

Wpłynęło 23.10.2015 r.
Zrecenzowano 28.01.2016 r.
Zaakceptowano 05.04.2016 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

STABILIZACJA GRUNTÓW NA POTRZEBY POSADOWIENIA GRUNTOWYCH DRÓG ROLNICZYCH DOBÓR OPTYMALNYCH MIESZANEK STABILIZUJĄCYCH

Konrad PIECHOWICZ ABCDEF

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Laboratorium Badawcze Inżynierii Środowiska

Streszczenie

Drogi rolnicze dojazdowe do pól, lasów i gospodarstw rolnych nie są drogami publicznymi, w związku z czym nie są objęte nawet najniższą klasą techniczną wg kryteriów Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA). W rezultacie stan techniczny i sposoby utrzymania tych dróg pozostawiają wiele do życzenia. Istniejące drogi rolnicze powstały nierzadko jako rezultat przejazdu pojazdów i maszyn rolniczych. Ich warstwę nośną stanowi często grunt rodzimy wzbogacony odpadami, gruzem, kamieniami, a nawet popiołem. Niestety, lokalnie stosowane sposoby nie są wystarczające, aby solidnie i trwale wzmocnić drogi gruntowe, zwłaszcza gdy w podłożu występują grunty wysadzinowe. Opady atmosferyczne i ujemna temperatura powodują uplastycznienie gruntu, w rezultacie czego drogi stają się nieprzejezdne w okresie intensywnych opadów i roztopów wiosennych.

Współczesne metody stabilizacji dróg gruntowych z wykorzystaniem spoiw hydraulicznych i chemicznych stwarzają szansę na znaczną poprawę stanu i trwałości dróg rolniczych. Adaptacja sprzętu rolniczego na potrzeby stabilizacji dróg, jako alternatywa dla maszyn drogowych, umożliwia obniżenie kosztów budowy i remontu dróg rolniczych. W artykule przekrojowo przedstawiono stabilizację gruntów wysadzinowych (np. gliny, rumosze i piaski gliniaste) różnymi spoiwami na podstawie badań laboratoryjnych. Dotychczasowe wyniki badań wykazały, że łączenie kilku spoiw (np. spoiwa hydrauliczne, chemiczne i polimerowe) z gruntem daje efekt synergiczny w postaci zwiększonej wytrzymałości.

Słowa kluczowe: infrastruktura techniczna wsi, droga gruntowa, droga rolnicza, stabilizacja podłoża/nawierzchni

Do cytowania For citation: Piechowicz K. 2016. Stabilizacja gruntów na potrzeby posadowienia gruntowych dróg rolniczych. Dobór optymalnych mieszanek stabilizujących. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 16. Z. 4 (56) s. 57–71.

WSTĘP

W ostatnim czasie odnotowuje się rozwój infrastruktury technicznej obszarów wiejskich. Związane jest to z postępowaniem technicznym, rozwojem nowych technologii w rolnictwie, wyższym standardem życia jej mieszkańców. Większość obszarów wiejskich jest już wyposażona w podstawowe media, które istnieją na terenach zurbanizowanych, np. sieć wodociągowa i kanalizacyjną, sieć gazowniczą, usługi telekomunikacyjne, Internet itp. Tak zaawansowany postęp na obszarach wiejskich nie byłby możliwy bez rozwijającej się infrastruktury drogowej. Niestety, obecny stan techniczny istniejących dróg na terenach wiejskich nie tylko nie odpowiada już osiągniętemu poziomowi techniki rolniczej i transportowej, lecz wręcz hamuje rozwój i postęp w rolnictwie. Wiele dróg rolniczych ma nieutwardzone i nieodwodnione nawierzchnie gruntowe. Oczywiście jest, że te drogi nie mają cech budowlanych inżynierskich. Drogi gruntowe, charakteryzujące się wymaganą nośnością i trwałością, to jeden z warunków zaspokojenia potrzeb cywilizacyjnych mieszkańców wsi, ważny czynnik motywacyjny do pracy i życia na wsi. Nowoczesne metody stabilizacji dróg gruntowych za pomocą spoiw hydraulicznych i chemicznych stwarzają szansę na znaczną poprawę stanu i trwałości dróg rolniczych, a także na obniżenie kosztów ich budowy i remontu.

Powszechnie znany jest fakt, że rolnicze użytkowanie ziemi wymaga operowania środkami technicznymi na dużych przestrzeniach. Każda uprawiana działka musi być dostępna dla maszyn i środków transportowych oraz mieć dogodne połączenie bezpośrednio z gospodarstwem lub drogami zbiorczymi łączącymi drogi główne z osiedlami wiejskimi. Transport rozpoczyna, wiąże i kończy wszystkie fazy procesu produkcyjnego w rolnictwie, dlatego odgrywa znaczącą rolę w działalności gospodarstw rolnych, a także obsłudze urządzeń wodnomelioracyjnych.

Wydaje się, że w obecnej sytuacji stabilizacja dróg gruntowych powinna stanowić niezbędną fazę przejściową w budowie dróg o nawierzchniach utwardzonych. Staną się one dobrą podbudową dla tych dróg i jednocześnie poprawią warunki drogowe w rolnictwie.

Miejsce i znaczenie dróg rolniczych w klasyfikacji ogólnej dróg w Polsce odzwierciedla klasyfikacja bazująca na kryterium technicznym (klasy), administracyjnym i sposobie użytkowania. Podział dróg na klasy został szczegółowo omówiony przez PIECHOWICZA [2010].

