ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982

Seria: BUDOWNICTWO z. 57 Nr kol. 737

Tadeusz CISEK, Bogdan KAWALEC
Zenobia KOPKA, Andrzej SOCZAWA

WPŁYW CZASU SKŁADOWANIA NA WŁAŚCIWOŚCI NIEPRZEPALONYCH ODPADÓW KOPALNIANYCH

Streszczenie. W pracy omówiono problem zmian właściwości nieprzepalonych odpadów kopalnianych zachodzących przy długoletnim zaleganiu na zwale. Przedstawiono wyniki badań odpadów świeżych oraz hałdowych z KWK "Murcki" po 30 i 50 latach składowania. Praca zawiera spostrzeżenia i wnioski praktyczne.

1. CEL I ZAKRES PRACY

W aspekcie ochrony środowiska, dążąc do zamkniętego cyklu działalności przemysłowej, należy rozważać w każdej sytuacji możliwość zagospodarowania wszelkich odpadów przemysłowych. W aglomeracji śląskiej przewagę stanowią odpady kopalniane. Są to odpady powstające przy wydobyciu węgla, a pochodzące z robót udostępniających i wzbogacania kopaliny. Ich właściwości są z różnych względów zróżnicowane. Możliwość utylizacji tych odpadów wymaga oceny ich cech i właściwości bieżących, jak również stabilności tych cech w czasie.

Wiele prac poświęcono przepalonym odpadom kopalnianym [2], [3], [7], [13], których wyniki zachęcają do dość szerokiego ich wykorzystania w budownictwie inżynieryjnym.

Gorszym jakościowo materiałem, w porównaniu z nimi, są nieprzepalone odpady kopalniane. Głębsza analiza właściwości tych odpadów oraz weryfikacja zakresu hipotetycznych zmian ich właściwości w czasie może się przyczynić do likwidacji uciążliwych dla otoczenia składowisk. Jest to celem niniejszej pracy.

Chcąc zrealizować postawiony cel analizę oparto na wynikach badań podstawowych geotechnicznych cech fizykomechanicznych i drogowych parametrów nośności nieprzepalonych odpadów kopalnianych pochodzących z KWK "Murcki", z uwzględnieniem zmiennego czasu ich składowania. Podstawę metodyki i sposobu badań są normy i wytyczne z zakresu wykorzystania ośrodków mineralnych i odpadów przemysłowych w budownictwie inżynieryjnym.

2. ODPADY KOPALNIANE

Decyzje o wykorzystaniu dowolnego materiału w budownictwie inżynieryjnym opierają się na wynikach badań, istotnych w danych warunkach cech i właściwości. W badaniach technicznych ośrodków mineralnych zwykle pomijamy wpływ czasu na właściwości materiału. Innego podejścia wymagają nieprzepalone odpady kopalniane. Decyzja o zakresie ich wykorzystania może być jednoznaczna tylko wówczas, kiedy będą znane najniekorzystniejsze zmiany wiodących parametrów w czasie nie krótszym niż przewidywana żywotność budowli inżynierskiej. Wymaga to znajomości historii powstania odpadów z wyróżnieniem czynników, które zadecydowały o zmianie w odpowiednim okresie czasu właściwości wyjściowych na właściwości bieżące.

Według [1] przy eksploatacji górnośląskiego karbonu spotkać można:

- skały węglowe,
- skały ilaste,
- mułkowce,
- piaskowce,
- skały żwirowe,
- skały wapienne,
- skały tufity.

Wszystkie wymienione grupy skał, rozkruszone w trakcie eksploatacji węgla, wydobyte i złożone na powierzchni, stanowią odpady kopalniane. Największy jednak udział w odpadach mają skały określane w górnictwie węglowym jako łupki ilaste (nazywane też łupkami karbońskimi czy łupkami węglowymi). Skała płonna w caliźnie oraz odpady z niej powstałe jako ośrodek rozdrobniony posiadają istotnie różne właściwości. Ma tu bowiem miejsce praktycznie całkowite odprężenie materiału, jego rozkruszenie oraz stabilne w złożu, a zmienne na powierzchni, czynniki wilgotnościowo-termiczne.

Stabilność właściwości fizykomechanicznych (W_{M-F}) ośrodka zbudowanego z odpadów jest funkcją stabilności właściwości budujących go ośrodków skalnych. Miarą stabilności właściwości ośrodka może być stabilność jego składu ziarnowego (S_z) w połączeniu ze stabilnością wytrzymałości okruchów skalnych (R), co można wyrazić zależnością:

$$W_{M-F} = F(S_z, R). \tag{1}$$

Wyróżniamy dwa okresy rozkruszenia odpadów jako efekt dwu grup przyczyn. Wyjściowy wynika z technologii rozkruszenia skały litej oraz jej transportu do miejsca składowania na powierzchni. Drugi okres rozkruszenia ma miejsce w czasie składowania odpadów. Jest to okres destrukcyjnego działania czynników atmosferycznych. Proces rozkruszenia jest tu funkcją czasu, a jego intensywność zależy od podatności materiału na te działania. Największe rozkruszenie ma miejsce w przypowierzchniowych warstwach skła-

dowiska. Rozkruszenie w tym okresie jest efektem wtórnym osłabienia lepiszcza łączącego w jednostkowym okruchu mniej podatne minerały lub ich grupy. Oprócz rozkruszenia powoduje to jednocześnie spadki wytrzymałości makroskopowo zwartych okruchów. W iłołupkach obserwuje się uplastycznienie okruchów, zwane potocznie lasowaniem. W skrajnych przypadkach odpady te stają się podobne do mineralnych gruntów spoistych.

Możemy więc powiedzieć, że zarówno skład ziarnowy, jak i wytrzymałość okruchów są funkcją czasu:

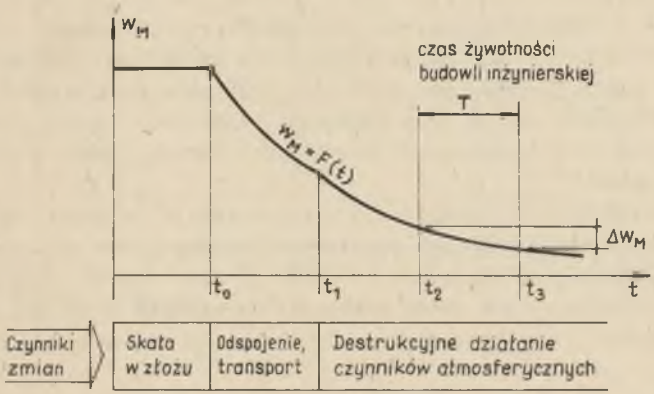
$$S_z, R = F(t). \tag{2}$$

Tak więc wypadkowe właściwości fizykomechaniczne zbioru nieprzepalonych odpadów kopalnianych mają charakter wieloczynnikowy w funkcji czasu.

W zakresie właściwości mechanicznych (W_M) przypuszczalnie jest to funkcja ściśle malejąca

$$W_M = F(t). \tag{3}$$

Hipotetyczny charakter funkcji (3) podano na rys. 1. Uchwycenie przynajmniej dwóch współrzędnych funkcji (3) dla czasu $t > t_1$ i zastosowanie aproksymacji liniowej daje już możliwość przybliżonego oszacowania poszukiwanej wartości ΔW_M, tj. odpowiedniej wartości wiodącego parametru geotechnicznego, w założonym okresie eksploatacji budowli inżynierskiej ($T = t_3 - t_2$).



