



ARTUR LECH

MOTA-ENGIL
Central Europe S.A.
artur-lech1@o2.pl



TYMOTEUSZ ZYDRÓN

Uniwersytet Rolniczy
w Krakowie
tymzdr@poczta.fm

Utylizacja odpadów azbestowo-cementowych w budownictwie drogowym – przykład Gminy Szczucin

Produkcję wyrobów azbestowo-cementowych na ziemiach polskich rozpoczęto w 1907 r., ale na wielką skalę zaczęła się rozwijać po 1950 r. W tym czasie uruchomiono duże zakłady wyrobów azbestowo-cementowych m.in. w Gdańsku, Lublinie, Łodzi, Ogrodzieńcu, Wierzbicy, Trzemesznie i Szczucinie. W latach 1955–1959 wybudowane zostały Zakłady Wyrobów Azbestowo-Cementowych w Szczucinie, które wyposażony były

w nowoczesne jak na owe czasy linie technologiczne do produkcji rur płyt azbestowo-cementowych.

W wyżej wymienionym okresie dużym problemem Gminy Szczucin był nieodpowiedni stan dróg lokalnych, które najczęściej miały nawierzchnie gruntowe nieutwardzone. Na terenie gminy łatwo dostępnym i najtańszym materiałem do naprawy i utwardzenia drogi były odpady azbestowo-cementowe w postaci gruzu powstałego w procesie produkcyjnym w Zakładzie Wyrobów Azbestowo Cementowych w Szczucinie. Szacuje się, że objętość odpadów azbestowych oraz mas ziemnych zanieczyszczonych azbestem na terenie Gminy Szczucin wynosi od 0,8 do 1,0 mln m³, w tym na drogach około 330 tys. m³ odpadów azbestowych i tworzyw pozostałych, zanieczyszczonych tymi odpadami. Dla ukazania wagi problemu należy podać, że w skali całego kraju ilość odpadów zawierających azbest, przewidzianych do składowania w latach 2003–2012, została oszacowana na 4,40 mln m³ [1].

Przeprowadzone pod koniec lat 90. ubiegłego wieku badania przez pracowników Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi [2] wykazały, że na działanie pyłu azbestowego w mniejszym lub większym stopniu narażeni są wszyscy mieszkańcy Gminy Szczucin. Skutecznym sposobem unieszkodliwienia odpadów cementowo-azbestowych znajdujących się w drogach lokalnych jest zdjęcie warstw zawierających azbest i umieszczenie ich na składowisku odpadów niebezpiecznych. Jednak chociażby ze względu na dużą ilość odpadów wbudowanych jest to zadanie nieekonomiczne i w praktyce trudne do wykonania. Ponadto, miejsca po usunięciu odpadów należałoby uzupełnić odpowiednimi kruszywami, zapewniając funkcjonowanie ciągów komunikacyjnych. Dlatego też za optymalny wybór uznano pozostawienie odpadów azbestowych w konstrukcji drogi i trwałe przykrycie ich szczelną warstwą z masy mineralno-asfaltowej. Z uwagi na obecność nietypowego materiału w war-

stwie podłoża, jaki stanowią odpady azbestowo-cementowe, za cel pracy przyjęto ocenę jego nośności na wybranych odcinkach dróg rolniczych w Gminie Szczucin. Do celów porównawczych przeprowadzono również badania na odcinkach dróg nie zawierających odpadów. Ocenę nośności podłoża wykonano na podstawie badań lekką płytą dynamiczną, która stanowi metodę alternatywną lub uzupełniającą, do badań odkształcalności płytą statyczną VSS.

Charakterystyka działalności Zakładu Wyrobów Azbestowo-Cementowych w Szczucinie i jej związek z drogownictwem

Główną przyczyną lokalizacji zakładu produkującego rury azbestowo-cementowe i płyty dachowe w Szczucinie była bliskość rzeki Wisły, ponieważ w procesie produkcyjnym potrzebowano dużych ilości wody. Zakład ten, jako jedyny w Polsce, wytwarzał rury ciśnieniowe o dużej średnicy, które znalazły bardzo szerokie zastosowanie w budownictwie oraz jako materiał do budowy wodociągów. Najważniejszą ich zaletą była szczelność, nieprzepuszczalność wody i innych płynów oraz gazów, duża odporność chemiczna i termiczna, a przede wszystkim niska cena w porównaniu z innymi wyrobami zawierającymi sztuczne włókna. Produkcja rur ciśnieniowych odbywała się z zastosowaniem m.in. krokydolit, czyli azbestu niebieskiego, który jest uznawany za najbardziej agresywną biologicznie odmianę azbestu.