Zaprojektowanie konstrukcji nawierzchni, tj. ustalenie liczby warstw konstrukcyjnych i ich grubości oraz materiałów, z których będą wykonane poszczególne warstwy wymaga danych dotyczących np. natężenia ruchu, maksymalnych obciążeń kół pojazdu, rodzaju gruntu w podłożu i jego właściwości, tj. wskaźnika piaskowego, wskaźnika plastyczności, stopnia plastyczności, wilgotności, wskaźnika nośności, głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej poniżej projektowanej niwelety drogi w najmniej korzystnym okresie itp.

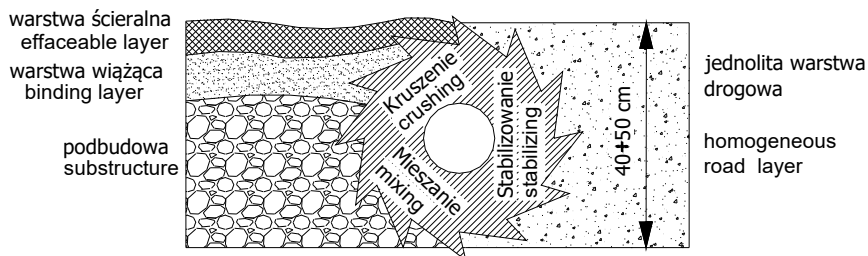
Zasadniczym zadaniem całego układu konstrukcyjnego nawierzchni jest przeniesienie nacisku od kół pojazdów mechanicznych – stanowiących główne obciążenie drogi – na gruntowe podłoże naturalne [MAJEWSKI 1998]. Szczegółowe omówienie konstrukcji dróg rolniczych można znaleźć w pracy PIECHOWICZA [2010].

TECHNOLOGIE UTWARDZANIA NAWIERZCHNI DRÓG GRUNTOWYCH

Trwałość konstrukcji nawierzchni dróg gruntowych można zapewnić już na etapie jej projektowania, począwszy od najniższych warstw. Wiedza na temat tradycyjnych i nowoczesnych technologii drogowych umożliwia dobranie odpowiedniego rozwiązania w konkretnym przypadku. Na drogi gruntowe działają czynniki klimatyczne, m.in. opady atmosferyczne, wysoka temperatura dodatnia, niska temperatura ujemna i naprzemienne zamarzanie i odmarzanie.

Powszechnie stosowaną metodą doprowadzania istniejącej drogi gruntowej (słabonośnego podłoża) do solidnie utwardzonej nawierzchni jest wymiana gruntu. To najprostszy sposób ze względu na projektowanie, jednak nie zawsze najlepszy dla wykonawcy. Wiąże się to z koniecznością wywiezienia zbędnego materiału i dostarczenia kruszywa spełniającego określone wymagania. Może też być bardzo kosztowny w miejscach, w których poziom wód gruntowych jest zbyt wysoki i na gruntach zbyt wilgotnych. Innym sposobem wzmacniania jest połączenie wymiany gruntu ze wzmocnieniem geosyntetykami. Są to metody łatwe do zaprojektowania, ale nie zawsze mają uzasadnienie ekonomiczne. Znane są też metody wzmacniania słabonośnych gruntów poprzez wykorzystanie istniejącego materiału (stabilizacja cementem, wapnem lub popiołami lotnymi wg aktualnie obowiązującej normy PN-S-96012-1997. Te sposoby niejednokrotnie sprawdziły się w poprawianiu nośności podłoża, jednak i tu istnieją pewne ograniczenia. Przede wszystkim warstwy konstrukcji nawierzchni są sztywne, co może powodować wystąpienie spękań. W związku z tym zachodzi konieczność zastosowania membran przeciwspekaniowych. Ponadto stabilizacja spoiwami hydraulicznymi jest możliwa tylko w wybranych gruntach. Gliny, gliny pylaste i pyły nie nadają się do stabilizacji cementem bez wcześniejszego doziarnienia. Zachodzi więc konieczność szukania nowych rozwiązań, spełniających takie wymagania, jak: relatywnie niski koszt wykonania, krótki czas prowadzenia robót, zapewnienie trwałości nawierzchni, unikanie tworzenia sztywnych warstw, wykorzystanie istniejącego materiału itp. Dotychczas powszechnie stosowanym sposobem odnowy i wzmacniania konstrukcji drogi było ułożenie nowej warstwy na istniejącej zniszczonej nawierzchni. Metoda ta nie gwarantuje uzyskania nośności odpowiedniej do aktualnego lub prognozowanego nasilenia ruchu drogowego.

