ELŻBIETA MYŚLIŃSKA
Uniwersytet Warszawski

INŻYNIERSKO-GEOLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA MAD DOLINY WISŁY

UKD 624.131.29mady'4:551.312.3:556.535.6(282.243.61.046+282.4)

Wielokrotne badania litologii oraz właściwości fizyczno-mechanicznych mad pozwoliły na ustalenie prawidłowości, że litologia tych utworów jest odzwierciedleniem sposobu rozwinięcia koryta rzeki, a więc warunków sedymentacji (2, 3, 6). Prawidłowość ta znalazła również potwierdzenie w trakcie badania nad osadami powodziowymi (madami) w dolinie Wisły oraz jej dopływów (Bugu i Sanu; ryc. 1).

W dolinie Wisły badano mady w jej środkowej i dolnej części, tj. w okolicach Annopola (Pilotrowice, Basonia), Warszawy (Świdry Małe, Gocław), Grudziądza (Fordon i Nowe). Zgodnie z klasyfikacją E. Falkowskiego (2, 3) są to osady serii powodziowej rzeki dojrzałej, swobodnej. Według tej klasyfikacji profile w dolinie Sanu (okolice Leżajska) reprezentują osady serii powodziowej rzeki dojrzałej swobodnej, z zaznaczającym się w górnych partiach osadu „dziczeniem" rzeki, natomiast profile w dolinie Bugu (Brok i Gródek) reprezentują osady rzeki dojrzałej, lecz „skrępowanej" obecnością czynników modyfikujących jej rozwój — bruku morenowego oraz ciągów wydm.

Badane utwory leżą na piaskach serii korytowej, miąższość mad waha się od 1,0 do 4,5 m. Górne partie tych utworów występują bądź bezpośrednio na powierzchni, bądź też przykryte są cienką warstwą piasków. Charakterystyczne dla tych profilów są liczne przewarstwienia osadami o odmiennej granulometrii — bardziej piaszczystymi lub bardziej ilastymi, albo też wkładkami piasków. Przewarstwienia te utrudniają niekiedy uogólnienie cech fizyczno-mechanicznych serii, w której występują.

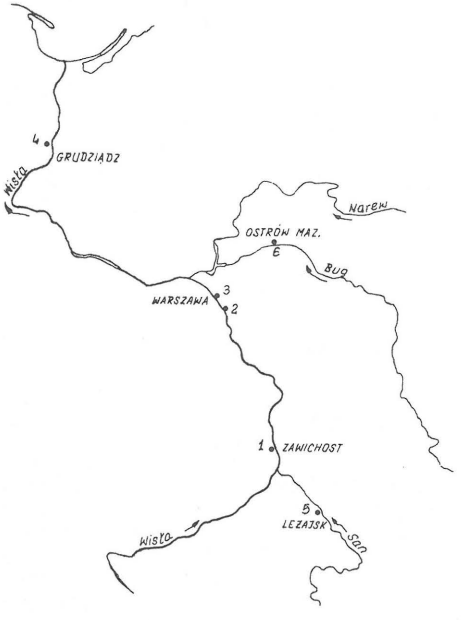
Już w trakcie badań terenowych stwierdzono znaczne zróżnicowanie litologiczne badanych utworów, zaznaczające się zarówno w poziomie, jak i — znacznie wyraźniej — w pionie. Zróżnicowanie to, wynikające przede wszystkim z różnic w składzie granulometrycznym, jest odzwierciedleniem zmieniających się warunków sedymentacji. W omawianych profilach można wyróżnić dwie podstawowe serie mad, zaznaczające się zmiennym wykształceniem w układzie pionowym. Serie te oznaczone jako seria I i II występują prawie we wszystkich omawianych profilach, niezależnie od typu wykształcenia doliny rzecznej. Różnią się one między sobą zarówno litologią, jak i innymi własnościami inżyniersko-geologicznymi (6).

