

**Stanisław Stryczek\*, Andrzej Gonet\*, Mirosław Rzycznik\*,  
Lucyna Czekaj\***

**WPLYW OBCIĄŻEŃ PIONOWYCH  
NA OSIADANIE MIESZANEK GRUNTOWO-GLEBOWYCH  
Z UDZIAŁEM DOMIESZEK CHEMICZNYCH I ORGANICZNYCH\*\***

**1. WSTĘP**

Podczas wykonywania otworów wiertniczych powstają odpady poprodukcyjne (okruszki skalne i odpady płuczki wiertniczej), które przechowuje się w dołach urobkowych. Są one poważnym zagrożeniem dla gruntów, wód i powietrza ze względu na znaczną masę, objętość, konsystencję, a także rodzaj (np. związki chemiczne niezbędne do regulacji parametrów płuczek wiertniczych).

Wymagany przepisami obowiązek rekultywacji obszarów zajmowanych czasowo pod tereny wiertni, w tym również doły urobkowe, zmusza wykonawców do szukania różnych metod i sposobów utylizowania i neutralizowania szkodliwości powstałych odpadów. Działalność ta pochłania znaczne nakłady finansowe ze względu na skład i strukturę odpadów wiertniczych.

W artykule przedstawiono wyniki fragmentu badań zmierzających do uzyskania spoi-  
stych układów gruntowo-glebowych z udziałem opracowanych kompozytów (o odpowied-  
niej konsystencji) umożliwiającej pozostawienie odpadów w miejscu ich powstania, z rów-  
noczesnym zainicjowaniem w opracowanych mieszankach procesów glebotwórczych.

Przedstawiono wyniki edometrycznych badań osiadania pod obciążeniem mieszanek  
gruntowo-glebowych z udziałem trocin, słomy oraz wybranych związków chemicznych.  
Miało to na celu określenie zakresu zmian ich początkowych wysokości, w zależności od  
wartości obciążeń pionowych oraz wartości edometrycznych modułów ścisłości gruntów  
wywołujących te zmiany.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Praca wykonana w ramach badań własnych w 2006 r.

## 2. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH MIESZANEK

Edometryczne badania osiadania przeprowadzono na 48 próbkach mieszanek grunto-glebowych powstałych po dodaniu do matryc zużytych płuczek wiertniczych, o recepturach zamieszczonych w tabeli 1, gleby w stosunku wagowym do matrycy 1:1, dla mieszanek z udziałem wody wodociągowej ( $W^1$ ), i 1:1,2÷1:1,5 dla mieszanek zarobionych na solance, a także dodatków chemicznych: lignitów potasowych (LP) – 0,5%, lignitów sodowych (LS) – 0,5%, lignosulfonianów żelazowych (LŻ) – 0,1% oraz węglowodorów: oleju napędowego (ON) w ilości 1% oraz składników organicznych, w postaci trocin z drewna drzew iglastych i słomy – 5 i 10%.

**Tabela 1**  
Receptury bazowych matryc zużytych płuczek wiertniczych

| Matryca zużytej płuczki wiertniczej sporządzona na bazie wody wodociągowej |                   | Matryca zużytej płuczki wiertniczej sporządzona na bazie solanki |                   |
|--|-------------------|--|-------------------|
| Nazwa składnika  | Udział wagowy [%] | Nazwa składnika  | Udział wagowy [%] |
| składniki podstawowe:  |                   | składniki podstawowe:  |                   |
| – bentonit   | 8                 | – bentonit   | 8                 |
| – kalcyt   | 8                 | – kalcyt   | 8                 |
| – kwarc  | 8                 | – kwarc  | 8                 |
| – woda wodociągowa   | 76                | – 2% solanka   | 76                |
| dodatki:   |                   | dodatki:   |                   |
| – PAA  | 0,1               | – PAA  | 0,1               |
| – Polofix LV   | 0,5               | – Polofix LV   | 0,5               |

Wartości wilgotności naturalnej badanych próbek określone wzorem (1) [1–4, 6, 7]

$$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

były zawarte w przedziale  $w_n \in [52,1 \div 63,2]\%$ , dla mieszanek z udziałem wody wodociągowej, oraz  $w_n \in [39,1 \div 50,0]\%$ , dla mieszanek sporządzonych z udziałem solanki.