Renowacja na zimno (rys. 1), polega na tym, że zniszczona droga jest najpierw rozkruszana. Dokonuje się tego za pomocą specjalistycznego recyklera (wyposażonego w bęben frezujący) lub zaadaptowanych maszyn rolniczych. Do rozkruszonego i ujednorodnionego urobku (destruktu) dodawany jest środek wiążący, np. cement, wapno, spoiwo chemiczne lub polimer. Po rozłożeniu mieszanki za recyklerem należy ją utwardzić. W zależności od stosowanych środków wiążących można przekazać drogę do ruchu od 6 godzin do 2 dni po wykonaniu recyklingu. Recyklowaną mieszankę należy zagęszczać w warunkach wilgotności optymalnej, np. wałami podczepianymi do ciągnika do momentu uzyskania wskaźnika zagęszczenia $I_s = 1,0$ (mierzonego bezpośrednio po zagęszczeniu – wg PN-S-02205:1998) albo wskaźnika odkształcenia I_0 mierzonego stosunkiem wtórnego modułu odkształcenia od pierwotnego $E_2:E_1 < 2,2$ z zastosowaniem płyty VSS. Grubość przetworzonej warstwy po zagęszczeniu powinna wynosić 25–50 cm [GŁAŻEWSKI i in. 2009].



Rys. 1. Schemat renowacji nawierzchni drogi rolnej; źródło: GŁAŻEWSKI i in. [2009]

Fig. 1. Scheme of the renovation of the pavement of the rural earth road;
source: GŁAŻEWSKI *et al.* [2009]

WZMACNIANIE NAWIERZCHNI DRÓG GRUNTOWYCH PRZEZ FIZYCZNO-CHEMICZNĄ STABILIZACJĘ

Nawierzchni nie można kłaść bezpośrednio na naturalnym gruncie, zwłaszcza gdy jest to grunt spoisty, który zatrzymuje duże ilości wody, a ta zamarzając zwiększa swoją objętość i podnosi poziom terenu o kilkanaście cm, co oznacza, że jest to grunt wysadzinowy. Wysadzinowość polega na tworzeniu się w zamarzającym gruncie soczewek lodu, które rosną wskutek podsiąku kapilarnego ze strefy bardziej zawilgoconego lub wodonośnego gruntu. Soczewki lodowe znacznie zwiększają wilgotność gruntu. Droga gruntowa wykonana z takiego materiału staje się nieprzejezdna w okresie roztopów wiosennych. W zależności od stopnia wysadzinowości gruntu i charakterystyki warunków wodnych można ocenić grupę nośności podłoża gruntowego (tab. 1).

Tabela 1. Grupy nośności podłoża gruntowego G_i nawierzchni w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków wodnych**Table 1.** Groups of the carrying capacity of the soil basis G_i of the pavement depending on capacity soils subject to frost-heave of the ground and underground water conditions

Rodzaj gruntów w podłożu Sort of soil in basement	Grupa nośności podłoża nawierzchni gruntowych G_i , gdy warunki wodne są: Group of load capacity in soil pavement G_i , depending on water conditions:		
	dobre acceptable	przeciętne moderate	złe insufficient
Grunty nie wysadzinowe Soils not subject to frost-heave			
– rumosze nie gliniaste rubble without clay			
– żwiry i pospółki gravel and basecoal	G_1	G_1	G_1
– piaski grubo-, średnio- i drobnoziarniste coarse, middle and minor sands			
– żużle nie rozpadowe unbrisant slags			
Grunty wątpliwe Uncertain soils			
– piaski pylaste dusty sands			
– zwiędziny gliniaste, rumosze gliniaste clayey debri, clayey rubble	G_1 G_1	G_2 G_2	G_2 G_3
– żwiry gliniaste i rumosze gliniaste clayey gravel and clayey rubble			
Grunty wysadzinowe Soils subject to frost-heave	G_3	G_3	G_4
● grunty mało wysadzinowe ¹⁾ slightly subject to frost-heave soils ¹⁾			
– gliny zwięzłe, gliny piaszczyste i pylaste zwięzłe dense clays, sandy and dusty dense clays			
– ility, ility piaszczyste i pylaste loams, sandy and dusty loams			
● grunty bardzo wysadzinowe strongly subject to frost-heave soils	G_3	G_4	G_4
– piaski gliniaste, pyły piaszczyste, pyły clayey sands, sandy dusts, dusts			
– gliny, gliny piaszczyste i pylaste clays, sandy and dusty clays			
– ility warwowe varve loams			

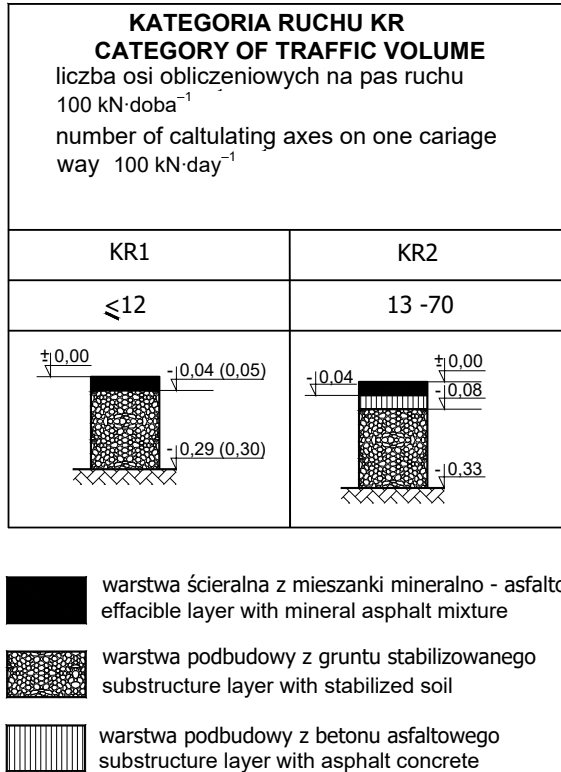
¹⁾ W stanie zwartym, półzwartym lub twaroplastycznym. Grunty w stanie miękoplastycznym lub plastycznym wymagają indywidualnej oceny.

