

Zbigniew KOŁACZ

Instytut Budowy Dróg

ZALEŻNOŚĆ WIELKOŚCI PARCIA OD ODKSZTAŁCENÍ
ZAGĘSZCZAJĄCYCH W OŚRODKU NA PRZYKŁADZIE
BADAŃ MODELOWYCH

Streszczenie. Praca zawiera opis wyników doświadczeń z zakresu parcia gruntu przeprowadzonych na modelach umieszczonych w bezkohezyjnym ośrodku analogowym typu stos Taylora-Schneebelięgo, poddanych odkształceniom zagęszczającym. W pracy przedstawiono matematyczny opis procesu mobilizacji wypadkowej siły parcia w trakcie realizacji odkształceń ośrodka.

1. WSTĘP

Zagadnienie odporu gruntu jest jednym z ważniejszych zagadnień mechaniki gruntów. Szczególnym przypadkiem tego zagadnienia jest problem odporu gruntu na terenach objętych wpływami eksploatacji górniczej.

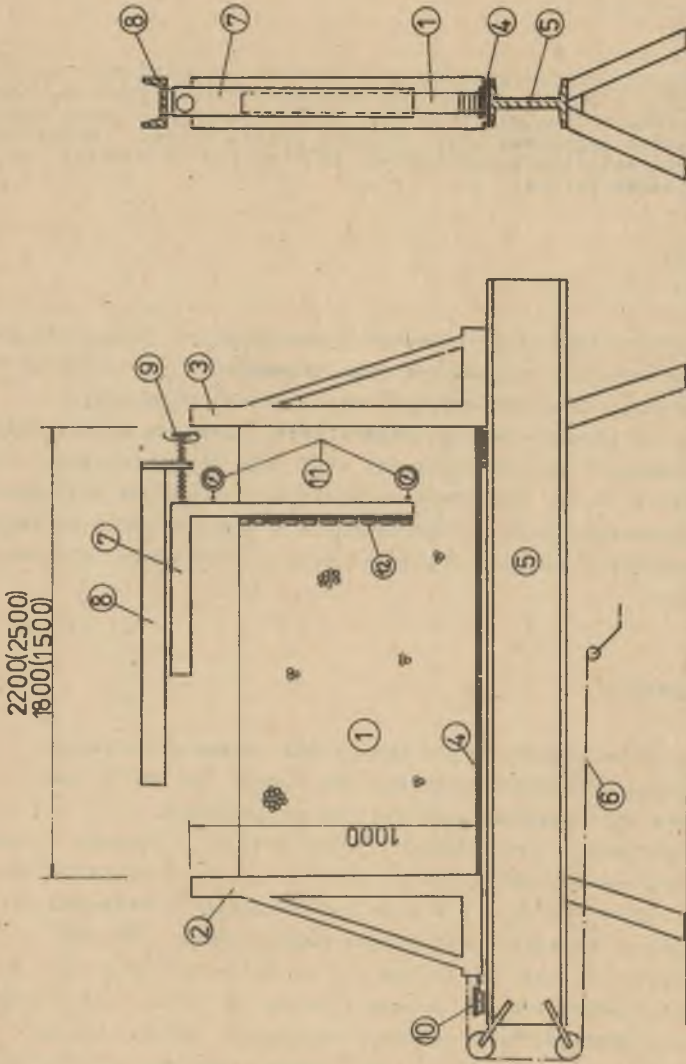
Niniejsza praca, poświęcona temu zagadnieniu, zawiera wyniki eksperymentów przeprowadzonych na specjalnie do tego celu skonstruowanym urządzeniu badawczym, w którym wykorzystano bezkohezyjny ośrodek analogowy typu stos Taylora-Schneebelięgo. Przeprowadzona w pracy analiza wyników pozwoliła na wprowadzenie pewnych uogólnień oraz matematyczne opisanie wyników doświadczeń.