Wartości gęstości objętościowych gruntu  $\rho$  oraz gęstości objętościowych szkieletu gruntowego  $\rho_d$  sporządzonych próbek określone wzorami (2) i (3) [1–4, 6, 7]:

$$\rho = \frac{m_n}{V} \quad [\text{g}/\text{cm}^3] \quad (2)$$

$$\rho_d = \frac{100 \cdot \rho}{100 + w} \quad [\text{g}/\text{cm}^3] \quad (3)$$

<sup>1)</sup> objaśnienia wszystkich oznaczeń umieszczono w wykazie skrótów (s. 466–467).

zawierały się w przedziałach:  $\rho \in [1,37 \div 1,58] \text{ g/cm}^3$ , a  $\rho_d \in [0,85 \div 1,00] \text{ g/cm}^3$ , dla mieszanek sporządzonych z udziałem wody wodociągowej oraz  $\rho \in [1,48 \div 1,72] \text{ g/cm}^3$ , a  $\rho_d \in [1,00 \div 1,22] \text{ g/cm}^3$ , dla mieszanek sporządzonych z udziałem solanki.

Sucha matryca zużytej płuczki wiertniczej, gleba oraz mieszanka tych dwóch składników były, pod względem granulometrycznym, gruntami drobnoziarnistymi typu piasku gliniastego [5] pozbawionymi ziarn frakcji żwirowej i kamienistej. Pod względem wartości wskaźnika różnoziarnistości ( $U$ ) [4], matryca zużytej płuczki wiertniczej była gruntem równoziarnistym ( $U = 1,80$ ), natomiast gleba oraz mieszanka, w stosunku wagowym 1:1, suchej matrycy zużytej płuczki wiertniczej i gleby, były gruntami różnoziarnistymi o wartościach wskaźnika różnoziarnistości równych odpowiednio: dla gleby  $U = 6,10$ , a dla mieszanki suchej matrycy zużytej płuczki wiertniczej z glebą  $U = 5,38$ .

### 3. WYNIKI BADAŃ

Edometryczne badania ścisłości mieszanek gruntowo-glebowych z udziałem opracowanych kompozytów przeprowadzono zgodnie z normą [6], w zakresie obciążeń jednostkowych od 12,5 do 100 kPa, zwiększając dwukrotnie obciążenie, po ustabilizowaniu się wysokości próbek, w czterech kolejnych krokach tzn.: 12,5; 25; 50 i 100 kPa.

Moduły ścisłości pierwotnej  $M_o$  obliczono wzorem (4) [1–4, 6, 7]

$$M_o = \frac{\Delta\sigma}{\varepsilon} = \frac{\Delta\sigma \cdot h_{i-1}}{\Delta h'} = \frac{(\sigma_i - \sigma_{i-1})h_{i-1}}{\Delta h - \Delta h_e} \quad [\text{Pa}] \quad (4)$$

Na rysunkach przedstawiono wykresy ścisłości – dla mieszanek sporządzonych z udziałem wody wodociągowej (rys. 1) oraz mieszanek sporządzonych z udziałem solanki (rys. 2), natomiast wartości liczbowe edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej ( $M_o$ ), badanych mieszanek gruntowo-glebowych, zestawiono w tabeli 2.

Analiza kształtu krzywych ścisłości próbek układów gruntowo-glebowych, sporządzonych z udziałem wody wodociągowej z dodatkami lignitów potasowych, o udziale wagowym 0,5% (rys. 1a) oraz węglowodorów, o udziale wagowym 1% (rys. 1d), wskazuje na podobny sposób oddziaływania zastosowanych domieszek związków chemicznych na intensywność osiadania badanych próbek. Układy krzywych ścisłości są rozbieżne wraz ze wzrostem obciążeń jednostkowych wywieranych na próbki.

Zmniejszenie początkowej wysokości próbek wyniosło 2,25÷3,30%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 12,5 \text{ kPa}$  oraz 7,58÷14,74%, przy obciążeniu jednostkowym 100 kPa, dla mieszanek z dodatkiem lignitów potasowych. Natomiast dla próbek z dodatkiem węglowodorów, zmniejszenie wysokości początkowej wyniosło odpowiednio: 3,28÷4,09%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 12,5 \text{ kPa}$  oraz 9,09÷22,52%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 100 \text{ kPa}$ . Oznacza to, że układy gruntowo-glebowe z dodatkiem węglowodorów charakteryzowały się znacznie większą podatnością na osiadanie od mieszanek z dodatkiem lignitów potasowych, szczególnie w zakresie wyższych wartości obciążeń jednostkowych.