Podczas produkcji powstawały duże ilości odpadów: szlamów i stłuczek zawierających azbest. W zakładzie tym od 1959 do 1993 r. przetworzono ogółem 350 tys. Mg azbestu, w tym 65 tys. Mg azbestu niebieskiego – krokydolit [3].

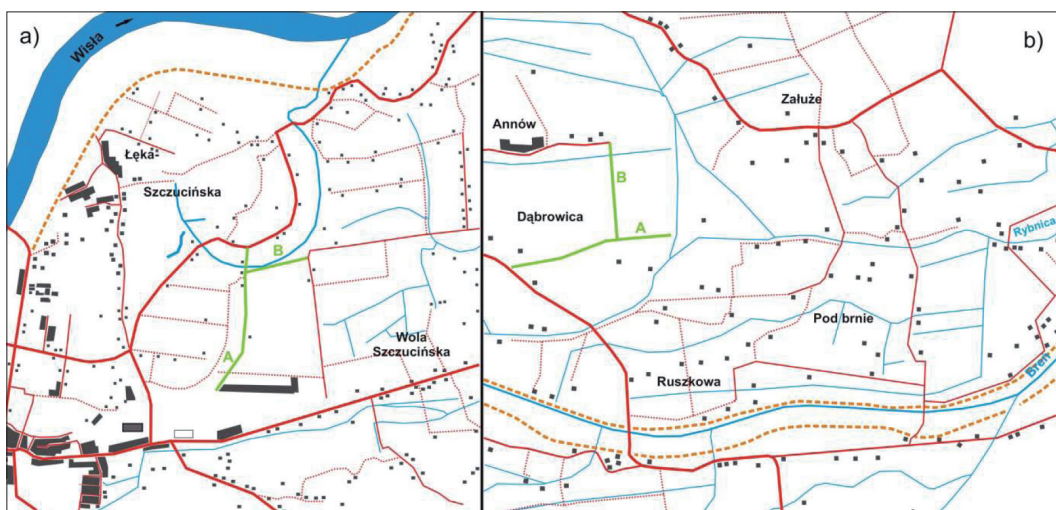
W trakcie produkcji wyrobów azbestowo-cementowych powstawały technologiczne odpady, wśród których dominowały osady (szlamy), złom wyrobów azbestowo-cementowych, pył z włóknami azbestu oraz tkaniny poużytkowe zanieczyszczone azbestem. Do 1992 r. część tych odpadów została wykorzystana gospodarczo do remontu nawierzchni drogowych, utwardzania placów użyteczności publicznej, niwelowania terenu, a nawet do ulepszania (wapnowania) gleby. Na obszarze Gminy Szczucin głównymi źródłami emisji pyłu do atmosfery są: nawierzchnie dróg, podwórzy, placów użyteczności publicznej utwardzone z zastosowaniem odpadów azbestowych, zwalę odpadów w osiedlach i grunty orne, na których zastosowano drobnoziarniste, powodujące pylenie odpady azbestowe.

Charakterystyka dróg rolniczych w Gminie Szczucin

Gmina Szczucin położona jest na północno-wschodnim krańcu województwa małopolskiego, na granicy trzech województw: małopolskiego, świętokrzyskiego i podkarpackiego. Pod względem geologicznym gmina położona jest w obszarze Zapadliska Przedkarpackiego, które wypełnione jest trzeciorzędowymi morskimi osadami ilastymi przykrytymi młodszymi utworami czwartorzędu. Na terenie Gminy Szczucin powierzchniowe warstwy stanowią utwory czwartorzędowe: mady, gliny, pyły, ropy i piaski ze żwirami, których geneza związana jest z działalnością rzek oraz ich mniejszych dopływów [2]. Znaczne połacie gminy to tereny podmokłe i bagniste, które występują zwłaszcza w bliskim sąsiedztwie małych, nieuregulowanych potoków.