Rys. 1. $W_M = F(t)$

W konkretnej sytuacji przedstawiona droga postępowania musi uwzględniać zmianę warunków oddziaływania czynników atmosferycznych po włączeniu odpadów do pracy oraz uwzględniać skutki innych, właściwych wówczas, czyn-

ników. Może to być rozkruszenie wywołane zmiennym stanem naprężeń w nasypach drogowych, czy działanie wody przy wbudowaniu odpadów poniżej jej zwierciadła.

3. RODZAJ MATERIAŁU UŻYTEGO DO BADAŃ

Materiał będący przedmiotem badań, pochodzący z KWK "Murcki", sklasyfikowano w oparciu o przeprowadzone badania makroskopowe i szczegółowe badania laboratoryjne jako łupki ilaste i ilasto-piaszczyste. Według klasyfikacji wprowadzonej przez J. Kuhla [4], [5] wymienione materiały zalicza się do II grupy skał klastycznych (skały ilaste). Szczegółowy podział skał tej grupy przedstawia się następująco (tabl. 1):

Tablica 1

Klasyfikacja skał ilastych [4], [5]

Grupa	Klasa	Podklasa	Rodzaj skały
II	1		Iły kaolinitowe (łupki ilaste, iłowce)
		a	Iły kaolinitowo-illitowe (iły plastyczne)
		b	Iły kaolinitowo-albitowe
		c	Iły kaolinitowo-serycytowo-kwarcowe (łupki ilasto-piaszczyste)
		d	Iły kaolinitowo-chlorytowo-serycytowe (łupki żelaziste)
	2		Iły krystaliczne (łupki ogniotrwałe)

Łupki ilaste i ilasto-piaszczyste mają strukturę pelitową, a czasami również pelitowo-aleurytową. Charakteryzują się barwą od jasnoszarej do ciemnoszarej i czarnej. Składniki mineralne tych skał mają, średnio biorąc wielkości rzędu 0,001 mm. Są to przeważnie: kaolinit, illit, serycyt, montmorylonit, opal, chalcedon, pył kwarcowy, chloryty, miki, skalenie potasowe i plagioklazy.

Własności rozdrobnionych skał karbońskich wykazują znaczną niejednorodność w przedziałach liczbowych opisujących poszczególne parametry geotechniczne. Duży wpływ na to ma ich uziarnienie oraz okres zalegania na hałdzie. Dla zbadania wpływu czasu zalegania na hałdzie na zmianę własności łupków ilastych i ilasto-piaszczystych wykonano badania trzech grup materiału:

- odpadów pochodzących z bieżącej produkcji (odpady OI),
- odpadów zalegających na hałdzie przez okres około 30 lat (odpady OII),
- odpadów zalegających na hałdzie przez okres około 50 lat (odpady OIII).

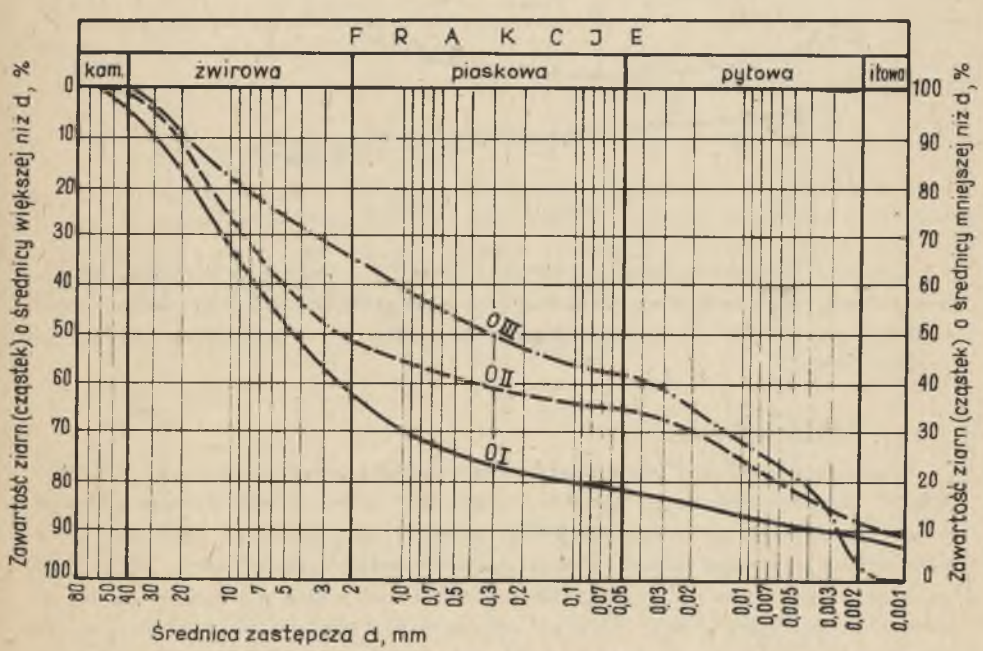
Dla przeprowadzenia badań specjalistycznych pobrano losowo próbki odcinkowe z odkrywek wykonanych w różnych miejscach hałdy. W sumie pobrano

do badań 1000 kg odpadów. Były to próbki o naturalnej wilgotności, bez zachowania struktury zalegania materiału w hałdzie. Taki sposób pobierania próbek jest zasadny, biorąc pod uwagę przeznaczenie materiału do budowy nasypów inżynieryjno-komunikacyjnych, w trakcie której następuje naruszenie pierwotnej struktury zalegania materiału. Próbki odpadów pochodzących z bieżącej produkcji pobierano każdorazowo wprost z taśmociągu.

4. CECHY FIZYCZNE

4.1. Uziarnienie

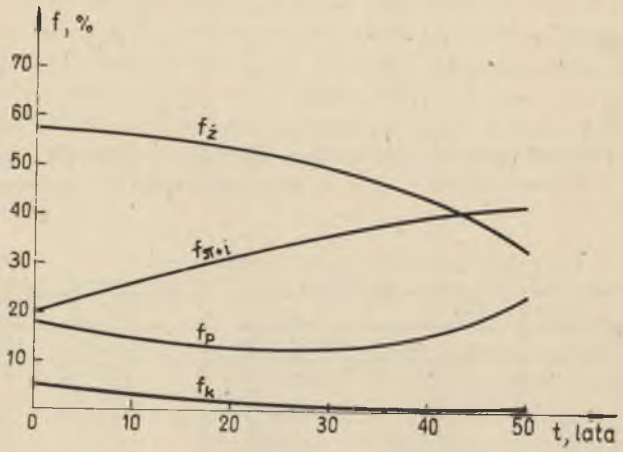
W badanych 3 rodzajach odpadów przeważają frakcje: żwirowe (34-57%), piaskowa (13-24%) i pyłowa (9-39%). Ich krzywe uziarnienia przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Krzywe uziarnienia

Analiza wyników badań uziarnienia odpadów pochodzących z bieżącej produkcji oraz zalegających przez 30 i 50 lat na hałdzie wskazuje, iż zmieniają one z czasem swe uziarnienie (rys. 3). Widać wyraźnie, że zmiana zawartości frakcji kamienistej i żwirowej oraz pyłowej i iłowej w funkcji czasu ma charakter ściśle monotoniczny, przy czym w pierwszym przypadku mamy do czynienia z funkcją malejącą, w drugim natomiast z funkcją rosną-

cą. Zawartość frakcji piaskowej początkowo maleje, później jednak systematycznie wzrasta. Funkcja ta osiąga minimum po okresie około 30 lat składowania. Z przebiegu funkcji obrazujących zmiany poszczególnych frakcji można wnosić, iż dłuższy od 50 lat okres składowania wywoła postępujący rozpad strukturalny, objawiający się zmniejszeniem frakcji kamienisto-żwirowej i rosnącą zawartością frakcji piaskowej i pyłowo-iłowej.