Dla próbek z domieszką lignitów sodowych, o udziale wagowym 0,5% (rys. 1b) utrzymywała się, w zakresie małych wartości obciążeń jednostkowych ( $\sigma = 12,5 \div 50 \text{ kPa}$ ), niewielka i podobna dla wszystkich próbek intensywność osiadania, a po przekroczeniu obciążenia

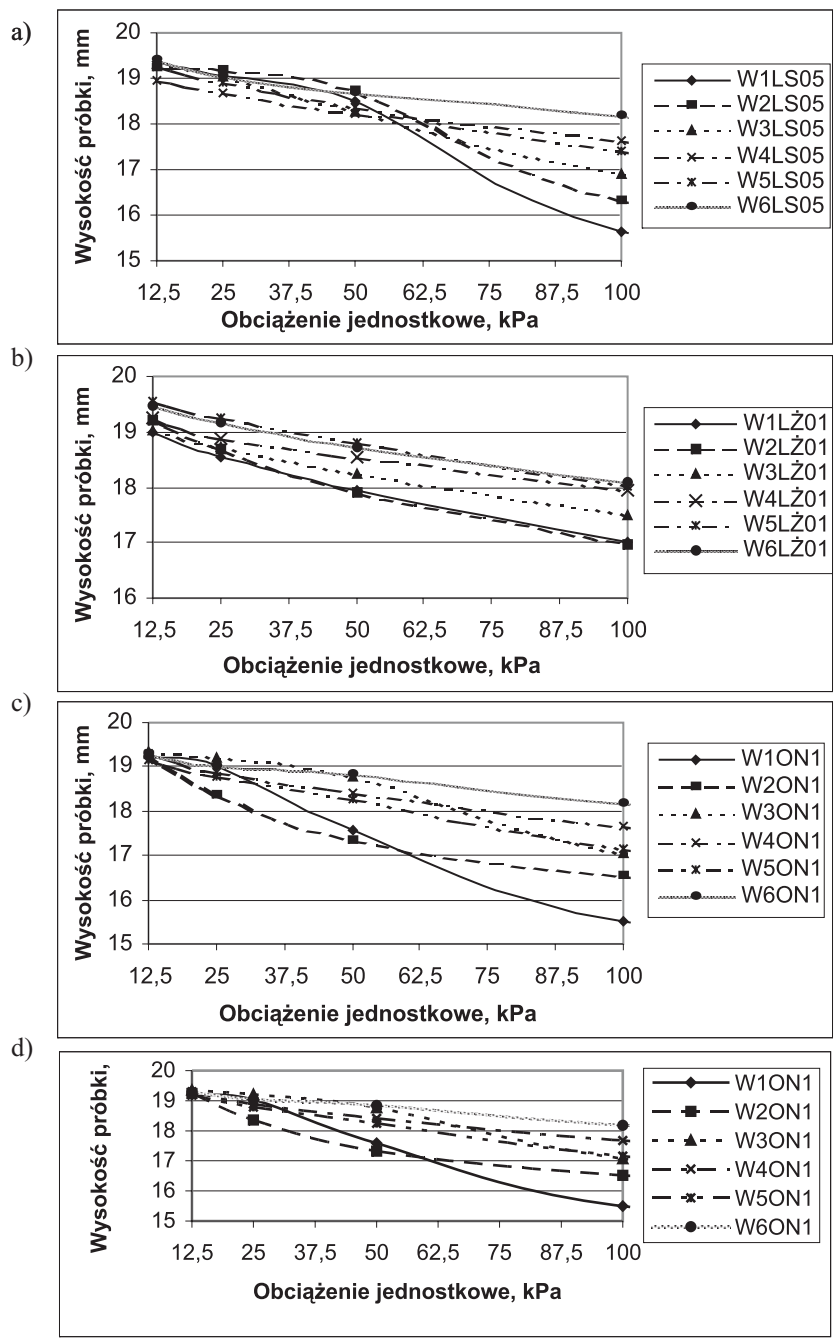
żenia jednostkowego  $\sigma = 50$  kPa nastąpiło zdecydowane zwiększenie intensywności osiadania próbek. Było ono tym większe, im mniejsza była zawartość składników organicznych (trociny, słoma) w mieszance gruntowo-glebowej.