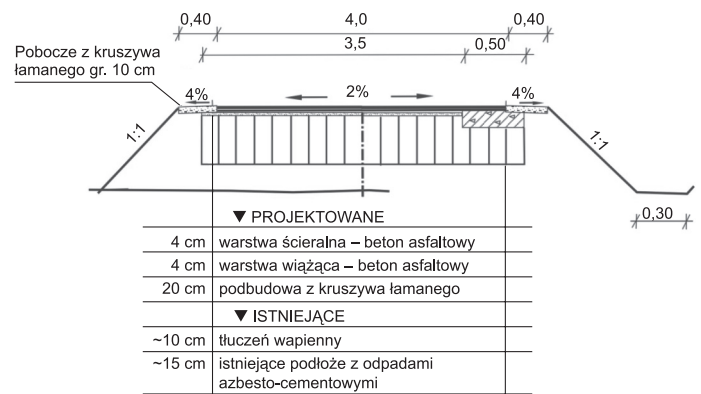
Drogi rolnicze w Gminie Szczucin zajmują 189,6 ha, a w poszczególnych wsiach stanowią od 1,35 do 22,04 ha. Szacuje się, że około 1/3 wszystkich dróg rolniczych zawiera odpady azbestowe [2], a do największych potencjalnych źródeł emisji pyłu azbestowego zaliczono drogi na terenie wsi: Łaskówka Delastowska, Lubasz, Radwan i Łęka Szczucińska.

Analizie poddano 2 odcinki dróg, w których podłożu znajdują się odpady azbestowo-cementowe (rys. 1). Droga nr 10 w Woli Szczucińskiej składa się z dwóch odcinków. Odcinek A, który rozpoczyna się od skrzyżowania z drogą powiatową i biegnie w kierunku południowym, od km 0+000 do km 1+068,00. Odcinek B rozpoczyna się od skrzyżowania z odcinkiem A (0+185,00km) i biegnie dalej na wschód od km 0+000 do km 0+474,00 (rys. 1a). W rejonie lokalizacji drogi zwierciadło wody gruntowej występuje poniżej głębokości 1,50 m p.p.t. Droga jest położona na terenach rolnych, pełni funkcję dojazdu do pól oraz nielicznej zabudowy. Nawierzchnia drogi jest zbudowana z tłucznia wapiennego i gruzu azbestowo-cementowego. W nawierzchni występują liczne ubytki, jak również znaczne nierówności poprzeczne i podłużne. Odcinek A ma średnio 3,5 m szerokości, odcinek B również – 3,5 m, a szerokość poboczy wynosi 0,5 m. Oś drogi w planie składa się z odcinków prostych oraz łuku. Na odcinku przedmiotowej drogi występują przepusty pod drogą główną.



Rys. 1. Lokalizacja odcinków dróg zawierających w podłożu odpady azbestowe: a) Wola Szczucińska, b) Dąbrowica

Droga nr 2 w Dąbrowicy (rys. 1b) znajduje się przy drodze gminnej prowadzącej ze Szczucina do sąsiedniej gminy Wadowice Górne. Droga ta prowadzi od centrum wsi Załuże, a jej boczny odcinek biegnie w kierunku północnym i dochodzi do zabudowań przysiółka Annów. Teren ten położony jest około 8 km na południowy wschód od centrum Szczucina. Odcinek A zlokalizowany od km 0+000 do 2+018,00 przebiega po działkach położonych w miejscowości Dąbrowica oraz Załuże. Odcinek B od km 0+000 do 0+610,00 przebiega po drodze położonej w miejscowości Dąbrowica. Droga ma następujące parametry: długość 2638,0 m, szerokość kształtuje się od 3,0 do 4,2 m, z pobocznymi o średniej szerokości 0,5 m. Droga jest odwadniana, obustronnymi lub jednostronnymi przydrożnymi rowami, które są w znacznym stopniu zarośnięte i zamulone.



