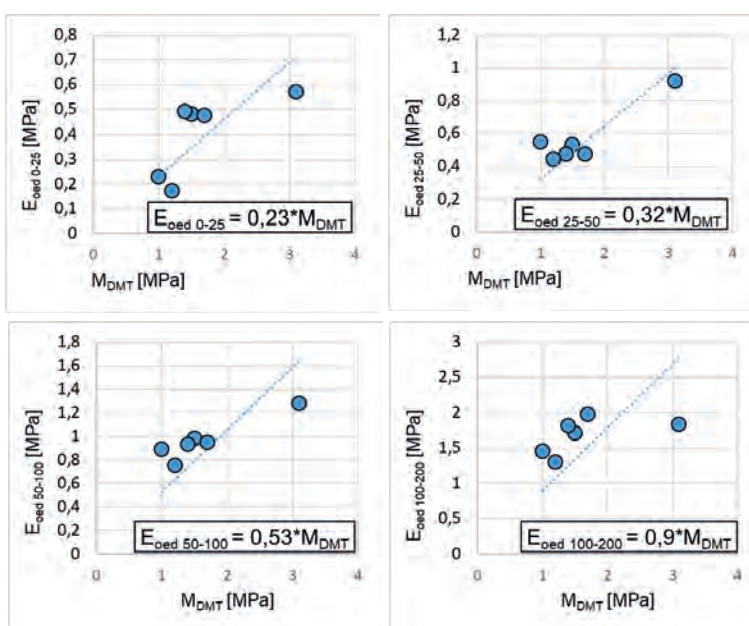
Ryc. 10. Korelacje między modulem dylatometrycznym M_{DMT} a edometrycznymi modułami ściśliwości E_{oed}

Fig. 10. Correlations between dilatometer modulus M_{DMT} and oedometer compressibility moduli E_{oed}



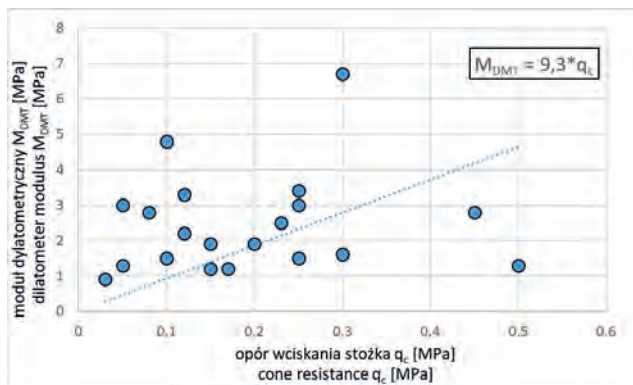
Ryc. 9. Korelacje między oporem wciskania stożka q_c a edometrycznymi modułami ściśliwości E_{oed}

Fig. 9. Correlations between cone resistance q_c and oedometer compressibility moduli E_{oed}



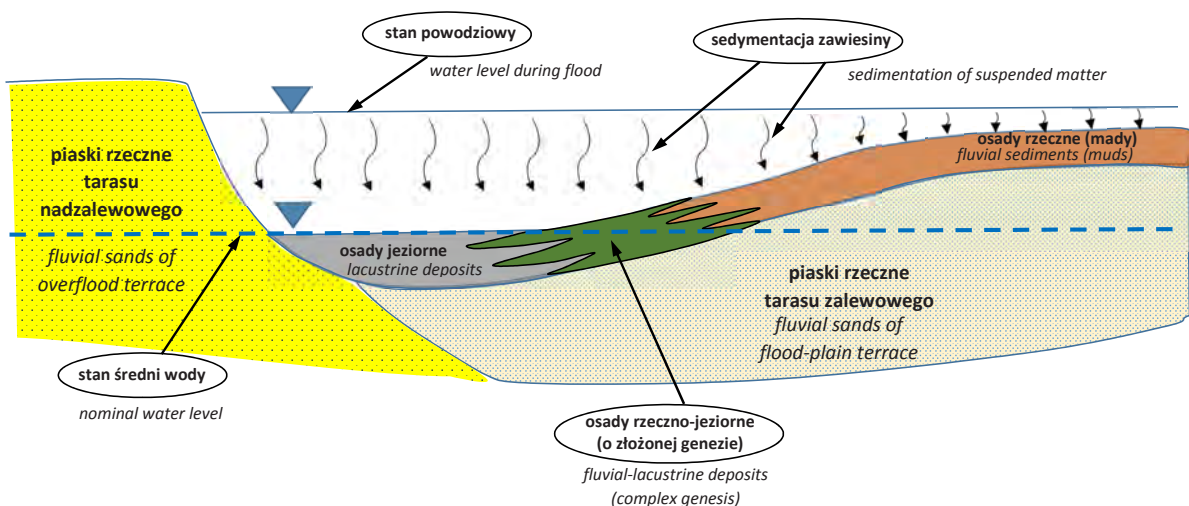
Ryc. 10. Korelacje między modulem dylatometrycznym M_{DMT} a edometrycznymi modułami ściśliwości E_{oed}