Taki przebieg zjawiska spowodowany był prawdopodobnie utrudnionym odsączeniem, wody z przestrzeni porowej badanych mieszanek w zakresie małych obciążeń jednostkowych, na skutek działania lignitów sodowych. W zakresie większych wartości obciążeń jednostkowych nastąpiło zintensyfikowanie procesu odsączania wody, a tym samym osiadania próbek.

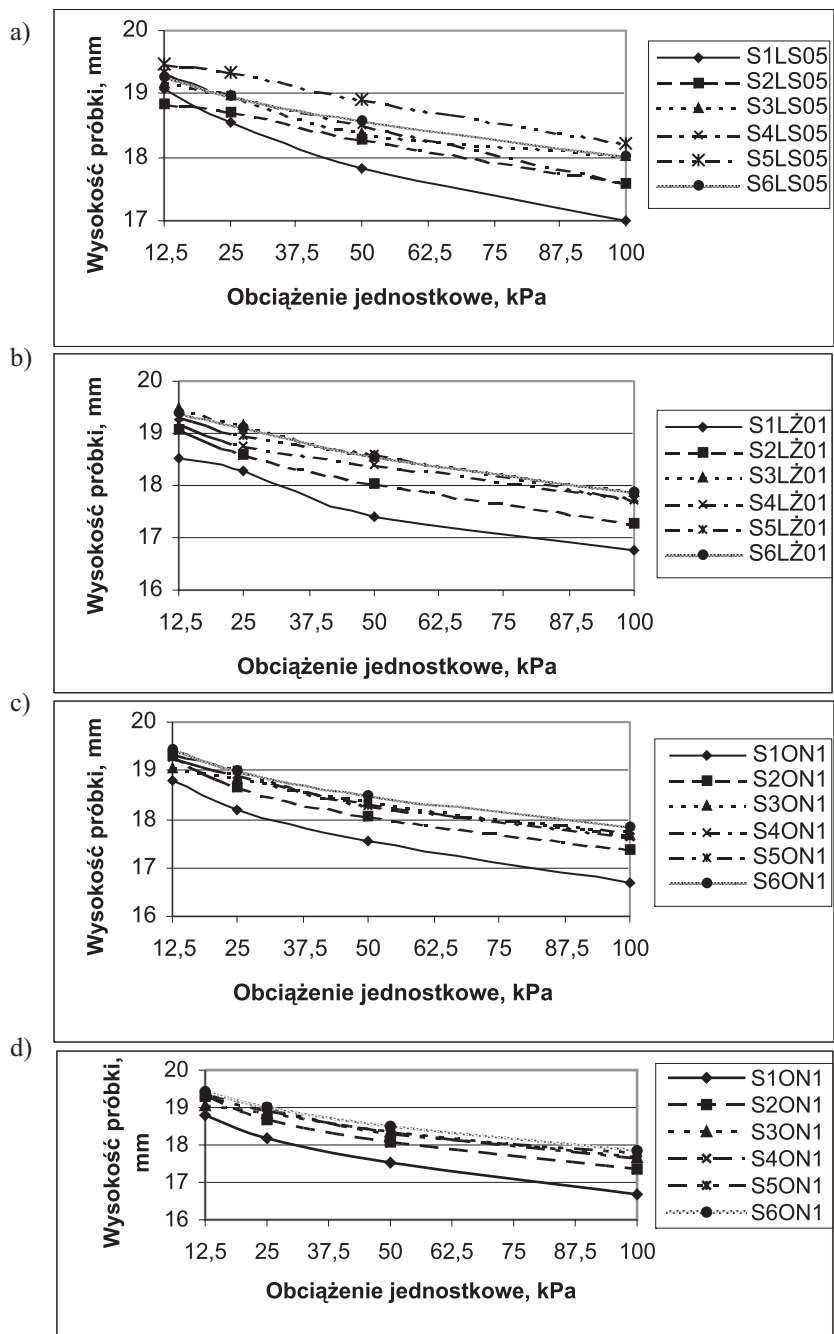
**Tabela 2**

Edometryczne moduły ścisłości pierwotnej mieszanek gruntowo-glebowych

| Układy gruntowo-glebowe sporządzone z udziałem wody wodociągowej |               |  |     |      |      | Układy gruntowo-glebowe sporządzone z udziałem solanki |               |  |      |      |      |
|--|---------------|--|-----|------|------|--|---------------|--|------|------|------|
| Lp.  | Symbol próbki | Obciążenie jednostkowe $\sigma$ [kPa]  |     |      |      | Lp.  | Symbol próbki | Obciążenie jednostkowe $\sigma$ [kPa]  |      |      |      |
|  |               | 12,5                                   | 25  | 50   | 100  |  |               | 12,5                                   | 25   | 50   | 100  |
|  |               | Moduł ścisłości pierwotnej $M_o$ [kPa] |     |      |      |  |               | Moduł ścisłości pierwotnej $M_o$ [kPa] |      |      |      |
| 1  | W1LP05        | 415                                    | 898 | 1250 | 1500 | 1  | S1LP05        | 305                                    | 680  | 1192 | 1863 |
| 2  | W2LP05        | 379                                    | 290 | 798  | 1028 | 2  | S2LP05        | 274                                    | 801  | 1437 | 1634 |
| 3  | W3LP05        | 403                                    | 400 | 812  | 1595 | 3  | S3LP05        | 305                                    | 657  | 1439 | 2371 |
| 4  | W4LP05        | 556                                    | 453 | 1000 | 1200 | 4  | S4LP05        | 439                                    | 900  | 1168 | 1589 |
| 5  | W5LP05        | 422                                    | 687 | 916  | 1775 | 5  | S5LP05        | 413                                    | 703  | 1526 | 1541 |
| 6  | W6LP05        | 546                                    | 912 | 1349 | 1577 | 6  | S6LP05        | 311                                    | 607  | 801  | 2153 |
| 7  | W1LS05        | 396                                    | 738 | 907  | 324  | 7  | S1LS05        | 270                                    | 459  | 623  | 2200 |
| 8  | W2LS05        | 316                                    | 632 | 1072 | 392  | 8  | S2LS05        | 213                                    | 1961 | 1135 | 1280 |