Rys. 2. Przekrój konstrukcyjny drogi [5]

Z uwagi na niebezpieczeństwo emisji włókien azbestu opisane powyżej odcinki dróg przeznaczone do przebudowy, której zakres obejmował m.in. wzmocnienie istniejącej konstrukcji nawierzchni i zabezpieczenie znajdujących się w niej odpadów azbestowo-cementowych poprzez ułożenie warstw asfaltowych. W projekcie przewidziano wzmocnienie istniejącej nawierzchni drogi zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2. Warstwę ścieralną i wiążącą stanowił beton asfaltowy o uziarnieniu 0/12,8 mm, a poniżej przewidziano wykonanie podbudowy z kruszywa łamanego o uziarnieniu 0/63 mm stabilizowanego mechanicznie.

Docelowo zaprojektowane parametry techniczne dróg były następujące:

- droga jednojezdniowa, jednopasowa, dwukierunkowa,
- prędkość projektowa: $V_p = 30$ km/h,
- kategoria obciążenia ruchem: KR1,

- szerokość jezdni: 4,0 m,
- nawierzchnia jezdni: beton asfaltowy,
- szerokość poboczy: $2 \times 0,40$ m,
- nawierzchnia poboczy: z kruszywa łamanego.

Dodatkowo do celów porównawczych, a przede wszystkim do określenia wpływu odpadów azbestowych na nośność podłoża, przeprowadzone zostały również badania na 5 odcinkach dróg w miejscach nie zawierających tego typu odpadu:

- droga nr 03/06 (km 0+050) w miejscowości Maniów,
- droga nr 13 (km 1+425) w miejscowości Radwan,
- droga nr 40/06 (km 0+350) w miejscowości Załuże – Słupiec,
- droga nr 14 (km 0+403) w miejscowości Skrzyńska,
- droga nr 8 (km 0+451) w miejscowości Borki.

Metoda i zakres badań

W ramach wstępnych prac terenowych wykonano odkrywki na wybranych odcinkach dróg celem rozpoznania rodzaju gruntów podłoża oraz inwentaryzacji warstw zawierających odpady azbestowo-cementowe. Należy zaznaczyć, że badania w odkrywkach przeprowadzono w sprzyjających i stabilnych warunkach atmosferycznych, bez opadów deszczu, co było czynnikiem mającym duże znaczenie przy porównaniu wyników badań podłoża zawierającego odpady oraz wolnego od odpadów azbestowo-cementowych.

Przed wykonaniem odkrywek wykonano badania odkształcalności istniejącej nawierzchni dróg z użyciem lekkiej płyty dynamicznej. W ogólnym zarysie istota badania polegała na opuszczeniu ruchomego ciężarka o masie 10 kg z wysokości 110 cm na sztywną płytę o średnicy 300 mm. Po trzech próbnych obciążeniach dokonuje się właściwych pomiarów odkształcenia podłoża. Na podstawie pomierzonej pionowej amplitudy osiadania płyty dynamicznej oblicza się wartość dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} ze wzoru:

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma}{s} \quad (1)$$

w którym:

r – promień płyty obciążanej dynamicznie = 150 [mm],
 σ – średnia wartość obciążenia pod płytą wynosi 0,1 [MN/m²]
 s – amplituda osiadania [mm].

Uwzględniając parametry płyty w praktyce określenie dynamicznego modułu odkształcenia dokonano za pomocą wzoru:

$$E_{vd} = \frac{22,5}{s} \quad (2)$$

w którym:

s – j.w.

Do celów porównawczych wartości dynamicznego modułu odkształcenia zostały przeliczone na wartości statycznego wtórnego modułu odkształcenia według wzoru podanego w instrukcji obsługi urządzenia [Instrukcja 6]:

$$E_2 \approx 600 \cdot \ln \frac{300}{300 - E_{vd}} \quad (3)$$

W praktyce parametrem, który w sposób bezpośredni informuje o jakości zagęszczenia podłoża gruntowego, jest wskaźnik bądź stopień zagęszczenia. W ostatniej kolumnie tabeli 1 zestawiono wartości wskaźników zagęszczenia, które określono zgodnie z wytycznymi zawartymi w instrukcji ob-

sługi urządzenia. Ponadto w literaturze krajowej [7] do oszacowania wskaźnika zagęszczenia została zaproponowana następująca formuła:

$$I_s = 0,0037 \cdot E_{vd} + 0,8703 \quad (4)$$

Należy jednak mieć na względzie, że podana powyżej zależność została opracowana na podstawie wyników badań piasków średnich. Z uwagi jednak na brak innych danych literaturowych dotyczących tego typu korelacji powyższą zależność wykorzystano do orientacyjnego określenia wskaźnika zagęszczenia badanego podłoża drogowego.