Seria I — odpowiada holoceńskim madom gliniastym o miąższości średnio 1,0—2,5 m. Leży ona na piaskach drobnoziarnistych serii korytowej. Mady tej serii należą do gruntów zwięzło spoistych, bardzo spoistych lub średnio spoistych. Są to osady powodziowe rzeki meandrującej, spokojnej. Osady tego typu rzek odznaczają się wyraźną drobnoziarnistością (2, 1).

Seria II — są to współczesne mady pylasto-piaszczyste o miąższości średnio 0,5—2,0 m. Występują one bezpośrednio na powierzchni terenu, leżąc na madach serii I. Mogą być oddzielone od nich warstwą piasku lub gleby kopalnej. Granulometrycznie serię tę stanowią grunty mało spoiste, rzadziej średnio spoiste. Seria II reprezentuje osady rzeki dzikiej, roztokowej o szybkim przepływie wód (5, 2).

Ryc. 2. Skład granulometryczny badanych próbek mad na trójkącie Fereta.
1 — mady serii I, 2 — mady serii II.

Fig. 2. Granulometric composition of the studied samples in the Feret's triangle.
1 — muds of series I, 2 — muds of series II.



Ryc. 1. Lokalizacja obszarów badań.

Fig. 1. Location of the studied areas.

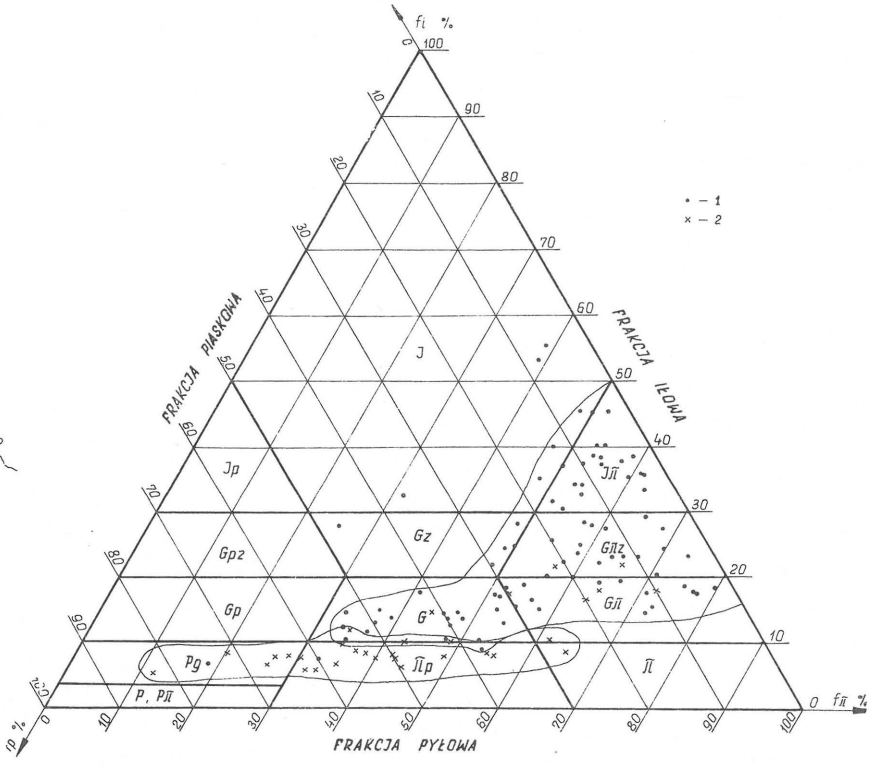


Tabela I

GRANICE KONSYSTENCJI ORAZ WSKAŹNIK AKTYWNOŚCI KOLOIDALNEJ (OD — DO / ŚREDNIA)