2. APARATURA BADAWCZA

Do wykonania eksperymentów użyto specjalnie skonstruowanego w Instytucie Budowy Dróg urządzenia badawczego, służącego do modelowania poziomego rozluźniania bądź zagęszczania ośrodek analogowy.

W doświadczeniach zastosowano bezkohezyjny ośrodek analogowy [2] typu stos Taylora-Schneebelięgo w postaci węglowych elektrod bateryjnych EBS 210 o średnicach $\phi 6$ i $\phi 4$ mm, wymieszanych w stosunku ilościowym 1:1, dla którego określono kąt tarcia wewnętrznego $\varphi = 25^\circ$.

Urządzenie badawcze (rys. 1) składa się ze sztywnej ramy "5", do której sztywno przymocowano pionową ścianę czołową "3" oraz specjalnie ułożyskowaną, w celu umożliwienia poziomego przesuwu, drugą ścianę czołową "2". Przesuw ściany czołowej "2" realizowano poprzez system cięgien,



- 1-Ósrodek STOS T-S.
 2-ŚCIANA RUCHOMA
 NA PROWADNICY
 3-ŚCIANA NIERUCHO-
 MA
 4-GUMA NAROLKACH
 5-PODSTAWA
 6- NACIĄG
 7-MODEL ŚCIANKI
 8-RAMA PROWADNICY
 ŚCIANKI
 9-ŚRUBA
 10.11CZUJNIKI ZEGAR.
 12CZUJNIKI MEMBRA-
 NOWE

Rys. 1. Widok stanowiska badawczego

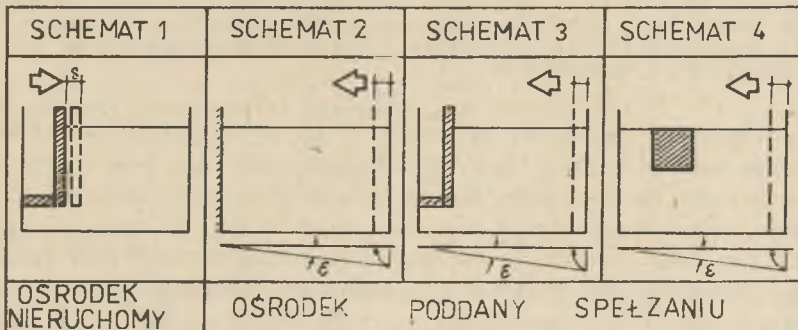
1 - ośrodek stos. T-S, 2 - ściana ruchoma na przewodnicy, 3 - ściana nieruchoma, 4 - guma na rolkach, 5 - podstawa, 6 - naciąg, 7 - model ścianki z przewodnicą, 8 - rama przewodnicy ścianki, 9 - śruba, 10, 11 - czujniki zegarowe, 12 - czujniki membranowe

rolak i przekładni za pomocą kołowrotu. Ściany czołowe połączone były ze sobą pasmem gumy "4". Guma była przymocowana do ścian czołowych w sposób zapobiegający jej wysunięciu. Realizowany przesuw ścian czołowej powodował równomierne rozciąganie gumy (bądź równomierne jej skracanie), co z kolei powodowało rozluźnienie bądź zagęszczanie ośrodka analogowego "1", umieszczonego na paśmie gumy między ścianami czołowymi "2" i "3".

W ośrodku tym zagłębiono pionową ściankę sztywną "7" przymocowaną za pomocą systemu łożysk do prowadnicy "8". Ścianka miała możliwość równoległego przesuwu, co realizowano śrubą "9". Pomiaru przesuwu ścianki dokonywano w dwóch punktach ścianki za pomocą czujników zegarowych "11" - o dokładności odczytu 0,01 mm. Pomiar przesuwu ściany czołowej aparatu był wykonywany podobnym czujnikiem zegarowym "10". Pomiar siły parcia wykonywano za pomocą specjalnie do tego celu skonstruowanych tensometrycznych membran pomiarowych "12" o wymiarach 5 x 5 cm przymocowanych do ścianki i podłączonych do mostka tensometrycznego typu T-2.