Fig. 10. Correlations between dilatometer modulus M_{DMT} and oedometer compressibility moduli E_{oed}



Ryc. 11. Korelacja między oporem wciskania stożka q_c a modulem dylatometrycznym M_{DMT}
 Fig. 11. Correlation between cone resistance q_c and dilatometer modulus M_{DMT}

ścią. Dzięki badaniom edometrycznym wyznaczono ich moduł ściśliwości E_{oed} w czterech zakresach obciążeń. Badania w warunkach *in situ* dostarczyły informacji o zmienności przestrzennej pomierzonych parametrów własnych i pozwoliły na sporządzenie podstawowych statystyk oraz histogramów. Sondowania statyczne CPTM oraz sondowania dylatometryczne DMT powiązано nowymi formułami z modu-



Ryc. 12. Schemat definiowania genezy namulów w różnych strefach sedymentacji
 Fig. 12. Scheme for defining the genesis of muds from different sedimentation zones

oznacza sposób powstawania osadu, nie zawsze jednak ściśle jego genezę. Dlatego namuły mogą być osadem pochodzenia jeziornego, ale także mogą być osadami rzeczno-facji powodziowej (madami).

Termin namuł występuje zarówno w klasyfikacji geologicznej (litologicznej), jak i gruntoznawczej. W niniejszym artykule jest on stosowany raczej jako termin geologiczny, oznaczający osad organiczny, lub organiczno-mineralny naniesiony przez wodę rzeczna. Według PN-86/B-02480 zgodnie z podziałem gruntów organicznych za namuł uznaje się grunt powstały w wyniku osadzania się substancji mineralnych i organicznych w środowisku wodnym.

PODSUMOWANIE

Holocenijskie osady spoiste wypełniające starorzecze w rejonie Czosnowa, na podstawie klasyfikacji gruntoznawczej, okazały się być iłami z domieszką substancji organicznej. Średnia zawartość substancji organicznej wyznaczona metodą utleniania nadtlenkiem wodoru nie przekroczyła granicy 2%. Stosując terminologię geologiczno-litologiczną są to namuły. Ich miąższość w rejonie badań wynosi od ok. 2,5 do 3,5 m. Pod kątem genetycznym uznano je za grunty problematyczne o pochodzeniu rzeczno-jeziornym. Z uwagi na ich stan miękkoplastyczny zaliczono je do gruntów słabonośnych. Przedstawiono zmienność parametrów konsystencji i wybranych parametrów fizycznych wraz z głęboko-

ściem E_{oed} . Przedstawiono także zależność między oporem wciskania stożka q_c oraz modulem dylatometrycznym M_{DMT} . Przedstawione właściwości geologiczno-inżynierskie namulów mogą być wykorzystane do charakterystyki fizyczno-mechanicznej innych podobnych (młodych, holocenijskich) osadów o genezie rzeczno-jeziorniej.

Za wszelkie krytyczne uwagi i sugestie autorzy serdecznie dziękują Panu prof. dr. hab. inż. Jędrzejowi Wierzbickiemu oraz anonimowemu Recenzentowi.

LITERATURA

DOBAK P., KOWALCZYK S. 2011 – Geologiczno-inżynierska analiza występowania gruntów organicznych w podłożu wybranego odcinka autostrady A2. Biul. Państw. Instytut. Geol.-PIB, 446/2: 257–264.
 DRÓŻDŻ A. 2006 – Badania charakterystyk odkształceniowych gruntów słabonośnych. Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ., 15 (1): 53–63.
 FRANKOWSKI Z., PIETRZYKOWSKI P. 2017 – Charakterystyki odkształceniowe lessów południowo-wschodniej Polski. Prz. Geol., 65 (10): 832–839.
 HEAD K.H. 1992 – Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 1: Soil classification and compaction tests. London: Pentech Press.
 HEAD K.H. 2011 – Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility tests. London: Pentech Press.
 ŁADKIEWICZ K., WSZĘDYRÓWNY-NAST M., JAŚKIEWICZ K. 2017 – Porównanie różnych metod oznaczania zawartości substancji organicznej. Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ., 26 (1): 97–107.
 LECHOWICZ Z., SZYMAŃSKI A. 2002 – Odkształcenia i stateczność nasypów na gruntach organicznych. Wyd. SGGW, Warszawa.
 MYŚLIŃSKA E. 1996 – Leksykon gruntoznawstwa. PIG, Warszawa.
 MYŚLIŃSKA E. 2001 – Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania. PWN, Warszawa.

