

ANALIZA DOKŁADNOŚCI DWUPUNKTOWEJ METODY WYZNACZANIA GRANICY PŁYNNOŚCI GRUNTÓW

DUŻY wpływ na przydatność gruntów jako podłoża budowli ma wilgotność gruntu. Zawartość wody w gruntach spoistych decyduje o ich konsystencji. W miarę nasycania wodą grunty pęcznieją i przechodzą w stan plastyczny, a przy dalszym nawodnieniu mogą przejść nawet w stan płynny. Wilgotności gruntu odpowiadające przejściu z jednego stanu w drugi nazywamy granicami konsystencji. Konsystencję gruntów spoistych charakteryzuje stopień plastyczności (Sp) gruntu. Stopień plastyczności jest jedną z cech fizycznych, cechujących środowisko dla potrzeb budowlanych. Dotychczas, aby oznaczyć stopień plastyczności przeprowadza się badanie granic płynności, plastyczności oraz oznacza się wilgotność naturalną gruntu. Powszechnie znaną metodą oznaczania granicy płynności jest metoda Cassagrande'a ujęta w normie PN-59/B-04489. Jako wartość granicy płynności gruntów (Ly) przyjmuje się wilgotność, przy której znormalizowana bruzda rozdzielająca próbkę gruntu w miseczce Cassagrande'a zleje się na długości 10 mm i wysokości 1 mm. Dla oznaczenia tej wartości wg powyższej metody konieczne jest określenie od 4 do 6 wilgotności gruntu, który zlewa się przy różnej ilości uderzeń (w zakresie od 10 do 40 uderzeń).

Wartość granicy płynności interpoluje się przy tym graficznie, przez naniesienie wartości wilgotności na siatkę półlogarytmiczną, zależnie od ilości uderzeń i połączenia ich prostą. Prosta ta, zwana linią płynięcia, powinna przechodzić przez wszystkie punkty, jednak wynik uważa się za wystarczająco dokładny, jeśli co najmniej 3 punkty znajdują się na prostej, a pozostałe są od niej oddalone nie więcej niż o 0,5% poszczególnych wilgotności. Granicą płynności będzie wilgotność odpowiadająca punktowi przecięcia linii płynięcia z prostą, odpowiadającą 25 uderzeniom.

Jakkolwiek wyznaczenie granicy płynności metodą Cassagrande'a jest szeroko stosowane, to jednak obarczone jest pewnymi błędami. A. Piaskowski i Z. Kowalewski (2) klasyfikują błędy te na główne grupy, z których dwie związane są bezpośrednio ze sposobem wykonywania analizy, a mianowicie:

- błędy przypadkowe, będące funkcją dokładności danej metody oznaczenia i wprawy pracownika,
- błędy systematyczne wynikające z niedokładności stosowanej aparatury lub metody.

W wyniku analizy błędów przy określeniu stopnia plastyczności autorzy doszli do następujących wniosków:

- a) metody oznaczania Lp i Ly nie są w pełni obiektywne, gdyż różne osoby mogą otrzymywać dla tych samych gruntów wartości różniące się znacznie więcej niż wynosi błąd przeciętny,
- b) dokładność oznaczeń Ly jest na ogół większa niż dokładność oznaczeń Lp ,
- c) wartości oznaczenia błędów względnych Ly i Lp nie zależą od rodzaju gruntu, jeśli uwzględnić jedynie dwie grupy: przy wskaźniku plastyczności $Wp < 30,0\%$ i $Wp > 30,0\%$,
- d) przypadkowe błędy oznaczeń mogą dochodzić do 7 — 8% względnych, nawet przy dużej dokładności wykonania oznaczeń,
- e) wyraźny wpływ na wartość Ly mają różnice temperatur przy poszczególnych pomiarach.

Jak widać z powyższego, badanie granicy płynności jest obarczone pewnymi błędami, których nie da się uniknąć, ze względu na pewną umowność samego wykonania analizy.