Wyniki badań na wybranych odcinkach dróg

Wyniki przeprowadzonej analizy makroskopowej w profilach odkrywek odcinków dróg rolniczych nr 10 i 2 (odkrywki nr 1–5) pozwoliły stwierdzić, że obecność odpadów azbestowo-cementowych zaznacza się w wierzchnich warstwach drogi i występuje on w postaci gruzu, tłuczni oraz pyłu azbestowego. Grubość warstw zawierających azbest była zróżnicowana i wynosiła od 20 do 61 cm. Z punktu widzenia nośności i odkształcalności podłoża ważna jest grubość warstw tłuczni i gruzu budowlanego (nasytu budowlanego) oraz obecność ewentualnych zanieczyszczeń. Grubość warstwy tłuczni wynosiła od 5 do 12 cm, przy czym najmniejszą jego grubość stwierdzono w odkrywce nr 5, a największą w odkrywce nr 1. W obrębie odkrywek 1–5 rodzime podłoże stanowią zasadniczo grunty mało spoiste (piaski gliniaste, pyły i pyły piaszczyste) i średnio spoiste (gliny piaszczyste i pylaste) w stanie twaroplastycznym, a jedynie w otworze nr 1 stwierdzono obecność gruntu niespoistego – piasku pylastego. Biorąc pod uwagę kryterium wysadzinowości [8], [9] pod-

Tabela 1. Porównawcze zestawienie wyników badań dynamicznego modułu odkształcenia oraz przeliczonych na jego podstawie wartości statycznego modułu odkształcenia i wskaźnika zagęszczenia

Nr odkrywki*	Rodzaj istniejącej nawierzchni	Dynamiczny moduł odkształcenia E_{vd} [MPa]	Orientacyjny wtórny moduł odkształcenia E_2 [MPa]	Wskaźnik zagęszczenia I_s [-]	
				według wzoru (4)	według propozycji w Instrukcji...
1	tłuczeń + gruz	50,75	111	1,06	1,00
2	tłuczeń + gruz	33,92	72	1,00	1,00
3	tłuczeń + gruz	41,41	89	1,02	1,00
4	tłuczeń	47,87	104	1,05	1,00
5	tłuczeń	24,73	52	0,96	0,97
6	tłuczeń	16,27	33	0,93	0,95
7	tłuczeń	29,87	63	0,98	1,00
8	tłuczeń	15,88	33	0,93	0,95
9	tłuczeń	20,83	43	0,95	0,97
10	tłuczeń	14,27	29	0,92	0,95

* – odkrywki nr 1–5 – odcinki dróg zawierające w podłożu odpady azbestowo-cementowe; odkrywki nr 6–10 – odcinki dróg nie zawierające w podłożu odpadów azbestowo-cementowych