Rys. 3. $S_z = F(t)$

Uzyskane z badań krzywe uziarnienia (rys. 2) wskazują ponadto, iż badane odpady mają charakter gruntów gruboziarnistych. Ściślej mówiąc, odpowiadają one żwirom gliniastym (odpady OI, OII) i pospółkom gliniastym (odpady OIII).

4.2. Gęstość właściwa

Oznaczenie gęstości właściwej przeprowadzono zgodnie z normą PN-75/B-04481. Uzyskane wartości gęstości właściwej (tabl. 2) są niższe od odpowiednich wartości gęstości właściwej gruntów mineralnych. Różnica ta wynika stąd, iż badane odpady zawierają dość znaczne zawartości węgla, wynoszące od 18,1% do 20,9%. Największą zawartość węgla posiadają odpady OI, a najmniejszą odpady OII. Różnice w zawartości węgla w poszczególnych grupach badanych odpadów wynikają zarówno z technologii wydobycia, jak i procesu utleniania części palnych odpadów składowanych na hałdzie.

Z przeprowadzonej dla poszczególnych grup odpadów, jak i całości odpadów, analizy statystycznej wynika, iż odpady zarówno w grupach, jak i w całości są jednorodne. Największy współczynnik zmienności v = 3,7% uzyskano dla odpadów OI, a co za tym idzie współczynnik niejednorodności k = 0,96-1,04. Dla całości przebadanych odpadów współczynniki te są jeszcze niższe (tabl. 2). Czas składowania odpadów nie ma tutaj zasadniczego

wpływu na wartości gęstości właściwej, gdyż skład mineralogiczny, poza nieznacznymi różnicami w zawartości węgla, nie ulega znaczącym zmianom. Badania te potwierdzają założoną hipotezę o jednorodności skał, z których odpady te pochodzą.

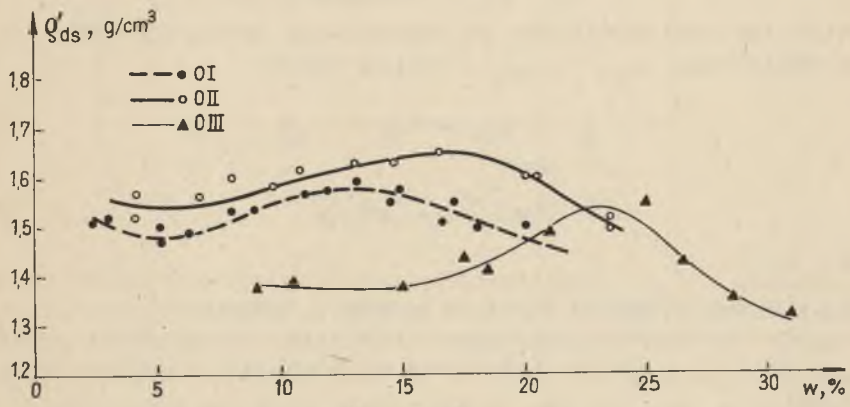
Tablica 2

Gęstość właściwa

Rodzaj odpadów	Ilość pomiarów (prób)	Wartość średnia $\bar{\rho}$ [g/cm³]	ρ_{max} [g/cm³]	ρ_{min} [g/cm³]	Odchylenie standardowe s	Współczynnik zmienności v [%]	Współczynnik niejednorodności $k = 1 \pm v$
1	2	3	4	5	6	7	8
OI	10	2,361	2,389	2,357	0,016	3,7	0,96 1,04
OII	10	2,455	2,468	2,436	0,008	0,3	~1,00
OIII	10	2,452	2,472	2,437	0,007	0,3	~1,00
OI; OII; OIII	3	2,423	2,455	2,361	0,053	2,2	0,98 1,02

4.3. Parametry zagęszczenia

Wilgotność optymalną (w'_{opt}) oraz maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego (ρ'_{ds}) badano dla wszystkich ośrodków (PN-75/B-04481) na okruchach o $d < 10$ mm według normalnej próby Proctora. Wyniki badań zawiera tabl. 3 oraz wykresy na rysunkach 4 i 5.

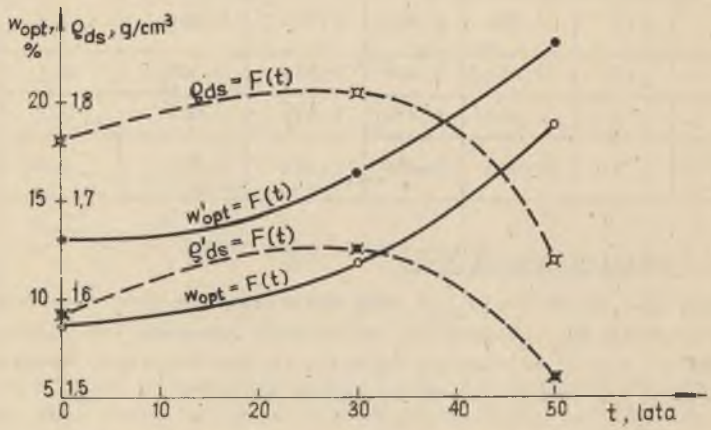


Rys. 4. $\rho'_{ds} = F(w)$

Tablica 3

Parametry zagęszczenia

Ośrodek	ρ'_{ds} [kg/cm^3]	w'_{opt} [%]	w'_1 [%] dla $0{,}96\rho_{ds}$	w'_2 [%] dla $0{,}94\rho_{ds}$	w'_3 [%] dla $0{,}92\rho_{ds}$	ρ_{ds} [g/cm^3]	w_{opt} [%]
1	2	3	4	5	6	7	8
OI	1,58	13,0	17,7	18,8	21,0	1,76	8,8
OII	1,65	16,5	20,7	22,0	23,5	1,81	11,9
OIII	1,54	23,0	25,4	26,0	26,5	1,64	19,0