Analizując linię płynięcia gruntów naukowcy brytyjscy, amerykańscy, następnie kanadyjscy (4) stwierdzili, że nachylenia tych prostych są do siebie bardzo zbliżone. Fakt ten spowodował poszukiwanie takich wzorów, które pozwoliłyby określić wartość Ly , mając tylko jedną zależność wilgotności od ilości uderzeń. Szereg autorów zagranicznych podaje różne wzory, które zostały ustalone empirycznie, na drodze analizy statystycznej.

Pierwszymi autorami wzorów dla polskich gruntów byli S. i R. Szmoniewscy (4). Wzór dla tych gruntów oparty jest na wzorze L. H. J. Normana:

$$Ly = W \frac{N}{25} / 0,092$$

gdzie Ly — granica płynności,

W — wilgotność przy N ilości uderzeń,

N — ilość uderzeń miseczki aparatu,

S. i R. Szmoniewscy zmodyfikowali ten wzór przez zmianę wykładnika postępowego proponując wzór o następującej postaci:

$$Ly = W \frac{N}{25} / 0,05$$

Na podstawie wymienionego wzoru autorzy ci sporządzili tabelę przeliczeniową (tab. I), ułatwiającą obliczanie granicy płynności.

Obliczenie granicy płynności tą metodą polega na przemnożeniu wilgotności pasty gruntowej odpowiadającej ilości uderzeń N przez współczynnik przewidziany dla tej ilości uderzeń. W ten sposób przeliczona wilgotność odpowiada granicy płynności.

Za wynik ostateczny autorzy ci zalecają przyjmować średnią arytmetyczną z dwóch wartości, jeśli różnica wyników nie przekracza 5% mniejszej z nich,

Tabela I

N	$\frac{N}{25} / 0,05$	N	$\frac{N}{25} / 0,05$	N	$\frac{N}{25} / 0,05$
10	0,955	20	0,989	30	1,009
11	0,960	21	0,991	31	1,011
12	0,964	22	0,994	32	1,013
13	0,968	23	0,996	33	1,014
14	0,971	24	0,998	34	1,016
15	0,975	25	1,000	35	1,017
16	0,978	26	1,002	36	1,018
17	0,980	27	1,004	37	1,020
18	0,984	28	1,006	38	1,021
19	0,986	29	1,007	39	1,023
				40	1,023

lub średnią arytmetyczną z kilku wartości przy większej różnicy wyników. Następnie zalecają oni stosować wyżej cytowany wzór dla gruntów z obszaru całego kraju łącznie z gruntami organicznymi. Ze względu na możliwości uzyskania korzyści ekonomicznych przy masowych oznaczeniach dla celów praktyki inżyniersko-geologicznej, metodą tą zainteresowali się pracownicy Geoprojektu.

Wykorzystując materiały archiwalne i bieżąco wykonywane badania laboratoryjne poddano analizie porównawczej wyniki oznaczeń granicy płynności wykonane metodą dwupunktową i normową, z próbek gruntów z obszaru całego kraju z różnych utworów geologicznych, obejmujących wszystkie rodzaje gruntów spoistych. Są to utwory genetycznie i stratygraficznie różne. Reprezentują one utwory trzeciorzędowe (miocen, pliocen) i czwartorzędowe (plejstocen, holocen). Genetycznie są to osady jeziorne, wietrzelskowe, lodowcowe, międzylodowcowe, aluwia oraz deluwia.