Obszar	Granica plastyczności %		Granica płynności %		Wskaźnik plastyczności %		Wskaźnik aktywności koloidalnej	
	S.I	S.II	S.I	S.II	S.I	S.II	S.I	S.II
1. Okolice Annopola	19—30 / 24	17—21 / 19	36—78 / 57	—	17—52 / 33	14,9	0,86—1,11	0,83
2. Okolice Warszawy (Świdry Małe)	17—31 / 22	13—24 / 20	28—63 / 39	26—44 / 32	9—32 / 18	4—21 / 10	0,71—1,18	0,78—1,08
3. Warszawa – Gocław	18—51 / 30	—	46—176 / 95	—	28—125 / 64	—	>1	—
4. Okolice Grudziądza	23—30 / 26	21—26 / 23	38—50 / 43	—	12—20 / 16	—	0,68—1,14	—
5. Okolice Leżajska	27—40 / 33	23—26 / 25	27—76 / 60	42—44 / 43	18—38 / 27	17—18 / 18	0,82—1,06	0,81—1,15
6. Okolice Broku i Gródka	20—27 / 22	—	33—58 / 39	—	12—16 / 14	—	0,85—1,12	—

Litologicznie mady tej serii są znacznie bardziej gruboziarniste oraz bardziej zróżnicowane, co jest wynikiem warunków ich sedymentacji, charakteryzujących się przede wszystkim dużą amplitudą wahań przepływów w korycie oraz przeciążeniem rzeki transportowanym rumowiskiem (4).

Dla określenia własności geologiczno-inżynierskich badanych mad obu serii oznaczono ich cechy fizyczne, mechaniczne oraz skład mineralny.

Skład granulometryczny badanych próbek mad przedstawiono na trójkącie Fereta (ryc. 2). Jak wynika z badań mady serii I są najczęściej iłami pylastymi, glinami pylastymi zwięzłymi i glinami pylastymi bądź glinami. Są to więc utwory pylaste o zawartości frakcji iłowej najczęściej 15—40% i piaskowej 5—55% (najczęściej do 30%). Mady serii II są to głównie piaski gliniaste i pyły piaszczyste o zawartości frakcji iłowej 5—10% i frakcji piaskowej 30—70%. Tak więc laboratoryjne badania składu granulometrycznego potwierdzają wydzielenia makroskopowe. Wydzielone serie w całej masie różnią się znacznie między sobą składem granulometrycznym.

Wilgotność naturalna badanych utworów jest bardzo zmienna i wynosi 13—49% dla mad serii I (najczęściej 23—45%) i 4—34% dla mad serii II (najczęściej 13—28%). Mimo znacznych wahań wilgotności, wynikających z pobierania próbek w różnych latach i różnych okresach zaznaczają się różnice wilgotności dla wydzielonych serii. Mady serii I są z reguły bardziej wilgotne niż mady serii II.

Ponieważ skład mineralny wielofazowego układu, jaki stanowią badane utwory, w dużej mierze wpływa na ich własności fizyczno-mechaniczne, za pomocą analizy derywatografficznej, rentgenograficznej i elektromikroskopowej ustalony został skład mineralny badanych utworów madowych. Analiza otrzymanych wyników pozwoliła na wyróżnienie następujących minerałów, występujących zarówno w madach serii I, jak i II, lecz nieco zmiennych proporcjach:

1 — minerały główne: kwarc, minerały ilaste (montmorylonit, hydrołyszczyki);
2 — minerały poboczne: tlenki i wodorotlenki żelaza, węglany;
3 — minerały dodatkowe: skalenie.

Ponadto w obu seriach stwierdzono występowanie zmiennych ilości substancji organicznej. Najwyższą procentową zawartość substancji organicznej (oznaczonej metodą Tiurina) obserwuje się w madach serii I z Gocławia (do 11%), a najniższą w madach z Broku i Gródka (0,2—1,72%). Na ogół mady serii II posiadają nieco mniej części organicznych niż mady serii I.

Wartości gęstości właściwej szkieletu gruntowego badanych mad wahają się w granicach od 2,67 do 1,75 Mg/m³ dla serii I i od 2,65 do 2,74 Mg/m³ dla mad serii II, co jest wynikiem przede wszystkim większej zawartości związków żelaza w serii I.