Rys. 5. ρ'_{ds}, ρ_{ds}, w'_{opt}, $w_{opt} = F(t)$

Podano tam również obliczone dla rzeczywistego składu ziarnowego parametry zagęszczenia w_{opt} i ρ_{ds}. Z analizy funkcji

$$\rho'_{ds} = F(w) \tag{4}$$

$$\rho'_{ds},\ \rho_{ds},\ w'_{opt},\ w_{opt} = F(t) \tag{5}$$

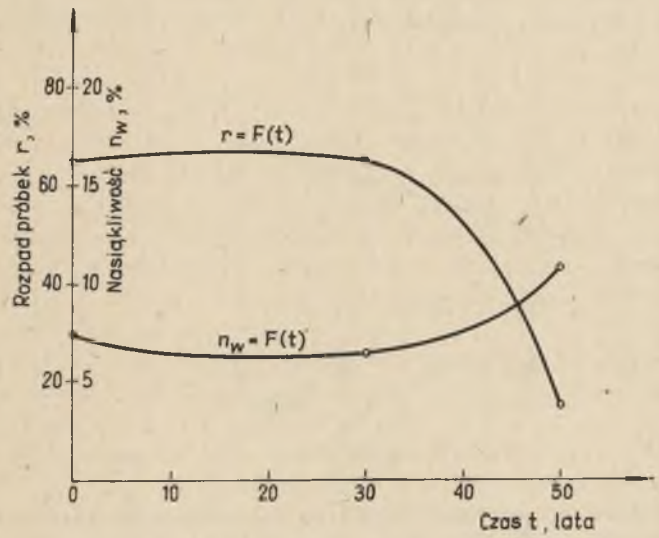
wynika, że:

- czas składowania odpadów wpływa na parametry zagęszczenia,
- wraz ze wzrostem czasu składowania rośnie wilgotność optymalna zarówno w'_{opt}, jak i w_{opt}, co jest efektem wzrostu zawartości frakcji pyłowej i iłowej,
- maksymalna gęstość objętościowa szkieletu w funkcji czasu posiada swoją ekstremalną wartość (max przy czasie składowania ~30 lat). Hipotetycznym uzasadnieniem może tu być optymalny dla ρ_{ds} skład ziarnowy hałdy.

który występuje w efekcie rozpadu strukturalnego ziarn po odpowiednim czasie ich składowania.

4.4. Nasiąkliwość

Badania nasiąkliwości zwykłej odpadów OI; OII i OIII przeprowadzono dla ziarn o wymiarze d > 20 mm, zgodnie z obowiązującymi normami. Uzyskane wyniki badań wykazały dość duży rozrzut. Nasiąkliwość wagowa (n_w) odpadów OI wahała się w przedziale od 4,1% do 10,7% (średnio 7,4%), natomiast nasiąkliwość odpadów OII zawierała się w granicach od 0,9% do 13,5% (średnio 6,4%). W obu przypadkach 65% zbadanych próbek uległo całkowitemu rozpadowi (r) wskutek nasycenia ich wodą. Nasiąkliwość odpadów OIII wahała się w granicach od 5,3% do 19,0% (średnio 10,7%). Odpady te charakteryzowały się większą odpornością na działanie wody w stosunku do odpadów OI i OII, gdyż w tym przypadku 15% zbadanych próbek uległo całkowitemu rozpadowi w czasie badań nasiąkliwości.



Rys. 6. n_w, r = F(t)

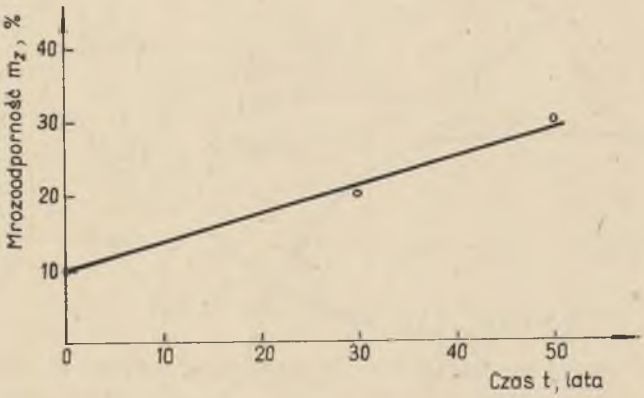
Przeprowadzone badania wykazały, że nasiąkliwość (n_w) i odporność na działanie wody (r) odpadów są funkcją czasu ich składowania na zwałowisku. Graficzną ilustrację tych zależności przedstawiono na rys. 6. Wynika z niego, że dopiero po upływie około 30 lat zalegania materiału na zwałowisku, w naturalnych warunkach atmosferycznych, maleje jego wrażliwość na działanie wody, a rośnie nasiąkliwość.

Ponadto uzyskane wyniki badań wykazały, że zbadane odpady są w ogólności wrażliwe na działanie wody i charakteryzują się nasiąkliwością większą od dopuszczalnej ($n_w \leq 4\%$) dla III klasy kruszywa drogowego.

4.5. Mrozoodporność

Oznaczenie mrozoodporności metodą bezpośrednią wykonano na tych próbkach odpadów, które nie uległy rozpadowi po badaniu ich nasiąkliwości. Poddano je 15 kolejnym cyklom zamrażania i odmrażania, zgodnie z wymogami odpowiednich norm.

Przeprowadzone badania wykazały, że odpornych na działanie mrozu było: 10% próbek odpadów OI, 20% próbek odpadów OII i 30% próbek odpadów OIII. Pozostałe próbki zbadanych odpadów okazały się mrozonieodporne, gdyż ubytek ich masy był większy od dopuszczalnego (10%) dla III klasy kruszywa drogowego bądź uległy całkowitemu rozpadowi w czasie badań mrozoodporności.



Rys. 7. $m_z = F(t)$

Stwierdzono również, że mrozoodporność (m_z) badanego materiału zależy od czasu jego składowania na zwałowisku. Zależność tę przedstawiono na rys. 7. Wynika z niego, że odporność zbadanych odpadów na działanie mrozu rośnie liniowo wraz z upływem czasu ich składowania na zwałowisku.

4.6. Wysadzinowość

Właściwość tę określono za pomocą metod stosowanych w badaniach nieskalistych gruntów rodzimych [8], [11], [12] oraz według gruntowych kryteriów wysadzinowości Z. Wiłuna [14] i S. Rolli [9].

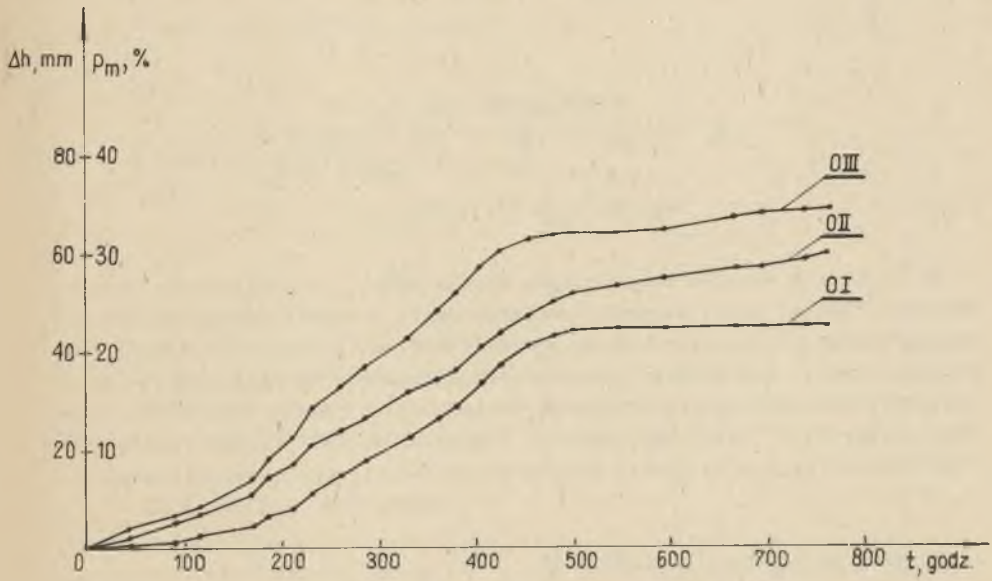
Pęcznienie mrozowe (p_m), jako jeden z parametrów określających wysadzinowość przemarzającego ośrodka, wyraża w procentach stosunek przyrostu

wysokości próbki (Δh) do jej wysokości początkowej (h). Warunki przeprowadzonych badań laboratoryjnych tego parametru były następujące:

- badano materiał o uziarnieniu 0 - 12 mm,
- próbki odpadów, o wilgotności zbliżonej do optymalnej i zagęszczane według metody normalnej Proctora, posiadały kształt walca o wymiarach d = 120 mm i h = 200 mm,
- penetracja ujemnej temperatury równej -10°C przebiegała od powierzchni górnej do wnętrza próbki,
- zastosowano tzw. otwarty system gruntowo-wodny,
- badania prowadzono w sposób ciągły przez okres jednego miesiąca.

Szczegółowe informacje o sposobie i warunkach badań pęcznienia mrozowego odpadów zawiera praca [12].

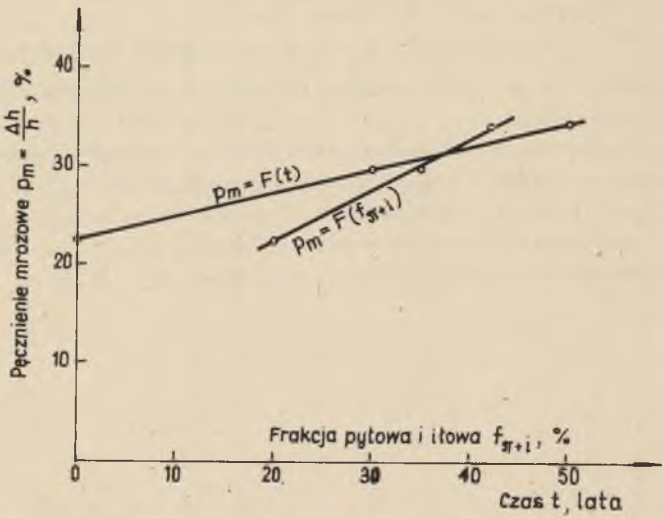
Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano następujące maksymalne wartości pęcznienia mrozowego: p_m = 22,4% dla odpadów OI, p_m = 29,9% dla odpadów OII i p_m = 34,4% dla odpadów OIII. Są one nieco większe od wartości pęcznienia mrozowego, badanych w podobnych warunkach laboratoryjnych, wysadzinowych gruntów mało- i średniospoistych [8], [11].



Rys. 8. $p_m = F(t)$

Krzywe obrazujące przebieg pęcznienia mrozowego odpadów w czasie przedstawia rys. 8. Jak widać, stabilizacja pęcznienia mrozowego zbadanych odpadów, w zakresie zrealizowanego programu badań, następuje po upływie 18-21 dni od momentu rozpoczęcia mrożenia.

Zrealizowane badania wykazały, że pęcznienie mrozowe zbadanych odpadów istotnie zależy od procentowego udziału w ich składzie uziarnienia frakcji pyłowo-iłowej $p_m = F(f_{\pi+i})$, jak również wyraźnie zależy od czasu składowania materiału na zwałowisku $p_m = F(t)$. Zależności te mają charakter liniowy (rys. 9). Pęcznienie mrozowe odpadów rośnie wraz ze wzrostem zawartości cząstek o średnicy $d < 0,05$ mm i rośnie wprost proporcjonalnie wraz z upływem czasu zalegania materiału na składowisku.



Rys. 9. $p_m = F(t)$, $F(f_{\pi+i})$

Na podstawie wyników badań składu uziarnienia i kapilarności biernej dokonano również oceny stopnia wysadzinowości przedmiotowych odpadów według gruntowych kryteriów wysadzinowości. Według kryterium Z. Wiłuna [14] zbadane odpady, niezależnie od czasu ich zalegania na zwałowisku, należy zaliczyć do wysadzinowych. Podobnie należy ocenić odpady OII i OIII według kryterium S. Rolli [9]. Jedynie odpady OI można według tego kryterium zakwalifikować do gruntu na pograniczu wątpliwego i wysadzinowego.

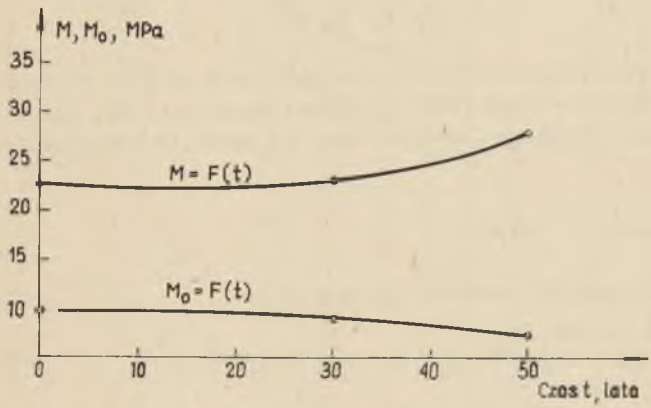
5. OPÓR NA ŚCINANIE I ŚCIŚLIWOŚĆ

W projektowaniu korpusów ziemnych konieczna jest znajomość wartości modułów ściśliwości oraz parametrów wytrzymałościowych, tj. kąta tarcia wewnętrznego i spójności. Oznaczenia tych cech przeprowadzono na próbkach zagęszczanych bezpośrednio w komorach aparatów z energią 0,59 MJ/m^3.

Badania ściśliwości wykonano na odpadach zagęszczanych przy wilgotności optymalnej, a oznaczenie parametrów Φ_u i c_u na próbkach o trzech różnych wilgotnościach: powietrzno-suchej, optymalnej oraz na próbkach nawodnionych.

5.1. Ściśliwość

Moduły ściśliwości określono dla zalecanego normowego zakresu obciążeń na próbkach o uziarnieniu 0,0 ÷ 10,0 mm. Wobec tego, iż w rzeczywistości udział ziarn o średnicach >10 mm wynosi średnio 18% dla odpadów OI i aż 33% dla odpadów OIII, przeprowadzono weryfikację wyników bazując na określonych w tym celu zależnościach empirycznych [3]. Graficzną zależność wartości modułów od czasu składowania odpadów przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. M, M_o = F(t)

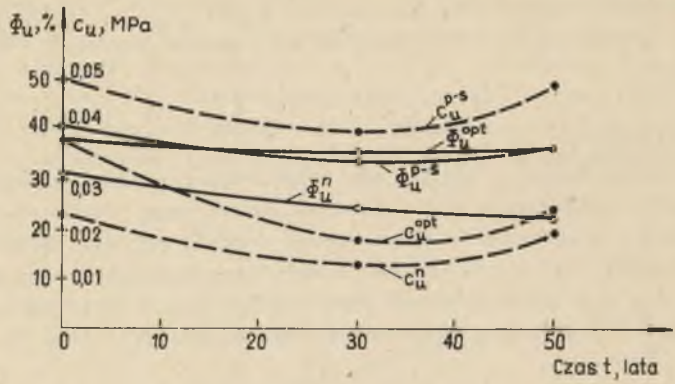
Wartości modułów ściśliwości pierwotnej z czasem nieznacznie maleją, a wtórnej rosną. Z przeprowadzonych badań widać, że uzyskane wartości modułów ściśliwości są stosunkowo niskie i odpowiadają gruntom spoistym z pogranicza stanu twardoplastycznego i plastycznego [14].