Tabela II

Lp.	Symbol grupy	Rodzaj gruntów	Stan gruntów	Ilość próbek
1	I-A	Piaski gliniaste, pyły piaszczyste, pyły.	twardo-plastyczny	29
2	I-B	„	plastyczny	36
3	I-C	„	miętko-plastyczny	17
4	II-A	Gliny piaszczyste, gliny, gliny pylaste.	twardo-plastyczny	33
5	II-B	„	plastyczny	64
6	II-C	„	miętko-plastyczny	30
7	III-A	Gliny piaszczyste ciężkie, gliny ciężkie, gliny pylaste ciężkie.	twardo-plastyczny	34
8	III-B	„	plastyczny	42
9	III-C	„	miętko-plastyczny	11
10	IV-A	Iły, iły pylaste, iły przewarstwione pyłami.	twardo-plastyczny	52
11	IV-B	„	plastyczny	26
12	V-A	Grunty próchniczne obejmujące ww. grunty z zawartością od 2 do 5% części organicznych	twardo-plastyczny	5
13	V-B	„	plastyczny	26
14	V-C	„	miętko-plastyczny	20
15	VI-A	Namuły organiczne, namuły organiczne pylaste, namuły organiczne ilaste	twardo-plastyczny	11
16	VI-B	„	plastyczny	35
17	VI-C	„	miętko-plastyczny	25
R a z e m				496

Utwory trzeciorzędowe reprezentowane są przez miocenne iły krakowieckie i plicenne iły poznańskie — pstry oraz utwory wietrzelskowe piaszczyste. Czwartorzęd reprezentują utwory plejstocenu, jak gliny morenowe wykształcone w trzech poziomach; rozdziela je osady wodno-lodowcowe; zupełnie odmienne litologicznie serie utworów załoziskowych (mułkowych), wykształconych w postaci ilów wstęgowych oraz utwory holocenne — aluwia. Z osadów aluwialnych, najbardziej różnorodnych pod względem litologicznym, badano mady lekkie i mady ciężkie, które cechuje duża różnorodność pod względem ilościowym zawartości detrytus roślinnego.

Analizie porównawczej poddano wszystkie rodzaje gruntów spoistych rodzimych przewidzianych klasyfikacją geologiczno-inżynierską. Zestawione grunty podzielono na 6 grup zależnie od spoistości.

- I — grunty mineralne rodzime o zawartości frakcji ilowej do 10%,
- II — grunty mineralne rodzime o zawartości frakcji ilowej od 10—20%,
- III — grunty mineralne rodzime o zawartości frakcji ilowej od 20—30%,
- IV — grunty mineralne rodzime o zawartości frakcji ilowej powyżej 30%,
- V — grunty próchniczne o zawartości części organicznych od 2 do 5%,
- VI — namuły organiczne o zawartości części organicznych od 5—30%.

Każdą grupę podzielono na trzy podgrupy zależnie od konsystencji próbek gruntów przez oznaczenie symbolem:

- A — dla gruntów twardoplastycznych,
- B — dla gruntów plastycznych,
- C — dla gruntów miętkoplastycznych.

Tabela III

Symbol grupy gruntów	Średni błąd względny L_y %	Zakres błęd bezwzględny L_y %		Średni błąd bezwzględny S_p w %
I-A	0,232	- 2,89	+ 1,08	+ 1,05
I-B	0,239	- 2,67	+ 1,91	+ 2,17
I-C	0,173	- 2,24	+ 1,00	+ 1,08
II-A	0,265	- 3,07	+ 1,21	0,00
II-B	0,214	- 2,26	+ 1,38	+ 1,10
II-C	0,176	- 1,49	+ 0,89	+ 1,30
III-A	0,259	- 1,98	+ 0,62	+ 0,74
III-B	0,192	- 1,47	+ 1,01	+ 0,28
III-C	0,152	- 0,71	+ 0,53	0,00
IV-A	0,152	- 1,72	+ 0,51	+ 1,12
IV-B	0,344	- 1,37	+ 0,67	+ 0,29
V-A	0,100	- 0,14	+ 0,08	0,00
V-B	0,262	- 1,50	+ 1,70	+ 0,54
V-C	0,255	- 1,88	+ 0,28	+ 0,47
VI-A	0,458	- 0,46	+ 1,10	0,00
VI-B	0,185	- 0,50	+ 1,77	- 0,76
VI-C	0,420	- 1,43	+ 0,66	- 0,72