MAJER E., BIAŁOBRZESKI T. 2015 – Oznaczenie pionowego współczynnika konsolidacji (c_v) namulów organicznych metodami IL i CL. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 14 (1): 15–27.

MALINOWSKA E., DOMAŃSKI P. 2013 – Określenie parametrów fizycznych i mechanicznych słabonośnych gruntów organicznych z podłoża trasy S2. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.* 60: 147–157.

MŁYNAREK Z., WIERZBICKI J., LUNNE T. 2023 – The Use of CPTU and DMT Methods to Determine Soil Deformation Moduli—Perspectives and Limitations. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 45 (2023): Issue s1 (December 2023); <https://doi.org/10.2478/sgem-2023-0021>.

MŁYNAREK Z., WIERZBICKI J., GOGOLIK S., BOGUCKI M. 2014 – Shear strength and deformation parameters of peat and gyttja from CPTU, SDMT and VT tests. [W:] CPTU and DMT in soft clays and organic soils. *Exemplum*, Poznań: 193–210.

NEPELSKI K. 2021 – Charakterystyka lessów lubelskich jako podłoża budowlanego. *Prz. Geol.*, 69 (12): 835–849.

NOWAK J., SKOMPSKI S. 1992 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Modlin-Twierdza (486). PIG, Warszawa.

PAPROCKI P., TYMIŃSKI W., KIEŁCZEWSKI T. 2016 – Analiza parametrów geotechnicznych gruntów słabonośnych na przykładzie dokumentowania warunków budowy podłoża gruntowego dla inwestycji liniowej. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.* 25 (3): 347–355.

PN-B-04452:2002 – Geotechnika – Badania polowe

PN-EN 1997-2:2009 – Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego

PN-EN ISO 22476:11 – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 11: Badanie dylatometrem.

PN-EN ISO 22476-12:2009 – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 12: Badanie sondą stożkową (CPTM).

PN-B-02480:1986 – Grunty Budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.

PN-EN ISO 14688-1:2018-05 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikacja gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis.

PN-EN ISO 17892-5:2017-06 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 5: Badania edometryczne gruntów.

SANGLERAT G. 1972 – The penetrometer and soil exploration. Elsevier, Amsterdam.

RAU J. 2024 – Charakterystyka odkształcalności holocenijskich osadów starorzeczy z rejonu Czosnowa (woj. mazowieckie). *Wydz. Geol. UW, Warszawa [pr. magisterska]*.

ZAWRZYKRAJ P., RYDELEK P., BĄKOWSKA A. 2017 – Geo-engineering properties of Eemian peats from Radzymin (central Poland) in the light of static cone penetration and dilatometer tests. *Engineering Geology*. 226: 290–300.

Praca wpłynęła do redakcji 31.07.2024 r.
Akceptowano do druku 30.12.2024 r.



państwowa służba geologiczna

Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby Podziemnego bezzbiornikowego magazynowania i składowania

Praktyczny poradnik okiem geologa inżynierskiego

Poradnik jest skierowany do geologów inżynierskich sporządzających dokumentację geologiczno-inżynierskie na potrzeby podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji lub podziemnego składowania odpadów w górotworze.

Zeskanuj poradnik psg

Zapoznaj się z naszą ofertą

BDGI

ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA POTRZEBY PODZIEMNEGO BEZZBIORNIKOWEGO MAGAZYNOWANIA I SKŁADOWANIA

Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy państwowa służba geologiczna pgi.gov.pl

Zakład Geologii Inżynierskiej i Geotermii Płytkiej tel. 22 450 3609; tel. kom. 607 700 652 e-mail: edyta.majer@pgi.gov.pl

WPGI OGÓLNOPOLSKIE SYMPOZJUM WSPÓŁCZESNE PROBLEMY GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ W POLSCE

NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA i GOSPODARKI WODNEJ