¹⁾ In the state compact, half-close or hard-plastic. Grounds in a state of low-plastic or plastic demand the individual estimation.

Źródło: GDDKiA [2012]. Source: GDDKiA [2012].

W obecnej sytuacji stabilizacja dróg gruntowych spoiwami powinna stanowić niezbędną fazę przejściową w budowie dróg o nawierzchniach utwardzonych. Sta-
ną się one dobrą podbudową dla tych dróg i jednocześnie poprawią warunki dro-

gowe w rolnictwie. Drogi gruntowe o nawierzchniach stabilizowanych buduje się co najmniej na 10 lat, dlatego planując ich przebudowę czy modernizację, należy uwzględnić obciążenie i dobowe natężenie ruchu w ciągu roku GDDKiA [2007]. Informacje te są niezbędne do określenia nośności nawierzchni (rys. 2).



Rys. 2. Typowe konstrukcje nawierzchni podatnych na odkształcenia na podbudowie z gruntu stabilizowanego spoiwami chemicznymi w zależności od natężenia ruchu; źródło: GŁAŻEWSKI i in. [2009]

Fig. 2. Typical constructions of susceptible pavements on foundation from the soil stabilized with chemical binders depending on the traffic volume; source: GŁAŻEWSKI *et al.* [2009]

Szansą na wyeliminowanie grząskich dróg gruntowych jest połączenie kilku spoiw z chemiczną stabilizacją mas gruntowych. Technologia stabilizacji mieszanką mineralno-cementową z dodatkiem stabilizatora chemicznego umożliwia wykonanie recyklingu na zimno na miejscu. Po wymieszaniu masy gruntowej, nawet w przypadku występowania gruntów gliniastych w podłożu, istnieje możliwość utworzenia jednorodnej scalonej masy o grubości 30–50 cm. Po zagęszczeniu stanowi ona nową, silną podbudowę lub niekiedy gotową nawierzchnię z możliwością użytkowania już po 24 godzinach. Metoda ta w krótkim procesie robót umożliwia

całkowite wykorzystanie materiałów użytych do budowy starej drogi bez ich transportu i odziarniania. Taka warstwa stanowi zarówno dobrą podbudowę konstrukcyjną, jak i nawierzchnię dla ruchu maszyn rolniczych. Dodanie spoiw jonowymiennych do mieszaniny łupka przywęglonego lub żużla czy popiołów aktywnych w połączeniu z gruntem spoistym ponadto umożliwia stworzenie masy, która spełnia wymagania podbudów pomocniczych nawet do dróg przeznaczonych do ruchu pojazdami ciężkimi. Powstały ewentualnie nadmiar mieszanki uzyskany w procesie recyklingu można wykorzystać do pokrycia pobocza lub wzmocnienia powierzchni terenu w innym miejscu [BUKOWSKI, NAZARKO 2000].

METODY BADAŃ

Metodyka badań zakłada badania laboratoryjne gruntów przewidzianych do stabilizacji oraz mieszanki gruntowo-spoiwowe.

Do badań geotechnicznych wykorzystano trzy rodzaje gruntu, najczęściej będące materiałem konstrukcyjnym dróg rolniczych. Są to grunty niespoiste, spoiste i wątliwe. Przeprowadzono podstawowe badania ich właściwości geotechnicznych wg PN-88/B-04481: gęstości objętościowej, maksymalnej gęstości objętościowej, wilgotności, wilgotności optymalnej, składu granulometrycznego, wytrzymałości na ścinanie w aparacie skrzynkowym.

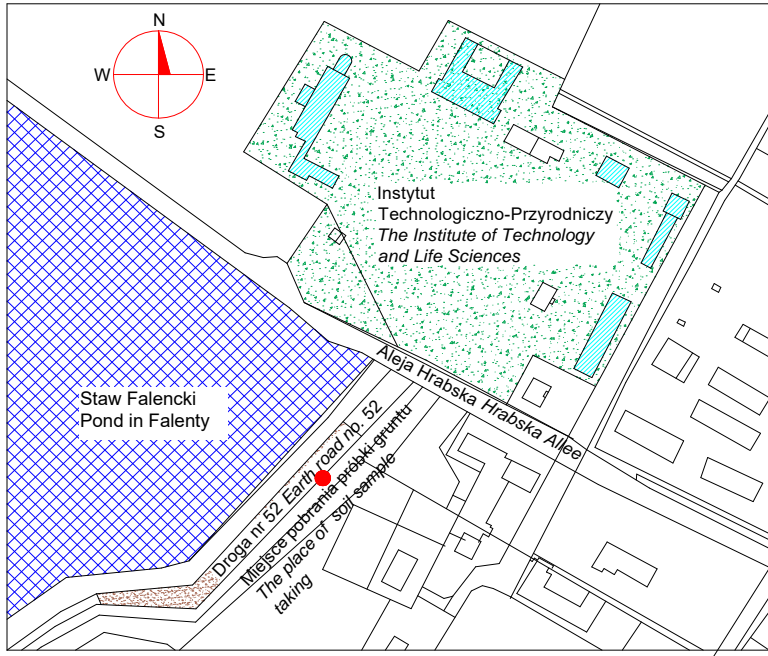
W badaniach wytrzymałości na ściskanie zostały wykorzystane m.in. spoiwa na bazie cementu pucolanowego i cementu portlandzkiego, koncentratu kwasu siarkowego z dodatkami np. wyciągu oleistego roślin cytrusowych, trzy rodzaje wapna: palone, hydratyzowane i węglan wapnia, polimer oraz kombinacje tych spoiw.