3. METODYKA PROWADZONYCH BADAŃ

Doświadczenia prowadzone były wg czterech schematów badawczych (rys. 2):



Rys. 2. Schematy badawcze

- schemat 1 - przepychanie ścianki pionowej, gładkiej w nieruchomym ośrodku,
- schemat 2 - odkształcenia zagęszczające w ośrodku z pomiarem siły na czołowej ścianie aparatu,
- schemat 3 - odkształcenia zagęszczające w ośrodku z umieszczoną w nim nieruchomą, gładką, pionową ścianką - środek "spełznięcia" nie pokrywa się ze ścianką,
- schemat 4 - odkształcenia zagęszczające w ośrodku z umieszczoną w nim "pływającym" modelem fundamentu.

Doświadczenia wg schematu pierwszego i trzeciego prowadzone były przy trzech wysokościach ścianki: $H = 70$ cm, $52,5$ cm oraz 32 cm, doświadczenia wg schematu drugiego prowadzono przy zagłębieniu ścianki wynoszącym $H = 52,5$ cm, doświadczenia wg schematu czwartego prowadzono na modelu o wymiarach 32×33 cm.

Wszystkie doświadczenia przerywano po ustabilizowaniu się siły parcia ośrodka na ściance. We wszystkich badaniach mierzono bądź przesuw ścianki "S" (schemat 1), bądź wielkość przesunięcia ściany czołowej, co następnie przeliczano na odkształcenia zagęszczające w ośrodku "+ ϵ " (schematy 2, 3 i 4).

Doświadczenia realizowano etapami. Po każdym etapie dokonywano, za pomocą czujników tensometrycznych, pomiaru siły parcia. Tak utrzymane wartości posłużyły do sporządzenia wykresów wzrostu siły wypadkowej parcia na ściance jako funkcji jej przesunięcia (doświadczenia prowadzone wg schematu 1), bądź jako funkcji odkształceń zagęszczających w ośrodku (doświadczenia realizowane wg schematów 2, 3 i 4).

Na podstawie tych wykresów określono wartości granicznych sił parcia biernego P_{gr} , jako wartości maksymalnej uzyskanej w doświadczeniach przy jednoczesnym poziomowaniu się wykresu oraz wartości granicznych przesunięć S_{gr} i odkształceń zagęszczających $+\epsilon_{gr}$ jako punkty, w których po raz pierwszy parcie bierne osiągnęło swe maksimum.

4. ANALIZA WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

Szczegółowe zestawienie wyników doświadczeń przedstawiono w tablicy 1.

Na uwagę zasługuje tutaj fakt, iż otrzymane wartości oporu, przy ciągnięciu ścianki bądź wartości parcia ośrodka przy jego zagęszczaniu, nie wykazywały istotnych różnic co do wielkości. W pracy na podstawie eksperymentów określono wartości granicznych przesunięć ścianki przy jej przepychaniu. Wartości te były różne i zależały wprost proporcjonalnie do zagłębienia ścianki.

$$\frac{S_{gr}}{H} = 0,0599; 0,0571; 0,0625 \quad \text{średnio} \quad 0,0598 = 0,06$$

Podobnie określono wartości odkształceń zagęszczających w ośrodku, przy których uzyskiwano maksimum siły parcia również przeliczając proporcję $\frac{\epsilon_{gr}}{H}$. Wynosiła ona średnio w prowadzonych doświadczeniach $51,56 \left[\frac{\%}{m} \right] = 52 \left[\frac{\%}{m} \right] = 0,052 \left[\frac{1}{m} \right]$ - niezależnie od sposobu badania.