5.2. Wytrzymałość na ścinanie

Badania oporu na ścinanie wykonano również na odpadach o uziarnieniu 0÷10 mm. Ponieważ badane odpady OI, OII i OIII zawierały ziarna o średnicach >10 mm, dokonano również weryfikacji wyników [3].

Uzyskane stosunkowo wysokie wartości kątów tarcia wewnętrznego i kohezji dla próbek powietrzno-suchych wynikają z klinowania się ziarn frakcji kamienisto-żwirowej, nie są więc wartościami miarodajnymi.

Zależność wartości parametrów Φ_u i c_u od czasu składowania odpadów przedstawiono na rys. 11. Dla każdego stanu wilgotnościowego próbek największe wartości kątów tarcia wewnętrznego i spójności uzyskano dla odpa-



Rys. 11. Φ_u, c_u = F(t)

dów OI. Kohezję dla odpadów OI należy pominąć, gdyż wynika ona z klinowania się ziarn frakcji grubych. Wraz z upływem czasu wartości kątów tarcia nieznacznie maleją, a kohezja wzrasta. Jest to wynikiem zmian uziarnienia.

6. DROGOWE PARAMETRY NOŚNOŚCI

Do drogowych parametrów nośności zalicza się:

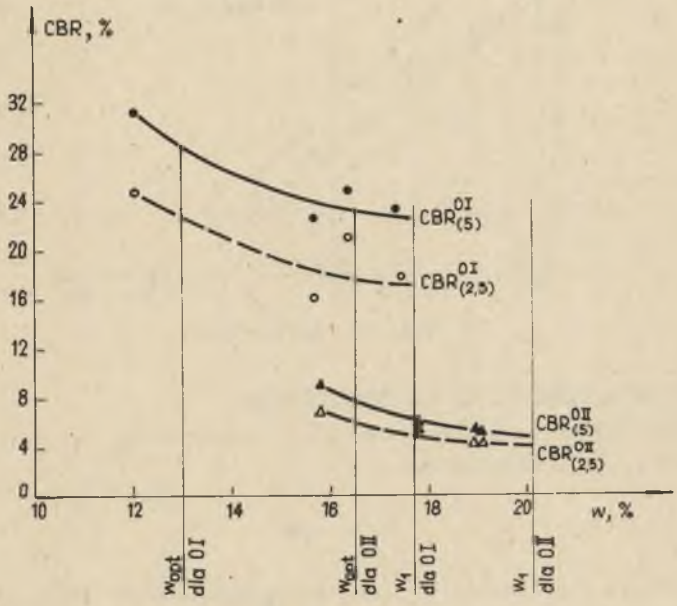
a) wskaźnik nośności CBR ($w_{noś}$),
b) moduły:
   - sprężystości (E_s),
   - odkształcenia pierwotnego (M_E) i wtórnego ($\bar{M}_E$).

Znajomość tych parametrów jest niezbędna przy ustalaniu możliwości i zakresu zastosowania każdego materiału w budownictwie drogowym.

Badaniami z przedmiotowego zakresu objęto odpady nieprzepalone pochodzące bezpośrednio z płuczki (OI) oraz składowane około 30 lat (OII). Metodykę badań oparto na istniejącej normie (PN-70/8931-35), wytycznych [6] oraz uwagach i wnioskach zawartych w [2], [10] i [14]. Ideą tam zawartej metodyki jest poszukiwanie wartości drogowych parametrów nośności w funkcji wilgotności. Jako miarodajne przyjmuje się wartości tych parametrów dla wilgotności charakterystycznych zależnych od warunków hydrogeologicznych odcinka drogi. Wartości tych wilgotności odpowiadają 0,96; 0,94 i 0,92 ρ'_{ds} wyznaczonych w funkcji (4) w normalnej próbie Proctora. Są to wilgotności z prawostronnego otoczenia wilgotności optymalnej (w'_{opt}). Dla badanych ośrodków funkcję (4) podaje rysunek 4, a wilgotności charakterystyczne tablica 3.

6.1. Wskaźnik nośności CBR ($w_{noś}$)

Wyniki badań dla zależności (1) podano na rys. 12. Zgodnie z normą (PN-70/8931-35) badaniami objęto ziarna o średnicy mniejszej od 20 mm. Stwierdzono znaczący wpływ wilgotności na wartość $w_{noś}$. Proces moczenia próbek nie zapewnił uzyskania wilgotności badanego materiału powyżej pierwszej wilgotności charakterystycznej (w_1'). Stąd wykresy podane na rys. 12 zawierają wartości $w_{noś}$ odpowiadające w_{opt}' i w_1'.



Rys. 12. CBR = F(t)

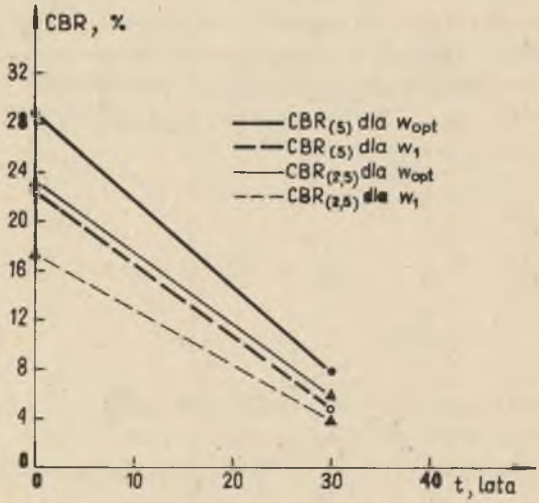
Za płaszczyznę odniesienia uzyskanych rezultatów przyjęto klasyfikację ośrodków mineralnych dla celów drogowych [2]. Ośrodek OI pod względem wskaźnika nośności (~31,0% przy w_{opt}' i ~ 23,0% przy w_1') odpowiada mineralnym piaskom średnim i grubym. Ośrodek OII, posiadający $w_{noś}$ ≅ 9,0% przy w_{opt}' i ~5,0% przy w_1', odpowiada mineralnym gruntom średniospoistym. Wyniki dla funkcji (3), która tu ma postać:

$$w_{noś} = F(t), \tag{6}$$

zawiera rysunek 13.

Około 30-letni okres składowania odpadów spowodował istotne spadki wartości ich wskaźnika nośności, dochodzące do ponad 70%. W odniesieniu do ośrodków mineralnych, wspomniany czas składowania nieprzepalonych od-

padów kopalnianych, spowodował zmianę $w_{noś}$ z charakteryzującej piaski grube i średnie na odpowiadającą gruntom średniospoistym.