Tabela IV

Lp.	Rodzaj utworów	Zakres błędu bezwzględnego L_y %		Większość próbek gruntów wyznaczonych błędem ze znakiem
1	Morenowe	- 3,07	+ 1,38	-
2	Międzymorenowe	- 1,98	+ 1,91	-
3	Aluwialne	- 1,88	+ 1,77	+
4	Morskie i jeziorne	- 1,72	+ 0,68	±
5	Wietrzelistkowe	- 1,30	+ 0,66	-

Obliczone średnie wartości stopnia plastyczności (Sp) przyjmują obie wartości L_y zarówno wyznaczone metodą dwupunktową, jak i metodą normową. w celu wykazania wielkości błędu bezwzględnego w uzyskanych wynikach Sp .

Uzyskane wyniki porównano w odniesieniu do metody normowej. W tym celu opracowano 17 tabel, w których zestawiono 496 próbek gruntów obejmujących 992 przeliczenia granicy płynności metodą dwupunktową.

Szczegółowy wykaz rozpatrywanych gruntów oraz ilości próbek przedstawia tab. II.

Jako ostateczną wartość L_y dla poszczególnych próbek, wyznaczoną metodą dwupunktową przyjmowano średnią arytmetyczną z dwóch wartości, z których jedną obliczono zwykle przy zakresie 10—25 uderzeń, a drugą 25—40 uderzeń miseczki Cassagrande'a.

Z kolei obliczono różnicę między granicami płynności wyznaczonymi każdą z metod, otrzymując względną wartość błędu w procentach.

Dla poszczególnych grup gruntów określono poza tym średni błąd względny wg wzoru:

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum \lambda^2}{n}}$$

gdzie λ — względna wartość błędu,
 n — ilość próbek.

Następnie obliczono względny procent błędu dla poszczególnych próbek, a skrajne wartości wykazano w tab. III.

W tab. III przedstawiono poza tym średni błąd względny w wyniku obliczenia granicy płynności L_y w stosunku do metody normalnej dla poszczególnych grup gruntów oraz wartość błędu bezwzględnego dla stopnia plastyczności — Sp .

Analizując wartość zakresu błędów bezwzględnych L_y zależnie od pochodzenia geologicznego próbek gruntów sporządzono tab. IV. Przedstawia ona rodzaje utworów, które zestawiono w kolejności malejących rozpiętości błędów granicy płynności.

Rozkład błędów bezwzględnych dla granicy płynności obliczonej metodą dwupunktową wszystkich zestawionych próbek gruntów przedstawia tab. V.

WNIOSKI

1. Na podstawie analizy wykonanych zestawień można stwierdzić ogólnie, że możliwość zaistnienia poważniejszych błędów, przy stosowaniu dwupunktowej metody w stosunku do normowej, jest mało prawdopodobna. Warunkiem prawidłowego oznaczenia L_y będzie przede wszystkim dokładność wyznaczenia 2 punktów płynięcia.
2. W celu zmniejszenia błędu wyznaczania granicy płynności skróconą metodą S. i R. Szmoniewskich wydaje się celowe wprowadzenie dodatkowych zaleceń, a mianowicie:
 - a) każdy z punktów płynięcia powinien być w oddzielnym przedziale obejmującym 10—25 uderzeń i 25—40 uderzeń;
 - b) jeśli w całości wyznaczonej granicy płynności różnią się między sobą ponad 5% względnych,

Tabela V

Zakres błędu %	Procent ogólnej ilości przypadków	Suma %
0,0	28,4	28,4
0,0 — 0,5	32,4	60,8
0,5 — 1,0	21,9	82,7
1,0 — 1,5	11,5	94,2
1,5 — 2,0	4,4	98,6
2,0	1,4	100,0

należy wykonać oznaczenie trzecie, a za wynik ostateczny przyjąć średnią arytmetyczną z dwóch najmniej różniących się w całości.