Na podstawie powyższego można obliczać:

- graniczne przesunięcie ścianki:

$$S_{gr} = 0,06 H \quad [m] \quad (1)$$

Tablica 1

Zestawienie wyników doświadczeń

Schemat badawczy	[mm]	s_{gr} [mm]	ϵ_{gr} ‰	P_o [daN]	P_{gr} [daN]	$\frac{P_o}{P_{gr}}$	$\frac{s_{gr}}{H}$	$\frac{\epsilon_{gr}}{H}$ [$\frac{1}{m}$]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	700 ^x	41.94	-	9.892	40.046	0.247	0.0599	-
	525	30.00	-	6.072	24.290	0.250	0.0571	-
	320	20.00	-	2.648	9.365	0.283	0.0625	-
2	525	-	22.870	6.501	21.687	0.300	-	0.0436
	525	-	22.727	5.087	20.618	0.247	-	0.0433
	525	-	22.663	6.218	24.047	0.259	-	0.0431
3	700 ^x	-	40.439	8.871	44.686	0.198	-	0.0578
	525	-	29.360	5.028	25.594	0.196	-	0.0559
	320	-	17.172	2.270	6.079	0.272	-	0.0537
4	320	-	17.045	1.886	7.210	0.262	-	0.0533
	320	-	17.050	2.738	8.723	0.314	-	0.0533
	320	-	17.094	2.836	9.744	0.300	-	0.0534

^xDoświadczenia przy 70 cm zagłębienia modelu prowadzone były przy membranach ułożonych na niepełnej wysokości ścianki, stąd uzyskiwane siły są mniejsze od sił spoczynkowych lub granicznych dla tej wysokości.

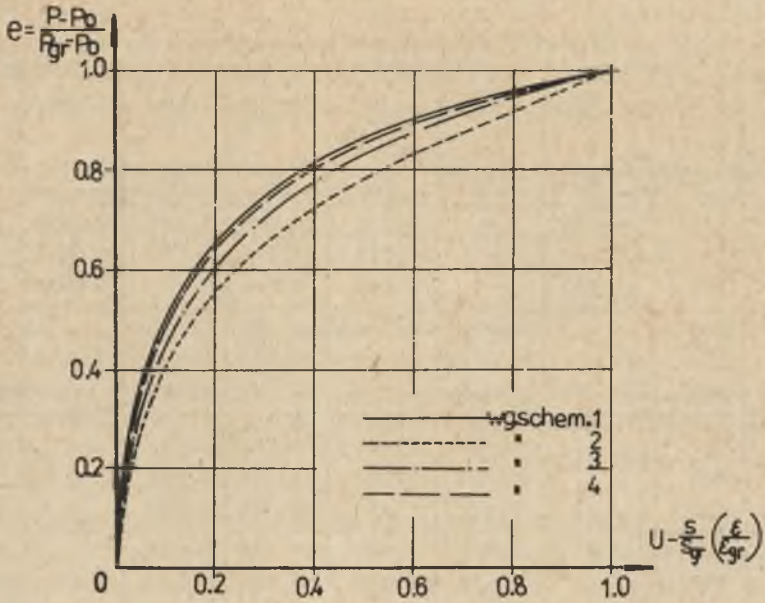
- graniczne odkształcenia zagęszczające w ośrodku:

$$\epsilon_{gr} = 0.052 \cdot H \left[\frac{1}{m} \cdot m \right] \quad (2)$$

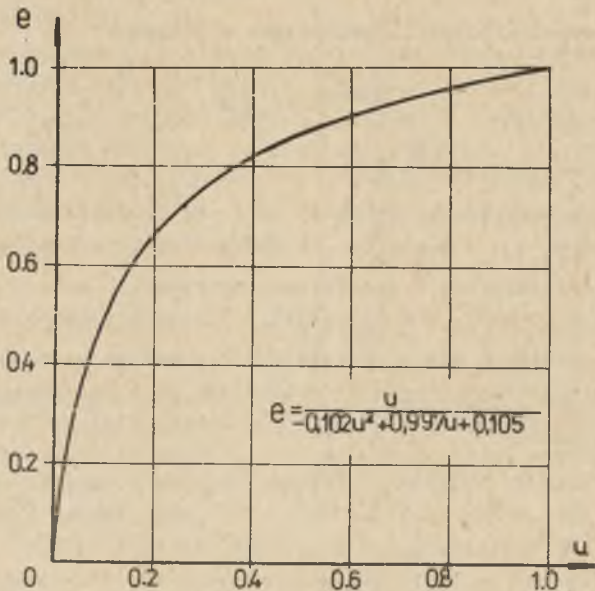
H - zagłębienie ścianki w [m.]

Dalszą analizę otrzymanych wyników oparte na bezwymiarowych skalach odniesienia $e = \frac{P}{P_{gr}}$; $u = \frac{s}{s_{gr}} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{gr}} \right)$. Po sporządzeniu wykresów zależności $e = f(u)$ (dla łatwiejszego późniejszego opisywania przedstawiono je w układzie osi $e = \frac{P - P_o}{P_{gr} - P_o}$; $u = \frac{s}{s_{gr}} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{gr}} \right)$) dokonano uśrednienia otrzymanych krzywych doświadczalnych dla poszczególnych schematów badawczych.

Rys. 3 zawiera średnie przebiegi zmienności tych zależności. Nie stwierdzono tutaj wyraźnych różnic w przebiegu krzywych dla poszczególnych badań. Nie stwierdzono także wyraźnych różnic pomiędzy wynikami z przepychania ścianek oraz z odkształceń zagęszczających w ośrodku pomimo zdecydowanie różnej kinematycznie pracy modelu w prowadzonych doświadczeniach. Następnie dokonano matematycznego opisu krzywej obejmującej po stronie bezpiecznej otrzymane wyniki doświadczeń prowadzonych wg wszystkich schematów. Przeanalizowano szereg krzywych matematycznych, z których najlepiej opisującą wyniki doświadczeń okazała się krzywa w postaci (rys. 4).



Rys. 3. Uśrednione wyniki doświadczeń realizowane wg poszczególnych schematów badawczych w bezwymiarowej skali odniesienia



Rys. 4. Krzywa matematyczna opisująca wyniki doświadczeń

$$e = \frac{u}{-0.102 \cdot u^2 + 0.997 \cdot u + 0.105} \quad (3)$$

Dla ścianek przepychanych w nieruchomym ośrodku po dokonaniu odpowiednich podstawień:

$$u = \frac{S}{S_{gr}}; \quad e = \frac{P - P_o}{P_{gr} - P_o} \quad (4)$$

wielkość parcia biernego ośrodka można obliczać z zależności:

dla $S \leq S_{gr}$

$$P_o = \frac{S_{gr} \cdot S}{-0.102 \cdot S^2 + 0.997 \cdot S_{gr} \cdot S + 0.105 \cdot S_{gr}^2} (P_{gr} - P_o) + P_o \quad (5)$$

a dla $S > S_{gr}$

$$P_o = P_{gr} \quad (6)$$

gdzie:

- P_s - parcie gruntu dla pewnej wielkości przesunięcia ścianki "S",
- S - przesunięcie ścianki, dla którego chcemy obliczyć wartość parcia,
- S_{gr} - graniczne przesunięcie ścianki liczone ze wzoru (1),
- P_{gr} - graniczna wielkość siły odporu obliczana np. wg teorii Rankine'a,
- P_o - parcie spoczynkowe ośrodka liczone wg zależności

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot b \cdot (1 - \sin\varphi).$$