Z powodu specyficznych właściwości mieszanek grunt-spoivo do ich badania stosuje się zarówno metody zapożyczone z geotechniki, jak i z technologii badań betonu i zapraw. Wszystkie badania przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi wytycznymi i normami N-88/B-04481, PN-S 02205, PN-B-06250:1988.

Przeprowadzenie zaplanowanych badań wymagało wykorzystania specjalistycznej aparatury naukowo-badawczej znajdującej się na wyposażeniu Laboratorium Badawczego Inżynierii Środowiska ITP w Falentach, między innymi prasy do pomiaru wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe, aparatu Proctora (wyznaczenie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej), aparatu skrzynkowego (kąta tarcia wewnętrznego i spójność) oraz sprzętu pomocniczego (wagi, mieszalniki, suszarki, cylindry szklane, formy do próbek itp.), a także sprzętu do prac terenowych (wiertnice, sondy, próbki).

Badania obejmowały niżej wymienione prace.

- Pobieranie gruntów do badań laboratoryjnych (do wykonania mieszanek grunt-spoivo) (rys. 3).

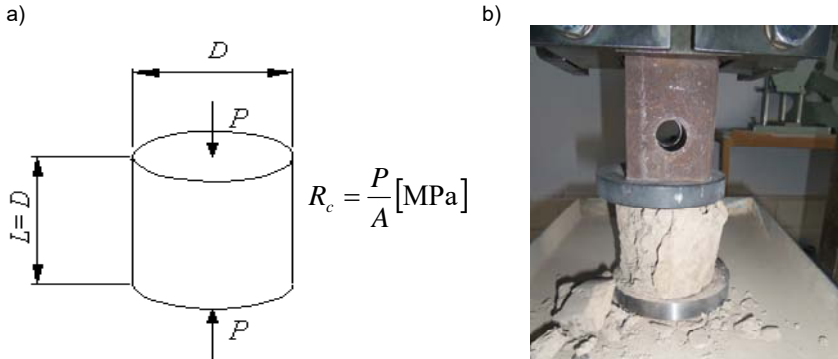


Rys. 3. Plan sytuacyjny drogi nr 52 (miejsca pobierania próbek gruntowej);
źródło: opracowanie własne

Fig. 3. The location plan earth road No. 52 (place of the soil sample taking); source: own study

- Rozpoznanie podstawowych właściwości geotechnicznych gruntów przewidzianych do sporządzenia mieszanek grunt–spoiwo, w tym:
 - składu granulometrycznego (sita o średnicy 0–40 mm),
 - gęstości objętościowej (waga laboratoryjna),
 - wilgotności naturalnej (suszarka),
 - wilgotności optymalnej oraz maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (aparatus Proctora),
 - współczynnika filtracji (menzurka szklana, stoper),
 - wytrzymałości na ścinanie (ustalenie kąta tarcia wewnętrznego i spójności w aparacie skrzynekowym).
- Opracowanie kilku receptur mieszanek grunt–spoiwo dla wybranych gruntów, każda mieszanka zostanie wykonana w różnych proporcjach grunt–spoiwo.
- Badania wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe wcześniej przygotowanych mieszanek po 7, 30, 90 i 300 dniach (prasa wytrzymałościowa).

W badaniach tych wykorzystano różne spoiwa, w tym m.in. spoiwa na bazie cementu pucolanowego lub cementu portlandzkiego, koncentratu kwasu siarkowego z dodatkami wyciągu olejowego z roślin cytrusowych oraz kombinacji tych spoiw, spoiwa jonowymiennego i polimerowego.



Rys. 4. Badanie wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe: a) schemat badania wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe próbki walcowej, b) widok zniszczonej próbki po badaniu; R_c = wytrzymałość na ściskanie, MPa; P = siła nacisku, kN; A = powierzchnia nacisku, cm^2 ; L = wysokość próbki, cm; D = średnica próbki, cm; źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Research of the uniaxial compression strength: a) research scheme of the uniaxial compression strength with cylindrical sample, b) view of compressed sample after research; R_c = the endurance the compression, MPa; P = the power of the stress, kN; A = the area of the pressure, cm^2 ; L = the height of the sample, cm; D = the diameter of the sample, cm; source: own study

Istotą tych badań było znalezienie odpowiedzi na pytania:

- jak zmienia się wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe gruntów modyfikowanych wybranymi spoiwami wiążącymi w zależności od rodzaju i proporcji mieszanki grunt–spoiwo w warunkach oddziaływania czynników zewnętrznych, np. mrozu;
- czy łączenie kilku spoiw w mieszankach grunt–spoiwo spowoduje efekt synergiczny w postaci zwiększenia wytrzymałości na ściskanie;
- jaki wpływ na wytrzymałość mieszanki będą miały czynniki zewnętrzne: mróz, zmiany wilgotności.
- Badanie mrozoodporności wykonywano po 28, 90 i 300 dniach dojrzewania próbki, określając wskaźnik mrozoodporności n :

$$n = \frac{R_c^*}{R_c}$$

gdzie:

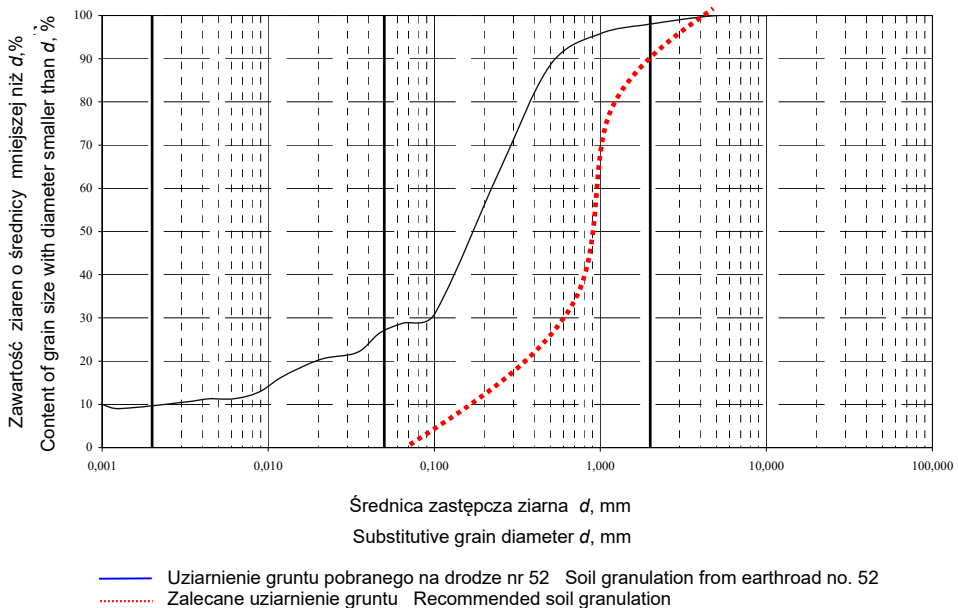
- n = wskaźnik mrozoodporności, wyrażany jako stosunek wytrzymałości na ściskanie mieszanki poddanej 15 cyklom zamrażania i rozmrażania do wytrzymałości na ściskanie przed zamrażaniem;
- R_c^* = wytrzymałość na ściskanie po 15 cyklach zamrażania i odmrażania próbki;
- R_c = wytrzymałość na ściskanie.

- Badania modelowe wpływu wilgotności i mrozu na mieszanki grunt–spoiwo, w tym:
 - współczynnik mrozoodporności;
 - wpływ cyklicznej zmiany temperatury (zamrażanie–odmrażanie);
 - nasiąkliwość;
 - wpływ cyklicznej zmiany wilgotności (suszenie–nawadnianie);
 - wpływ długotrwałego nawadniania.

Wszystkie badania laboratoryjne każdej z mieszanek zostały wykonane w co najmniej trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki zostały poddane szczegółowej analizie.

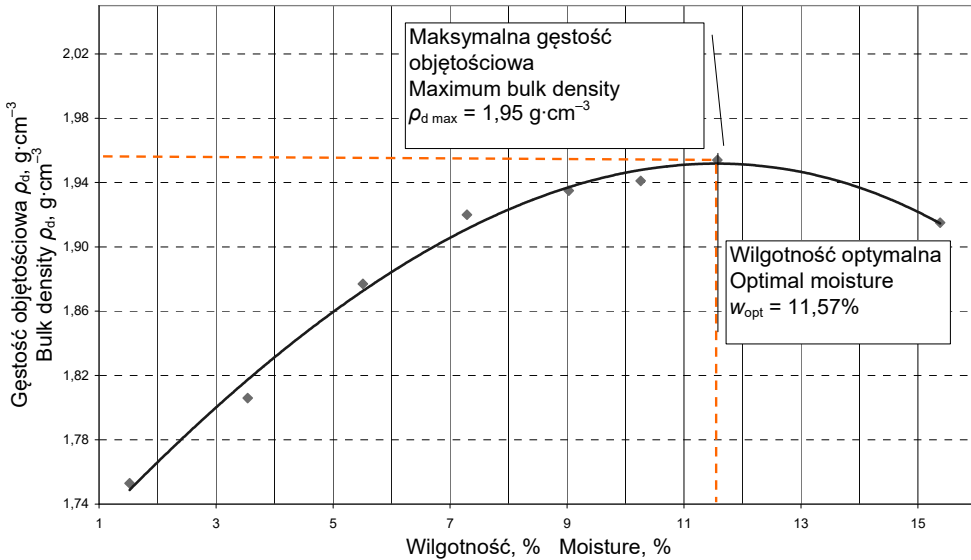
WYNIKI BADAŃ

Badania dotyczące doboru mieszanek gruntowo-spoiwowych są od kilku lat prowadzone w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach, w Laboratorium Badawczym Inżynierii Środowiska. Przykładowe wyniki badań gruntu spoiwego przedstawiono rysunkach 5., 6. i 7.