3. Proponowana dwupunktowa metoda wyznaczania granic płynności, poza zmniejszeniem ilości określeń „punktów płynięcia” daje wyniki odpowiadające dość ściśle wynikom uzyskanym metodą normową (a nawet dość duża ilość przypadków — 28,4% błędów nie wykazuje). Ponieważ przy stosowaniu oznaczeń wyżej uproszczoną metodą stwierdza się minimalne błędy, które na wartość stopnia plastyczności nie mają, praktycznie biorąc, istotnego wpływu, wydaje się celowe wprowadzenie tej metody do normalnej produkcji przedsiębiorstw inżyniersko-geologicznych.
4. Przewiduje się, że przy stosowaniu dwupunktowej metody wyznaczania granicy płynności skróci się pracochłonność wykonania tej analizy około 50%, jak również w tej wysokości zmniejszy się zużycie sprzętu (suszarka, aparat Cassagrande'a itp.) oraz zużycie energii elektrycznej.
5. Analizując zestawienia zbiorcze (tab. IV) stwierdzono, że wyznaczone metodą dwupunktową wartości L_y dla gruntów mineralnych rodzimych są nieco zawyżone, a dla gruntów organicznych zaniżone. Należy podkreślić, że porównanie to odniesiono do metody normowej, która jak wiadomo, jest w pewnym stopniu obciążona błędami.
6. Jeśli chodzi o wpływ pochodzenia geologicznego utworów, zaobserwowano, że dla utworów morenowych, międzymorenowych i wietrzelistkowych przeważają wartości L_y zawyżone, a zaniżone dla utworów aluwialnych.
7. Zależność wartości błędu L_y od stanu gruntu dała się zaobserwować dla średnich wartości granicy płynności zależnie od 20—40%, przy niższych wartościach stopnia plastyczności, uzyskiwano błędy wyższe.

LITERATURA

1. Norma PN-59/B-04489. Grunty Budowlane. Oznaczenie granic płynności.
2. Piaskowski A., Kowalewski Z. — Problemy oznaczania konsystencji gruntów w związku z dopuszczalnymi obciążeniami jednostkowymi. Archiwum Hydrotechniki, 1961 r.
3. Piaskowski A. — Dwupunktowa metoda oznaczania granic płynności gruntów budowlanych I.T.B. Biul. 9, 1961 r.
4. Szmoniewscy S. i R. — Metoda jednopunktowego wyznaczenia wartości granicy płynności. Referat na Seminarium Sekcji Mechaniki Gruntów PAN w Łodzi, marzec 1961 r.

SUMMARY

The analysis of results of fluidity boundary determination (L_y) and of plasticity degree (Sp) has been made. These results have been obtained by means of method included in the Polish Norm — 59/BO4489 and of two-point method based on the L.H.J. Norman's formula modified by St. and R. Szmoniewskis, as well as soil samples of various origin and age, from the area of Poland.

The analysis made shows general conformity of results what, together with the decreasing of time needed for investigations, and with the economical effects observed in this case, substantiates the introducing of two-point method into the production of geological-engineering companies.

It has also been stated that some deviations of results in the two-point method are connected with the genetic-lithological type of soil.

РЕЗЮМЕ

Производился анализ результатов определения предела текучести (Ly) и степени пластичности (Sp)

различных и разновозрастных проб из территории Польши по методу нормы PN-59/BO4489 и по методу двухточечному, основанному на формуле Л.Х.И. Нормана, модифицированной С. и Р. Шмонеvскими.

Проведенным анализом было доказано общее сходство результатов и, таким образом, подтверждена целесообразность применения на практике в инженерно-геологических предприятиях двухточечного метода, позволяющего сократить время, необходимое для исследований, и приносящего, в связи с этим, экономическую пользу.

Обнаружено, что расхождения результатов двухточечного метода, связаны с литолого-генетическим типом грунта.