Natomiast wielkości parcia ośrodka na ściankę pionową fundamentu, usytuowaną prostopadle do kierunku poziomych odkształceń zagęszczających w ośrodku, można obliczać wg następującej zależności:

dla $\xi \leq \xi_{gr}$

$$P_\xi = \frac{\xi_{gr} \cdot \xi}{-0.102 \cdot \xi^2 + 0.997 \cdot \xi_{gr} \cdot \xi + 0.105 \cdot \xi_{gr}^2} (P_{gr} - P_o) + P_o \quad (7)$$

dla $\xi > \xi_{gr}$

$$P_\xi = P_{gr} \quad (8)$$

gdzie:

- $\frac{P}{\xi}$ - wartość siły parcia na ściankę fundamentu zagłębionego w ośrodku poddanym poziomym odkształceniom zagęszczającym przy pewnej wielkości tych odkształceń $+\xi$.
- ξ_{gr} - wartość odkształceń zagęszczających w ośrodku, przy którym w doświadczeniach uzyskiwano stabilizację siły parcia, obliczana z zależności (2).
- ξ - wartość odkształceń zagęszczających w ośrodku, dla których chcemy obliczyć wypadkowe parcie na ściance.

5. WNIOSKI

Przeprowadzona powyżej analiza wyników doświadczeń wykazuje, iż pomimo zdecydowanie różnego pod względem kinematycznym przebiegu zjawiska proces narastania siły parcia, zarówno w przypadku przepychania ścianki jak i realizacji poziomych odkształceń zagęszczających w ośrodku z wbudowanym w niego modelem fundamentu, przy przyjętym sposobie graficznego przedstawiania wyników badań, jest podobny. Zastosowana do opisu zmienności bezwymiarowej wartości parcia $\frac{P}{\xi_{gr} - P_0}$, jako funkcji bezwymiarowego przesunięcia ścianki $\frac{S}{\xi_{gr}}$ bądź odkształceń w ośrodku $\frac{\xi}{\xi_{gr}}$ krzywa matematyczna okazała się w tym ujęciu pokrywającą z krzywą zaproponowaną przez L. Litwinowicza, K. Malcharka i A. Rosikonia w [3], a następnie zaleconą do ogólnego stosowania przez Ministerstwo Komunikacji w normatywie [4].

LITERATURA

- [1] Kwaśniewski J.: Zależność funkcyjna między odporem a przemieszczeniem elementu kotwiącego w gruncie. PWN, Warszawa 1967, JBW-PAN.
- [2] Litwinowicz L., Kłosek K., Kołacz Z.: Zastosowanie ośrodka Schneebelego do badań modelowych wpływu deformacji górniczych podłoża na procesy mobilizacji gruntu. Referat V Krajowej Konferencji Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Katowice 1978.
- [3] Litwinowicz L., Malcharek K., Rosikoń A.: Wpływ na tunele odkształceń górniczych terenu o kierunku poprzecznym. OTG 33/1975.
- [4] Wytyczne techniczno-budowlane projektowania i wykonania obiektów mostowych na terenach eksploatacji górniczej. WK1C, Warszawa 1977.

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ ОТ УМОЩНЕНИЯ СРЕДЫ
НА ПРИМЕРЕ ИСПЫТАНИЙ НА МОДЕЛЯХ

Р е з ю м е

В работе заключено описание результатов испытаний с области давления грунта ваденых на моделях заглубленных в безкогезионной аналоговой среде типа Taylor-Schneebelego подвергаемой уплотнению.

В работе представлено математическое описание процесса мобилизации равнодействующей силы давления во время уплотнения среды.

THE DEPENDENCE OF THE SIZE OF THRUST UPON THE
CONDENSATING STRAINS IN THE MEDIUM ON THE BASIS
OF MODEL TESTING

S u m m a r y

The work is a survey of the results of experiments dealing with the problem of soil thrust. The experiments took place in an uncoherent medium analogical to that of T.-S. stos, during which the medium underwent condensation.

The work presents a mathematical description of the process of mobilization of the resultant thrust force during the realization of the strains of the medium.