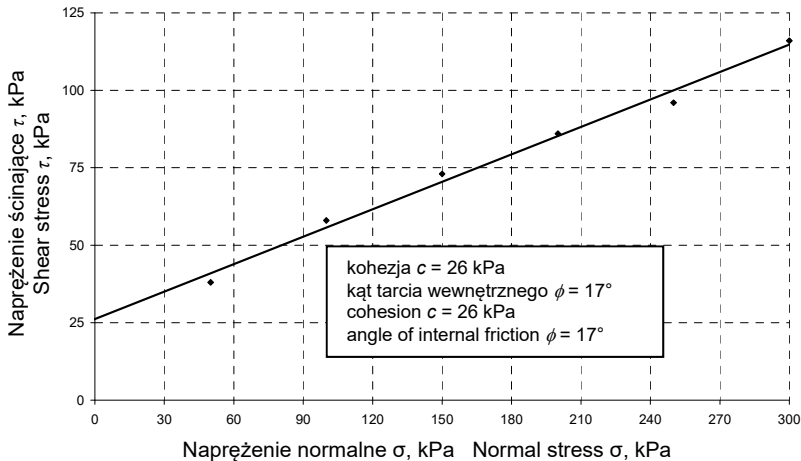
Rys. 5. Uziarnienie gruntu spoiwego pobranego z drogi nr 52 nad stawem w Falentach i zalecane uziarnienie gruntu do celów drogowych; źródło: wyniki własne oraz WILUN [1987]

Fig. 5. Granulation of the cohesive soil received from earthroad no. 52 at the pond in Falenty and recommended granulation of the soil for roads; source: own study and WILUN [1987]



Rys. 6. Zależność gęstości objętościowej gruntu ρ_d od wilgotności w w badanym gruncie spoiwym; źródło: wyniki własne

Fig. 6. Relationship of the bulk density ρ_d from the moisture w for the tested cohesive soil; source: own results



Rys. 7. Zależność naprężenie normalne–naprężenie ścinające w badanym gruncie spoiwym określona na podstawie badań w aparacie bezpośredniego ścinania; źródło: wyniki własne

Fig. 7. The dependence the normal stress–the shear stress for the tested cohesive soil determined on the basis research in the apparatus of direct cutting; source: own study

W badanym gruncie znajduje się zbyt dużo (ponad 30%) ziarn o średnicy mniejszej niż 0,5 mm (rys. 5), czyli frakcji pyłowej i iłowej. Tymczasem zalecane jest, aby do celów drogowych ta ilość nie przekraczała 10% [WIŁUN 1987].

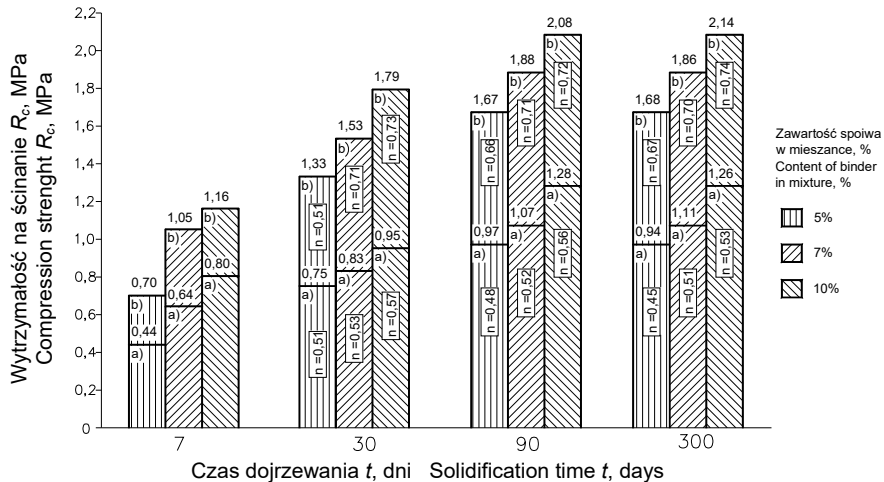
Jak widać na zamieszczonych wykresach, maksymalna gęstość objętościowa gruntu ρ_{dmax} określona w wyniku badań za pomocą aparatu Proctora jest zbliżona do gęstości gliny piaszczystej w stanie twaroplastycznym ($2,05 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) wg PN-81/B-0320-4. Wskazuje to na dobrą zagęszczalność gruntu pod warunkiem nieprzekroczenia wilgotności optymalnej wynoszącej 12%.

Uzyskane wyniki kąta tarcia wewnętrznego $\phi = 17^\circ$ i kohezji $c = 26 \text{ kPa}$ są również zbliżone do wartości normatywnych ($\phi = 15\div 20^\circ$, $c = 20\div 30 \text{ kPa}$) dla gruntów typu C, czyli spoiwowych nieskonsolidowanych.

W dalszych etapach prowadzono badania nad wytrzymałością i trwałością mieszanek gruntowo-spoiwowych stanowiących materiał podłoża dróg rolniczych, które polegały na określeniu wytrzymałości na ściskanie po różnych okresach dojrzewania (7, 30, 90 i 300 dniach), mrozoodporności, odporności na działanie wilgoci.