| 9  | W3LS05        | 365                                    | 936 | 596  | 672  | 9  | S3LS05        | 305                                    | 1142 | 836  | 2390 |
| 10   | W4LS05        | 239                                    | 825 | 1080 | 1507 | 10   | S4LS05        | 373                                    | 700  | 909  | 990  |
| 11   | W5LS05        | 342                                    | 708 | 853  | 948  | 11   | S5LS05        | 459                                    | 2162 | 1082 | 1390 |
| 12   | W6LS05        | 415                                    | 688 | 1246 | 1965 | 12   | S6LS05        | 347                                    | 790  | 1218 | 1617 |
| 13   | W1LŻ01        | 247                                    | 525 | 766  | 974  | 13   | S1LŻ01        | 169                                    | 890  | 537  | 1339 |
| 14   | W2LŻ01        | 317                                    | 465 | 592  | 945  | 14   | S2LŻ01        | 272                                    | 492  | 866  | 1158 |
| 15   | W3LŻ01        | 262                                    | 727 | 970  | 1206 | 15   | S3LŻ01        | 481                                    | 749  | 802  | 1395 |
| 16   | W4LŻ01        | 330                                    | 672 | 1330 | 1625 | 16   | S4LŻ01        | 309                                    | 539  | 1320 | 1405 |
| 17   | W5LŻ01        | 549                                    | 795 | 1106 | 1216 | 17   | S5LŻ01        | 362                                    | 680  | 1309 | 1051 |
| 18   | W6LŻ01        | 476                                    | 785 | 1142 | 1457 | 18   | S6LŻ01        | 417                                    | 795  | 881  | 1385 |
| 19   | W1ON1         | 313                                    | 400 | 600  | 750  | 19   | S1ON1         | 208                                    | 377  | 704  | 1031 |
| 20   | W2ON1         | 327                                    | 273 | 445  | 1080 | 20   | S2ON1         | 360                                    | 383  | 789  | 1242 |
| 21   | W3ON1         | 382                                    | 750 | 1092 | 1250 | 21   | S3ON1         | 264                                    | 1145 | 958  | 1348 |
| 22   | W4ON1         | 357                                    | 591 | 980  | 1252 | 22   | S4ON1         | 352                                    | 643  | 822  | 1301 |
| 23   | W5ON1         | 306                                    | 623 | 859  | 1100 | 23   | S5ON1         | 385                                    | 696  | 669  | 1766 |
| 24   | W6ON1         | 350                                    | 972 | 1300 | 1428 | 24   | S6ON1         | 435                                    | 578  | 946  | 1417 |