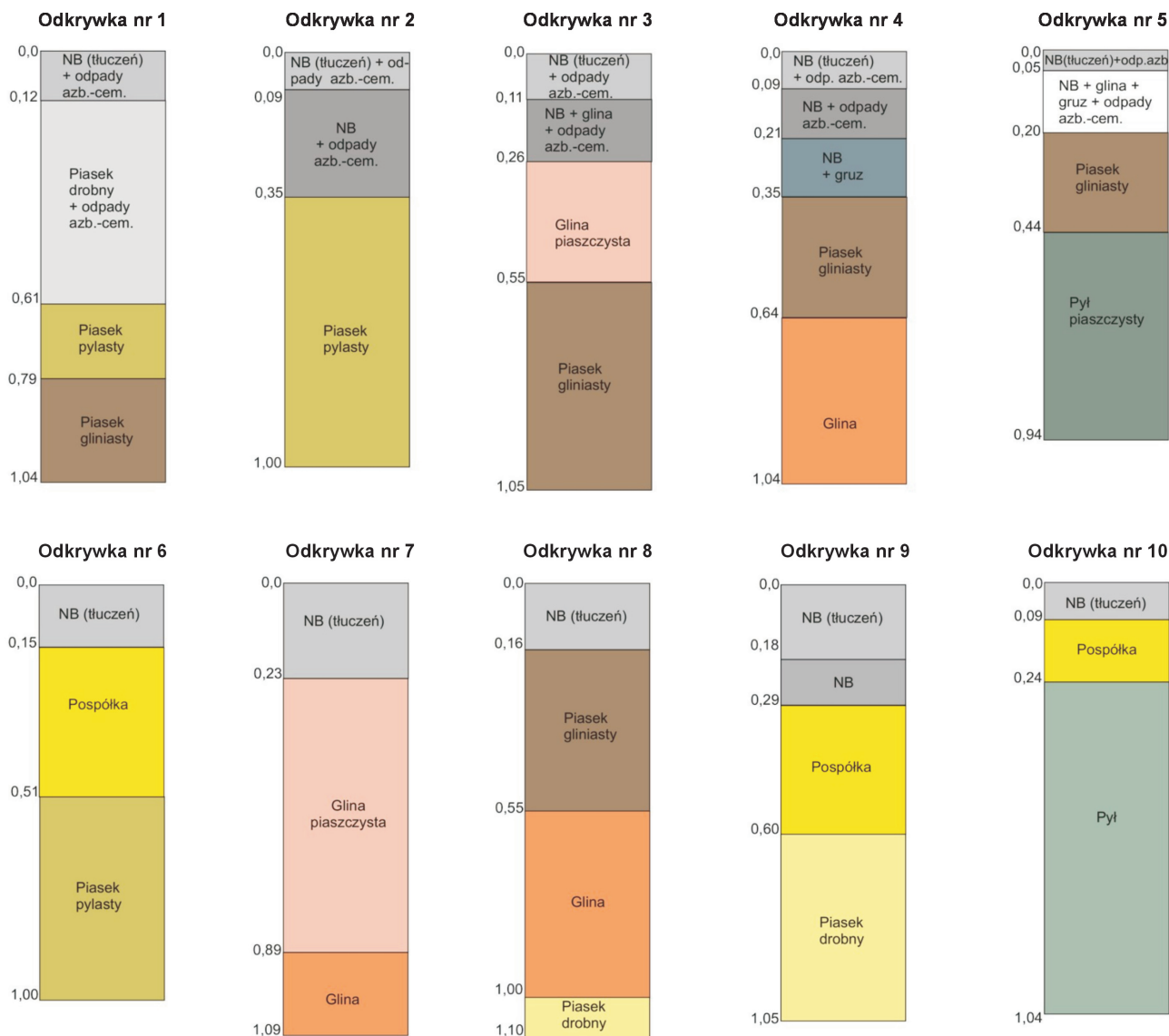
łoże naturalne jest niekorzystne, stanowią je zasadniczo grunty mało i bardzo wysadzinowe.

Z kolei grubość warstwy tłucznia na pięciu odcinkach dróg rolniczych o nawierzchniach, gdzie nie stwierdzono występowania odpadów azbestowych (odkrywki 6–10), wynosiła od 9 do 23 cm; a najmniejszą jego grubość stwierdzono w odkrywce nr 10, a największą w odkrywce nr 7. Grunty rodzime podłoża stanowiły utwory niespoiste (piaski pylaste i drobne oraz pospółki) i mało- oraz średniospoiste (piasek gliniasty, pyły oraz gliny i gliny piaszczyste) w stanie półzwarłym.

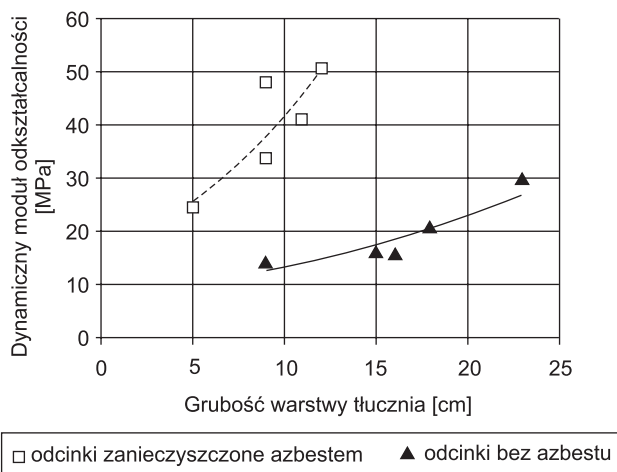
Biorąc pod uwagę wyniki analizy makroskopowej w odkrywkach charakteryzujących się obecnością azbestu i w odkrywkach nie zawierających tego typu odpadu można ogólnie stwierdzić, że warunki gruntowe podłoża odcinków obu typów dróg były porównywalne.