Gęstość objętościowa wynosi od 1,70 do 2,00 Mg/m³ dla mad serii I od 1,46 do 1,90 Mg/m³ dla mad serii II.

Porowatość równa jest 0,39 do 0,56 w serii I i 0,43 do 0,53 w serii II.

Stopień wilgotności badanych próbek mad jest bardzo zmienny i waha się w granicach 0,14 do 1,0, najczęściej jednak mady charakteryzują się stopniem wilgotności od 0,8 do 0,99. Mady serii I z reguły wykazują wyższy stopień wilgotności niż mady serii II.

Granica plastyczności wynosi od 18% do 51% w serii I i od 13% do 26% w serii II i jest zawsze wyższa od mad serii I (tabela I).

Granica płynności waha się od 27% do 176% dla mad serii I i od 26% do 44% dla mad serii II. Najwyższe wartości granic płynności wykazują mady serii I z Gocławia (do 176%) pozostałe mady serii I posiadają granicę płynności do 78%.

Wskaźnik plastyczności wynosi 17—128% w serii I i 4—21% w serii II. Jest on tak jak i obie granice wyższy dla mad serii I.

Wskaźnik aktywności koloidalnej wyliczony według A. W. Skemptona dla badanych mad jest bardzo zmienny i wynosi 0,71—1,18 (najczęściej 0,79—1,00) dla mad serii I i 0,78—1,15 dla mad serii II. Tak znaczne różnice w wartości wskaźnika aktywności zaznaczające się w poszczególnych seriach wynikają głównie ze zmiennej zawartości frakcji piaskowej oraz części organicznych. Należy więc spodziewać się, że obok zawartości frakcji iłowej i wilgotności te dwa kolejne parametry będą wpływały na kształtowanie się własności mechanicznych badanych utworów.

Jak wynika z uzyskanych danych (tabela II) wartości całkowitego kąta tarcia wewnętrznego wyznaczone w aparacie trójosiowego ściskania wahają się w granicach 4—23° dla mad serii I i 13—27° dla mad serii II, przy czym dla mad serii I większość próbek charakteryzuje się wartością kąta tarcia wewnętrznego do 20°. Próbki mad wykazujące wartości kąta tarcia wewnętrznego niższe niż 10°, granulo-

Tabela II

KĄT TARCIA WEWNĘTRZNEGO, SPÓJNOŚĆ ORAZ MODUŁ ŚCIŚLIWOŚCI

Obszar	Kąt tarcia wewnętrznego (Φ°)		Spójność (c kPa)		Moduł ściśliwości (M_0MPa)	
	S.I.	S.II	S.I	S.II	S.I	S.II
1. Okolice Annopola	4°—23°	15°—26°	30—70	24—50	2,3—4,7 / 3,4	—
2. Okolice Warszawy (Świdry Małe)	10°—16°	14°—27°	15—87	18—48	1,8—3,9 / 2,8	2,7—3,5 / 3,2
3. Warszawa-Gocław	—	—	—	—	0,8—4,8 / 2,2	—
4. Okolice Grudziądza	10°—21°	13°—27°	7—22	10—25	1,2—3,4 / 2,4	3,7—4,4 / 4,1
5. Okolice Leżajska	—	—	—	—	2,1—4,9 / 3,4	2,4—4,2 / 3,0
6. Okolice Broku i Gródka	4°—13°	—	30—70	—	2,8—6,0 / 4,3	4,4—4,9 / 4,6