**Rys. 1.** Krzywe ścisłości pierwotnej układów gruntowo-glebowych sporządzonych z udziałem wody wodociągowej, z domieszkami: a) 0,5% lignitów potasowych (LP); b) 0,5% lignitów sodowych (LS); c) 0,1% lignosulfonianów żelazowych (LZ); d) 1% węglowodorów (oleju napędowego ON)



Rys. 2. Krzywe ścisłości pierwotnej układów gruntowo-glebowych sporządzonych z udziałem solianki z domieszkami: a) 0,5% lignitów potasowych (LP); b) 0,5% lignitów sodowych (LS); c) 0,1% lignosulfonianów żelazowych (LŻ); d) 1% węglowodorów (oleju napędowego ON)

Zmniejszenie wysokości początkowej próbek z domieszką lignitów sodowych wyniosło 3,02÷5,24%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 12,5$  kPa oraz 9,06÷21,73%, dla obciążenia jednostkowego  $\sigma = 100$  kPa. Oznacza to, że w górnym zakresie obciążeń jednostkowych efekt oddziaływania lignitów sodowych na osiadanie badanych mieszanek gruntowo-glebowych był podobny do oddziaływania na te mieszanki oleju napędowego.

W przypadku mieszanek gruntowo-glebowych z domieszką lignosulfonianów żelazowych, o udziale wagowym 0,1%, uzyskano układ krzywych o przebiegu zbliżonym do przebiegu linii równoległych (rys. 1c), co oznacza podobną intensywność osiadania, pod obciążeniem wszystkich badanych próbek. Było to spowodowane podobną intensywnością odsączania wody wolnej z przestrzeni porowej badanych mieszanek w całym zakresie obciążeń jednostkowych.

Zmniejszenie wysokości początkowej próbek z dodatkiem lignosulfonianów żelazowych wyniosło od 2,28÷5,07%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 12,5$  kPa, a do 9,49÷15,2% przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 100$  kPa.

Analiza wykresów osiadania próbek mieszanek gruntowo-glebowych z udziałem opracowanych kompozytów z zawartością solanki wykazała, że wszystkie krzywe ściśliwości (rys. 2) miały przebiegi zbliżone do linii równoległych, co wskazuje na ustaloną intensywność osiadania próbek, z zachowaniem generalnej zasady, że zmniejszenie wysokości początkowej badanej próbki było tym większe, im mniejsza była w niej zawartość domieszek organicznych (trociny, słoma).

Zmniejszenie wysokości początkowej poszczególnych próbek wyniosło:

- dla mieszanek z dodatkiem lignitów potasowych, o udziale wagowym 0,5% (rys. 2a): 2,85÷4,55%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 12,5$  kPa oraz 9,20÷11,05%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 100$  kPa,
- dla mieszanek z dodatkiem lignitów sodowych, o udziale wagowym 0,5% (rys. 2b): 2,7÷5,85%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 12,5$  kPa oraz 8,9÷14,95%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 100$  kPa,
- dla mieszanek z dodatkiem lignosulfonianów żelazowych, o udziale wagowym 0,1% (rys. 2c): 2,6÷7,4%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 12,5$  kPa oraz 10,5÷16,2%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 100$  kPa,
- dla mieszanek z dodatkiem węglowodorów, o udziale wagowym 1% (rys. 2d): 2,88÷6,01%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 12,5$  kPa oraz 10,75÷16,6%, przy obciążeniu jednostkowym  $\sigma = 100$  kPa.

Największe odkształcenia, o podobnym zakresie wartości liczbowych, uzyskano dla próbek z domieszkami lignosulfonianów żelazowych (rys. 2c) oraz węglowodorów (rys. 2d).

Stabilizujący wpływ na osiadanie próbek zarobionych na solance miała domieszka lignitów potasowych. Wszystkie próbki, z domieszką lignitów potasowych, niezależnie od zawartości domieszek organicznych, osiadały w podobny sposób, czego efektem była niewielka odległość między krzywymi ściśliwości (rys. 2a).

Zaobserwowano podobne oddziaływanie lignosulfonianów żelazowych na podatność do edometrycznego osiadania mieszanek sporządzonych zarówno na wodzie wodociągowej jak i solance. W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano, dla tych dwóch grup próbek, podobne wykresy ściśliwości (rys. 1c i 2c).