Wartości dynamicznych modułów odkształcenia odcinków dróg (tab. 1), których podłoża jest zanieczyszczone odpadami azbestowo-cementowymi, mieszczą się w zakresie od 25 do 51 MPa. Największą wartość tego parametru uzyskano

w odkrywce nr 1, gdzie przypowierzchniową warstwę podłoża stanowią tłuczeń oraz utwory niespoiste (piasek drobny oraz piasek pylasty), a odpady azbestowo-cementowe były obecne w profilu od głębokości 0,0 do 0,6 m p.p.t. Z kolei najmniejszą wartość dynamicznego modułu odkształcenia uzyskano w odkrywce nr 5, gdzie podłoża stanowi 5-centymetrowa warstwa tłucznia oraz gruz budowlany wymieszany z gruntem średniospoistym, który zalega do głębokości 0,2 m. Z kolei wartości dynamicznego modułu odkształcenia na odcinkach dróg nie zawierających w podłożu odpadów azbestowo-cementowych wynosiły od 16 do 30 MPa. Należy zwrócić uwagę, że podobnie, jak w przypadku odcinków dróg zawierających azbest, im większa grubość warstwy tłucznia – tym większą uzyskano wartość dynamicznego modułu odkształcenia (rys. 4). Z kolei porównując podłoża odcinków dróg zawierających i nie zawierających azbest większe wartości dynamicznego modułu odkształcenia uzyskano na odcinkach charakteryzujących się obecnością odpadu. Można więc stwierdzić, że badane odcinki dróg zawierające



Rys. 3. Ogólna charakterystyka podłoża odcinków dróg zanieczyszczonych (odkrywki 1–5) i nie zanieczyszczonych odpadami azbestowymi (odkrywki 6–10)



Rys. 4. Zależność dynamicznego modułu odkształcenia od grubości warstwy tłucznia

odpady azbestowe są mniej podatne na odkształcenia pod wpływem działania obciążeń dynamicznych.

Analizując otrzymane wyniki badań nośności należy zwrócić uwagę, że podłoże drogowe w pobliżu odkrywek 6–10 (bez azbestu) miało większą miąższość warstw tłucznia, ale uzyskały mniejsze wartości modułów. Można więc stwierdzić, że istotny wpływ na nośność podłoża miał również rodzaj gruntów zalegających w podłożu. W warstwie znajdującej się bezpośrednio pod warstwą tłucznia w odkrywkach 1–5 zalegały głównie grunty antropogeniczne – nasypy nie budowlane, wykonane z materiału gruntowego wymieszanego z gruzem i odpadami azbestowymi. Z kolei w odkrywkach 6–10 pod warstwą tłucznia zalegały średniozagęszczone pospółki stanowiące podłoże o wysokiej nośności, oraz piaski gliniaste i glinę piaszczystą – grunty o niedużej nośności. Z powyższego porównania wynika więc, że obecność azbestu nie wpływa negatywnie na odkształcalność podłoża drogowego.

Pomiar dynamicznego modułu odkształcenia podłoża przeliczony na orientacyjną wartość statycznego wtórnego modułu odkształcenia wyniósł na odcinkach dróg w pobliżu odkrywek 1–5: 52–111 MPa, a przy odkrywkach 6–10: 29–63 MPa. Otrzymane wartości modułu statycznego nie spełniają wymogów stawianych podłożu nawierzchni dróg o ruchu lekkim i średnim [9], niemniej parametry te są orientacyjne i dlatego też nie powinny być brane pod uwagę przy ocenie nośności podłoża drogowego.