Rys. 13. CBR = F(t)

6.2. Moduły sprężystości i odkształcenia

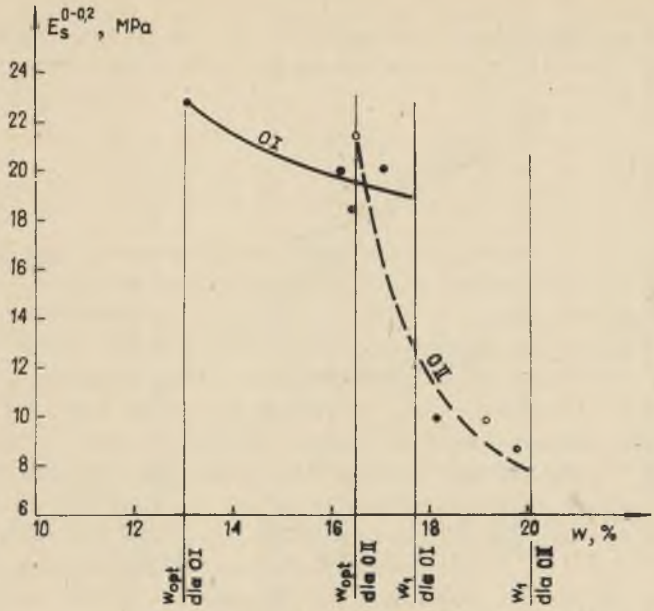
Badaniami objęto wydzielone frakcje o d < 12,5 mm, a przeprowadzono je w oparciu o [6]. Badanie funkcji

$$E_s = F(w) \tag{7}$$

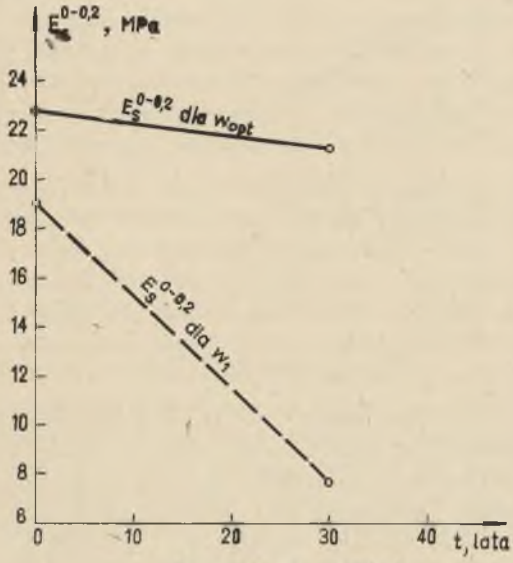
wykazało wzrost wrażliwości E_s na zmiany wilgotności wraz ze wzrostem czasu składowania (rys. 14).

Zmiana wilgotności od wilgotności optymalnej do pierwszej wilgotności charakterystycznej wywołała spadek modułu sprężystości dla odpadów pobranych z taśmy ~9%, natomiast dla odpadów składowanych 30 lat ~ 62%. Na rys. 15 podane dwie współrzędne zmian E_s w funkcji czasu. Zauważa się duży wpływ czasu składowania na wartości E_s przy pierwszej wilgotności charakterystycznej, natomiast dostateczną stabilność przy wilgotności optymalnej. Wyjściowe cechy sprężyste (OI) nieprzepalonych odpadów kopalnianych zbliżone są do średniospoistych gruntów mineralnych [6]. Czas składowania powoduje pogorszenie tych właściwości. Można przypuszczać, że po 30 latach składowania odpady będą zbliżone do mineralnych gruntów zwięzłospoistych.

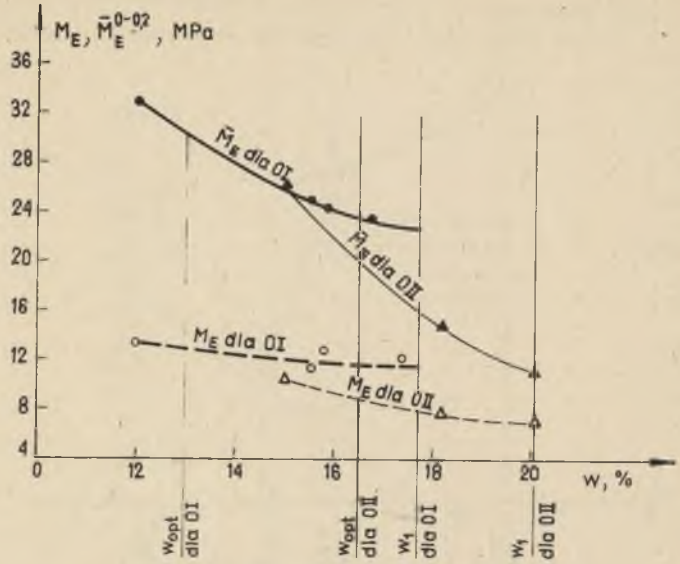
Moduły odkształcenia pierwotnego (M_E) okazały się mniej podatne na zmiany wilgotności w porównaniu z modułami ściśliwości wtórnej ($\bar{M}_E$) (rys. 16). Większą podatność M_E i $\bar{M}_E$ na zmiany wilgotności posiadają odpady OII (do~50% przy zmianie wilgotności od w'_{opt} do w'_1).



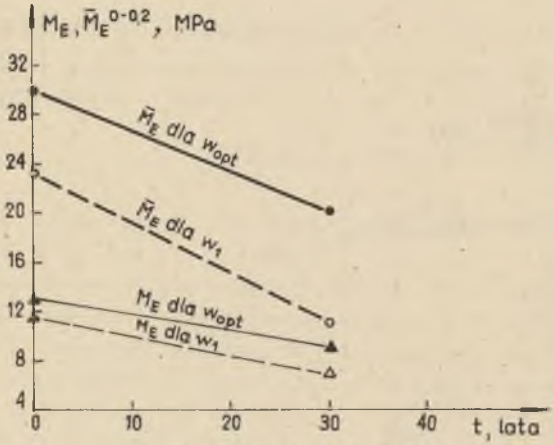
Rys. 14. $E_s = F(w)$



Rys. 15. $E_s = F(t)$



Rys. 16. M_E, $\bar{M}_E$ = F(w)



Rys. 17. M_E, $\bar{M}_E$ = F(t)

Zakres zmian M_E i $\bar{M}_E$ jako efekt 30-letniego składowania odpadów podano na rys. 17. Podobnie jak przy badaniu modułu sprężystości większą wrażliwość na czas składowania posiadały M_E i $\bar{M}_E$ przy pierwszej wilgotności charakterystycznej (spadki do 50% wartości wyjściowej), w porównaniu z ich zmianami przy wilgotności optymalnej (do ~ 30%). Porównując otrzymane rezultaty w zakresie odkształcenia pierwotnego odpadów z warto-

ściami ośrodków mineralnych, to odpady pobrane bezpośrednio z taśmy odpowiadają w przybliżeniu gruntom małospoistym, a po 30-letnim składowaniu gruntom średniospoistym.