Wyraźnie wyższe, niż dla pozostałych badanych próbek, wartości końcowego ubytku procentowego początkowej wysokości próbek (dla jednostkowego obciążenia  $\sigma = 100$  kPa) uzyskano dla mieszanek gruntowo-glebowych sporządzonych na wodzie wodociągowej z dodatkami lignitów sodowych oraz węglowodorów (rys. 1b i 1d). Efektem przebiegu edometrycznego obciążania tych próbek było uzyskanie zmniejszonych, w porównaniu do pozostałych, wartości edometrycznych modułów ścisłości (tab. 2), szczególnie dla próbek o znacznych przyrostach intensywności osiadania (rys. 1b i 1d).

#### 4. WNIOSKI

Proces edometrycznego osiadania mieszanek gruntowo-glebowych zarobionych na wodzie wodociągowej, przebiegał intensywniej niż proces osiadania mieszanek o analogicznych udziałach dodatków chemicznych i organicznych zarobionych na solance. Oznacza to, że proces odsączania solanki z przestrzeni porowej badanych mieszanek był utrudniony w porównaniu z odsączaniem wody wodociągowej.

W grupie mieszanek odpadów płuczkowych z domieszkami gleby oraz składników organicznych, sporządzonych z udziałem wody wodociągowej, maksymalne zmniejszenie wysokości początkowej stwierdzono dla próbek z domieszką lignitów sodowych (21,73%) oraz węglowodorów (22,52%), natomiast wśród mieszanek sporządzonych z udziałem solanki najintensywniej osiadały próbki z dodatkiem lignosulfonianów żelazowych (16,2%) oraz węglowodorów (16,6%).

Mieszanki gruntowo-glebowe zarobione na solance charakteryzowały się ustaloną intensywnością osiadania, czego efektem były przebiegi krzywych ścisłości zbliżone do linii równoległych.

Zmniejszenie wysokości początkowej badanych mieszanek gruntowo-glebowych było tym wyższe, im mniejsza była w próbkach zawartość domieszek organicznych (trociny, słoma).

Osiadanie próbek będzie się pogłębiało z upływem czasu, ze względu na postępujący proces rozkładu zawartych w nich domieszek organicznych.

#### WYKAZ SKRÓTÓW

- $h_i$  – wysokość próbki przy  $i$ -tym stopniu obciążenia [m],
- $h_{i-1}$  – wysokość próbki przy  $i-1$  stopniu obciążenia [m],
- $\Delta h$  – odkształcenie próbki bez uwzględnieniem odkształceń własnych edometru [m],
- $\Delta h'$  – odkształcenie próbki z uwzględnieniem odkształceń własnych edometru [m],
- $\Delta h_e$  – odkształcenia własne edometru [m],
- LP – lignity potasowe,
- LS – lignity sodowe,
- LŻ – lignosulfoniany żelazowe,
- $M_o$  – edometryczny moduł ścisłości pierwotnej [Pa],



- $m_w$  – masa wody zwartej w porach gruntu [g],
- $m_s$  – masa suchego gruntu [g],
- $m_n$  – masa próbki gruntu w stanie naturalnym [g],
- ON – olej napędowy,
- S – solanka,
- $V$  – objętość próbki gruntu [cm<sup>3</sup>],
- W – woda wodociągowa,
- $w$  – wilgotność gruntu [%],
- $w_n$  – wilgotność naturalna gruntu [%],
- $\varepsilon$  – odkształcenie jednostkowe próbki,
- $\rho$  – gęstość objętościowa gruntu [g/cm<sup>3</sup>],
- $\rho_d$  – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego [g/cm<sup>3</sup>],
- $\sigma$  – obciążenie jednostkowe próbki [Pa],
- $\sigma_i$  –  $i$ -te obciążenie jednostkowe próbki [Pa],
- $\sigma_{i-1}$  –  $i-1$  obciążenie jednostkowe próbki [Pa],
- $\Delta\sigma$  – przyrost obciążenia jednostkowego próbki [Pa].

## LITERATURA

- [1] Kostrzewski W.: *Parametry geotechniczne gruntów budowlanych oraz metody ich oznaczania*. Wydanie 4. Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2001
- [2] Myślińska E.: *Laboratoryjne badania gruntów*. Wydanie II zmienione i rozszerzone. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN 1998
- [3] Pisarczyk S.: *Mechanika gruntów*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 1999
- [4] Pisarczyk S.: *Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2004
- [5] PN-86/B-02480: *Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów*
- [6] PN-88/B-04481: *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu*
- [7] Wiłun Z.: *Zarys geotechniki*. Wydanie 5. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2001