Inną miarą jakości zagęszczenia podłoża drogowego jest wskaźnik zagęszczenia, którego minimalna wartość w projekcie modernizacji analizowanych odcinków dróg wynosiła 0,95. Porównując wyniki przeliczeń wskaźnika zagęszczenia można stwierdzić, że w odkrywkach 1-5 wynosiły one 0,96–1,06, co świadczy o odpowiednim zagęszczeniu podłoża. Natomiast wyraźnie mniejsze wartości wskaźników zagęszczenia (średnio 0,94) uzyskano na odcinkach dróg nie zawierających odpadów azbestowo-cementowych. Z kolei biorąc pod uwagę wyniki opracowane na podstawie wytycznych w instrukcji obsługi płyty dynamicznej (ostatnia kolumna w tabeli 1) można stwierdzić, że wszystkie badane odcinki dróg charakteryzują się wysokim zagęszczeniem spełniającym wymogi postawione w projekcie modernizacji dróg.

Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników badań terenowych przeprowadzonych na wybranych odcinkach dróg rolniczych w gminie Szczucin stwierdzono, że rodzimą warstwę podłoża dróg rolniczych stanowią osady czwartorzędowe będące utworami akumulacyjnej działalności rzeki Wisły, wykształcone w postaci drobnoziarnistych gruntów sypkich oraz mało- i średniosypkich. W większości analizowanych przypadków podłoża odcinków dróg zanieczyszczonych odpadami cementowo-azbestowymi stanowią grunty mało i bardzo wysadzinowe, a nieco lepsze pod tym względem jest podłoże dróg na odcinkach nie zawierających tego typu zanieczyszczeń. Otrzymane wartości dynamicznych modułów odkształcalności podłoża nawierzchni drogowej wskazują, że podłoże zawierające odpady azbestowe nie ustępuje jakością od podłoża nie zawierającego tego typu odpadów.

Uzyskane rezultaty badań wskazują, że metoda dynamicznego pomiaru odkształcalności podłoża nawierzchni dróg jest praktycznym narzędziem inżynierskim, które pozwala w krótkim czasie właściwie ocenić zagęszczenie podłoża budowlanego. Mimo, że metoda obciążeń dynamicznych jest od kilku lat powszechnie stosowana w praktyce drogowej, to wciąż brakuje jednoznacznej interpretacji wyników tego typu badań. Stąd też wciąż istnieje potrzeba określenia zależności pomiędzy wartościami dynamicznego modułu odkształcenia a wartościami wskaźnika zagęszczenia i statycznego modułu odkształcenia.

W gminie Szczucin istnieje wiele odcinków dróg gminnych, których górne warstwy podbudowy zawierają odpady cementowo-azbestowe, które według ustawy [10] kwalifikują się jako odpad niebezpieczny. Dlatego też praktycznym rozwiązaniem, z punktu widzenia ochrony środowiska, jak i geotechniki, jest przykrycie ich warstwą tłucznia oraz szczelnymi warstwami z mieszanki mineralno-asfaltowej, co praktycznie zapewnia ich właściwą neutralizację.

Bibliografia:

- [1] Gworek B., Bojanowicz-Bablok A., Barański A., 2008. *Azbest w odpadach*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa
- [2] Szeszenia-Dąbrowska N., Siuta J., 1998. *Azbest w środowisku. Skutki i profilaktyka*. Oficyna Wydawnicza Instytutu Medycyny Pracy, Łódź, 232
- [3] Kronika Zakładu. Archiwa Zakładu Wyrobów Azbestowo-Cementowych, ms.
- [4] Kondracki J.: *Regiony fizycznogeograficzne Polski*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1977
- [5] Lech A., 2009. *Geotechniczne aspekty unieszkodliwiania odpadów azbestowych na przykładzie Gminy Szczucin*. Uniwersytet Rolniczy, KIWIG, ms.
- [6] Instrukcja obsługi. Płyta obciążana dynamicznie – typ ZFG02
- [7] Pisarczyk S.: *Szybka kontrola zagęszczenia nasypów metodą ugięciomierza dynamicznego*. *Geotechnika w hydrotechnice*. Monografia wydana z okazji 50-lecia pracy naukowej Profesora Wojciecha Wolskiego, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2006, 196–203
- [8] PN-86/B-02480. *Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów*. Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, Warszawa
- [9] PN-S-02205:1998. *Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania*. Polski Komitet Normalizacyjny
- [10] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. Dz. U. Nr 62 poz. 628 z dnia 20 czerwca 2001 r. z późniejszymi zmianami ■