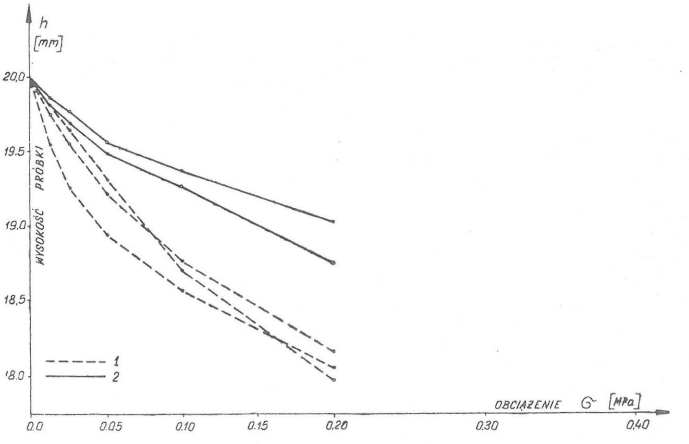
metrycznie najczęściej są iłami bądź glinami zwięzłymi w stanie plastycznym i miękkoplastycznym lub też glinami w stanie miękkoplastycznym. Gliny piaszczyste i pyły w stanie twardoplastycznym i plastycznym posiadają wyższe wartości kąta tarcia wewnętrznego. Tak więc wyższe na ogół wartości kąta tarcia wewnętrznego dla mad serii II są wynikiem ich odmiennej granulometrii i zazwyczaj niższej wilgotności. Spójność całkowita badanych próbek wynosi 7—87 kPa. Spójność efektywna jest nieco niższa, lecz mieści się też w tych przedziałach wartości. Spójność mad serii II jest na ogół niższa niż serii I.

Edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej w zakresie od 0 do 0,2 PMa wynosi dla serii I 0,8 do 4,9 MPa, a dla serii II 2,4 — 4,9 MPa. Średnie i skrajne wartości modułów ściśliwości podano w tabeli II, a krzywe ściśliwości wybranych próbek na ryc. 3. Moduł ściśliwości pierwotnej w większości profilów jest niższy dla mad serii I w porównaniu z madami serii II. Różnice ściśliwości mad obu serii, wyrażone różnymi wartościami modułu ściśliwości, wynikają przede wszystkim z różnej wilgotności tych serii, różnej zawartości frakcji iłowej oraz substancji organicznej.

Z przeprowadzonych badań wynika szereg wniosków natury ogólnej. Można przede wszystkim stwierdzić, że mady wydzielonych serii znajdujących się w dolinie Wisły mają w obrębie danej serii dość wyrównane własności.

Wydzielona seria I mad reprezentuje osady rzeki meandrującej, spokojnej, co znajduje swój wyraz w podwyższonej zawartości frakcji iłowej oraz niekiedy substancji organicznej. Ze względu na te czynniki litologiczne oraz na fakt, że seria ta leży niżej, zwykle pokryta osadami serii II, a niekiedy i glebą kopalną, mady tej serii charakteryzują się na ogół wyższą wilgotnością niż mady serii II występujące w tym samym profilu. Stan gruntów serii I jest zmienny, lecz w większości przypadków charakteryzują się one konsystencją plastyczną. Mady tej serii posiadają też wyższe granice wartości granic plastyczności i płynności niż mady serii II. Wobec zbliżonego składu mineralnego frakcji iłowej obu serii, przyczyn zróżnicowania ich własności fizyczno-mechanicznych należy szukać w ich granulometrii (rożnej zawartości frakcji iłowej), wilgotności i zawartości substancji organicznej.

Seria II mad odpowiada osadom rzeki dzikiej (roztokowej) o znacznie szybszym przepływie wód.



Ryc. 3. Krzywe ściśliwości wybranych próbek.
1 — mady serii I, 2 — mady serii II.

Fig. 3. Compressibility curves of selected samples.
1 — muds of series I, 2 — muds of series II.

Wynikiem tego jest podwyższona zawartość frakcji grubszych (pyłowej i piaskowej) w madach tej serii przy obniżonej zawartości frakcji iłowej. Mady tej serii mają na ogół niższą wilgotność naturalną oraz z reguły niższe wartości granic konsystencji niż mady serii I. Stan gruntów serii II jest zmienny, a konsystencja zwarta lub plastyczna.