7. WNIOSKI

1. Właściwości nieprzepalonych odpadów kopalnianych, w tym również łupków ilastych i ilasto-piaszczystych, zależą w głównej mierze od ich uziarnienia. Przeprowadzone badania wykazały, iż odpady złożone na zwale zmieniają z czasem swe uziarnienie. Ściślej mówiąc obserwowane są zmiany w zawartości poszczególnych frakcji odpadów. Zmiany zawartości frakcji kamienistej i żwirowej opisać można funkcją ściśle malejącą, a frakcji pyłowej i iłowej - funkcją rosnącą. Jedynie funkcja opisująca zmiany w czasie zawartości frakcji piaskowej ma charakter paraboliczny. Osiąga ona swe minimum dla okresu około 30 lat zalegania na zwale. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły więc założoną wstępnie hipotezę, iż skład ziarnowy odpadów jest funkcją czasu ich składowania.

Pod względem uziarnienia odpady świeżo złożone na zwale odpowiadają żwirom gliniastym. W wyniku wieloletniego przebywania odpadów na zwale następuje jednak systematyczna przebudowa ośrodka wyjściowego, prowadząca w konsekwencji do jego powolnego przekształcania się w ośrodek spoisty.

2. W porównaniu z naturalnymi gruntami mineralnymi rodzimymi zwracają uwagę niskie wartości gęstości właściwej badanych odpadów. Gęstość właściwa zależy bowiem w dużej mierze od ilości węgla zawartej w odpadach. Badania wykazały jednak, iż długoletnie składowanie na zwale nie powoduje znaczących zmian w zawartości węgla w odpadach. Wykluczyć należy tutaj oczywiście obserwowane czasami przypadki samozapłonu odpadów. Gęstość właściwa i procentowa zawartość węgla w odpadach nie są więc funkcja czasu.

3. Obserwowane w czasie zmiany uziarnienia pociągają za sobą równocześnie zmianę innych cech odpadów, jak gęstości objętościowej szkieletu i wilgotności optymalnej, nasiąkliwości, mrozoodporności i wysadzinowości. Wraz z upływem czasu ulegają zmianie parametry zagęszczenia. Obserwowany jest wzrost wilgotności optymalnej odpadów, natomiast maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego osiąga swoją największą wartość przy około 30-letnim okresie składowania. Nasiąkliwość i odporność na działanie wody badanych odpadów można również opisać w postaci funkcji czasu ich składowania na zwale. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z funkcją ściśle malejącą, w drugim natomiast funkcja ma charakter paraboli z minimum odpowiadającym 30-letniemu okresowi składowania. Mrozoodporność i wysadzinowość również zależą od czasu składowania odpadów. Odporność odpadów na działanie mrozu i pęcznienie mrozowe opisują funkcje ściśle rosnące.

4. Odpady złożone na zwale charakteryzują się stosunkowo dużymi kątami tarcia wewnętrznego, co wynika stąd, że sztucznie rozdrobnione łupki mają ziarna o ostrych krawędziach. Wpływ czasu zalegania odpadów na zwale jest dostrzegalny. Spójność odpadów ogólnie biorąc jest mała, obserwuje się powolny jej wzrost z czasem. Ściśliwość badanych odpadów jest duża i w praktyce odpowiada ściśliwości twardoplastycznych i plastycznych gruntów spoistych. Odpady długo zalegające na zwałach wykazują wzrost wartości modułów ściśliwości pierwotnej.

5. W zakresie drogowych parametrów nośności, tj. wskaźnika nośności, modułów sprężystości oraz odkształcenia pierwotnego i wtórnego obserwowano wolne pogarszanie się wspomnianych parametrów wraz z upływem czasu zalegania na zwale. Wszystkie wymienione parametry opisują funkcje ściśle malejące.

Reasumując należy stwierdzić, iż długoletnie składowanie odpadów nieprzepalonych na zwałach wywołuje dla większości znaczących parametrów geotechnicznych skutki negatywne w różnym co do wielkości zakresie.

Przeprowadzone badania nie wyczerpują problematyki, stwarzają jednak możliwość szacunkowej oceny wpływu czasu składowania odpadów na zmianę ich podstawowych cech.

LITERATURA

[1] Chmura K.: Właściwości fizykotermiczne skał niektórych polskich zagłębi górniczych. Śląsk, Katowice 1970.

[2] Cisek T., Kawalec B., Soczawa A., Śliwa J.: Parametry nośności odpadów kopalnianych w zastosowaniu do celów drogowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Seria Budownictwo nr 40, Gliwice 1976.

[3] Kawalec B.: Właściwości fizyczne i mechaniczne odpadów kopalnianych jako gruntu budowlanego. Rozprawa doktorska, Gliwice 1973.

[4] Kuhl J.: Niektóre właściwości fizykomechaniczne skał karbońskich Górnego Śląska. Przegląd Geologiczny nr 10, 1955.

[5] Kuhl J.: Petrograficzna klasyfikacja skał towarzyszących pokładom węgla w zagłębiu Górnego Śląska. Prace GIG, seria A, Komunikat 171, Katowice 1955.

[6] Pachowski J.: Tymczasowe wytyczne techniczne laboratoryjnego oznaczania modułów sprężystości gruntów i materiałów drogowych. Prace COBiRTD, Nr 3, 1968.

[7] Pieczyrak J.: Reologiczne właściwości przepalonych odpadów kopalnianych. Rozprawa doktorska, Gliwice 1976.

[8] Pietrzyk K.: Analiza wpływu niektórych czynników na pęcznienie przemarzającego podłoża na podstawie badań laboratoryjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej. Seria Budownictwo Wodne nr 15, 1968.

[9] Rolla S.: Przełomy drogowe i wzmacnianie nawierzchni. WKiŁ, Warszawa 1977.

[10] Rolla S.: Badania materiałów i nawierzchni drogowych. WKiŁ, Warszawa 1979.

[11] Skarżyńska K.: Wpływ procesu zamarzania na niektóre właściwości fizykomechaniczne gruntów spoistych. Zeszyty Naukowe WSR, Rozprawy 18, Kraków 1969.

[12] Skarżyńska K., Łacheta S.: Aparatura do pomiaru pęcznienia mrozowego. Drogownictwo nr 1, 1969.

[13] Soczawa A.: Wysadzinowość odpadów kopalnianych w świetle badań laboratoryjnych. Praca doktorska, Gliwice 1978.

[14] Wiłun Z.: Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa 1976.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ СКЛАДИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА НЕПЕРЕГОРЕЛЫХ ШАХТНЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Р е з ю м е

В работе была проанализирована проблема изменений свойств неперегорелых шахтных отходов обогащения происходящих при продолжающимся много лет залегании в отвалах. Представлены результаты исследований свежих отходов и отвалов с каменноугольной шахты "Мурцки" после 30 и 50 лет складывания. Работа содержит наблюдения и практические выводы.

THE INFLUENCE OF STORAGE LIFE ON THE PROPERTIES OF UNBURNED-THROUGH COAL MINE WASTES

S u m m a r y

The paper considers the problem of the change of properties of unburned-through coal mine wastes taking place during longtime storage.

The results of experiments for fresh wastes and wastes stored for 30 and 50 years are presented. The paper contains observations and practical conclusions.