Profile rzeki dojrzałej swobodnej różnią się litologią od profilów rzeki dojrzałej swobodnej z obecnością czynników modyfikujących ich rozwój. Są one bardziej jednorodne litologicznie, zawierają znacznie mniej przewarstwień piaszczystych. W świetle powyższych badań wydaje się więc, że cechy morfogenetyczne mogą być głównym kryterium przy ocenie litologii i własności inżyniersko-geologicznych utworów madowych.

LITERATURA

1. Allen J. R. L. — Physical processes of sedimentation. An introduction. George Allen und Unwin Ltd. London 1970.

2. Falkowski E. — Ewolucja holoceńskiej Wisły na odcinku Zawichost—Solec i inżynierisko-geologiczna prognoza jej dalszego rozwoju. Biul. Inst. Geol. nr 198, Z badań geologiczno-inżynierskich w Polsce, 1967, t. 4.
3. Falkowski E. — Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW 1971, t. 12.
4. Falkowski E., Szumański A. — Problemy inżyniersko-geologicznego kartowania den dolin rzek nizinnych w strefie klimatu umiarkowanego. Aktualne problemy geologii inżynierskiej, Mat. II Międzyn. Kongr. IAEG, Warszawa 1975.
5. Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P. — Fluvial processes in geomorphology. W. H. Freeman Co, San Francisco—London 1964.
6. Myślińska E., Falkowski E., Hoffmann E., Kulesza-Wiewióra K. i in. — Ustalenie parametrów geotechnicznych dla mad oraz gruntów lessowych i lessopodobnych z uwzględnieniem ich litologii, genezy i warunków występowania. Sprawozdanie merytoryczne (1976, 1977, 1978, 1979) cz. I, II, III, IV (maszynopis Wydz. Geol. UW).

SUMMARY

The paper presents the results of analyses of properties of muds deposited in valleys of the Vistula River and its selected tributaries. A marked differentiation of the muds was found already in the course of field studies. Two major series (I and II) were recognized in the vertical section. The series may be traced in almost all the studied section, regardless the mode of development of a river valley. Laboratory studies confirmed the validity of that subdivision. The two series differ in both lithology and other engineering-geological properties.

The series I is represented by deposits of meandering, slowly flowing river. It is characterized by fine-grained deposits, i.e. those with increased content of clay fraction. Moreover, in comparison with deposits of the series II, the muds are more moist, plastic and compressible.

The mud series II corresponds to deposits of wild, braided river with markedly quicker flow of water. This results in higher share of coarse (silt and sand) fractions in the muds and, therefore, differences in their physico-mechanical properties in relation to muds of the series I.

The results of the studies implicate that morphogenetic features may be a leading criterior for evaluating lithological and engineering-geological properties of mud deposits.

РЕЗЮМЕ

Описаны исследования в области анализа свойств пойменной почвы в долине Вислы и некоторых её притоков. Полевыми исследованиями была выказана значительная дифференциация пойменных почв. В вертикальном расположени иможно выделить две основные серии (I и II). Они встречаются почти во всех профилях, независимо от типа развития речной долины. Лабораторные исследования подтвердили правильность этого выделения. Выделенные серии отличаются от себя как литологией, так и другими геолого-инженерными свойствами.

I серия представляет собой осадки спокойной, меандрирующей реки. Характеризируется мелкозернистостью, то есть повышенным содержанием глинистой фракции. В сравнении с осадками второй серии, пойменные почвы первой серии более влажные, более пластические и более сжимательные.

II серия — это осадки дикой реки с гораздо быстрейшим течением. Характеризируются повышенным содержанием более крупной фракции (пылевой и песчаной), что оказывает влияние на различие физико-механических свойств этих пойменных почв в сравнении с осадками I серии.

На основании проведенных исследований автор приходит к выводу, что морфогенетические свойства могут быть основным критерием оценки литологических и геолого-инженерных свойств пойменных почв.