Dotychczas wykonano badania wielu próbek mieszanek gruntowo-spoiwowych, w różnych kombinacjach i w różnych proporcjach. Wykorzystano do badań spoiwa hydrauliczne: cement, popiół lotny, wapno hydratyzowane, palone i nawozowe, spoiwo pucolanowe, spoiwo na bazie kwasu siarkowego i polimerowe. Porównano wyniki badań na przykładzie dwóch mieszanek – gruntu ze spoiwem pucolanowym (grunt + spoiwo pucolanowe) oraz takiej samej mieszanki z dodatkiem spoiwa na bazie kwasu siarkowego (rys. 8). Można zauważyć, o ile wzrasta wytrzymałość na ściskanie mieszanek wzbogaconych spoiwem na bazie kwasu siarkowego w porównaniu z wytrzymałością mieszanki bez tego dodatku chemicznego. W badaniach czasu dojrzewania próbek można zaobserwować wzrost parametrów wytrzymałościowych do 90 dni, po tym okresie dalsze dojrzewanie próbek nie wpływa już na wytrzymałość na ściskanie i mrozoodporność.

Kolejne ciekawe spostrzeżenia wynikają z badań nad mieszankami gruntowo-spoiwowymi z dodatkiem polimerów. Nie zaobserwowano znacznych wzrostów wytrzymałości na ściskanie mieszanek gruntów ze spoiwami hydraulicznymi z dodatkiem polimeru (średnia wytrzymałość $R_c = 1,2\div 1,8 \text{ MPa}$), natomiast uzyskano znaczną poprawę tego parametru mieszając z gruntem spoiwa hydrauliczne z dodatkiem spoiwa na bazie kwasu siarkowego i polimeru (średnie $R_c = 2,5\div 3,2 \text{ MPa}$). Warto się temu bliżej przyjrzeć i kontynuować badania w kierunku stabilizacji gruntów, dodając polimer.



Rys. 8. Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe R_c mieszanki gruntowo-spoiwowej (grunty + spoiwo 5, 7 i 10%) po różnym czasie dojrzewania próbek: a) glina + spoiwo na bazie cementu puczolanowego, b) glina + spoiwo na bazie cementu puczolanowego + spoiwo na bazie kwasu siarkowego; n = wskaźnik mrozoodporności; źródło: wyniki własne

Fig. 8. Uniaxial compression strength R_c of the ground-cohesive ground with the binders about percentage content 5, 7 and 10% after the different time of the binding of the samples: a) clay + binder on the basis of the puzolana cement, b) clay + binder on the basis of the puzolana cement + binder on the basis of the sulphuric acid; n = freeze-roof resistance indicator; source: own study

WNIOSKI

1. W procesie stabilizacji ważny jest nie tylko skład mieszanki gruntowo-spoiwowej, ale także proporcje poszczególnych składników, jednorodność mieszanki i czas dojrzewania.

2. Połączenie ze sobą kilku spoiw powoduje efekt synergiczny, tzn. otrzymuje się ustabilizowany grunt o większej wytrzymałości niż w wyniku połączenia gruntu z jednym spoiwem.

3. Połączenie ze sobą spoiw o odczynie kwaśnym i alkalicznym w mieszance gruntowej daje efekt wzmocnienia gruntu. Pokazano to na przykładzie wyników zaprezentowanych w niniejszym artykule, np. przedstawione w artykule mieszanki ze spoiwem na bazie cementu puczolanowego i na bazie kwasu siarkowego mają większą wytrzymałość średnio o 0,63 MPa niż mieszanki z jednym spoiwem.

4. Kalcyt występujący w badanych gruntach spoistych (wysadzinowych) również bierze udział w wiązaniu ze spoiwem na bazie kwasu siarkowego, w związku z czym prowadzono badania wytrzymałości mieszanki gruntowo-spoiwowej z dodatkiem węglanu wapnia. Według wstępnych wyników wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe wynosiła 3,5–5,0 MPa, co jest dość dużą wartością wg normy PN-S-02205: 1998, zgodnie z którą wymagana wytrzymałość wynosi 2,5–5,0 MPa.

5. Zmiany wilgotności i ujemna temperatura osłabiają wiązania spoiw w mieszankach średnio ok. 30–35%.

6. Wstępne badania mieszanki grunt + cement + polimer wykazały wzrost wytrzymałości o ok. 0,5–1,5 MPa. Wpływ działania wilgoci i mrozu na tę mieszankę są w trakcie badań.

BIBLIOGRAFIA

- BUKOWSKI Z., NAZARKO G. 2000. Warunki techniczne stabilizacji gruntów wątpliwych i wysadzinywch z użyciem cementu z dodatkiem środka jonowymiennego Roadbound EN-1 [Technical principia of stabilization uncertain soil land subject to frost-heave with using of cement and binder Roadbound EN-1]. Katowice. Drocomplex S.C. ss. 97.
- GLĄŻEWSKI M., PIECHOWICZ K., SELIGA A. 2009. Nawierzchnie dróg rolniczych [Rural roads pavements]. Warszawa. IBMER. ISBN 978-83-89806-33-8 ss. 36.
- GOŁĘBIEWSKA A. 1999. Drogi rolnicze [Rural roads]. Warszawa. Fundacja Rozwój SGGW. ISBN 83-87660-67-1 ss. 84.
- JACKIEWICZ-REK W., KONOPSKA-PIECHUSKA M. 2013. Rozwój technologii nawierzchni betonowych – doświadczenia krajowe [Development of technology in concrete pavements]. Autostrady. Nr 5 s. 136–142.
- Kancelaria Sejmu 2003. Infrastruktura techniczna wsi [Rural infrastructure]. Raport. Nr 216. Warszawa. Biuro Studiów i Ekspertyz, Wydział Analiz Ekonomicznych i Społecznych ss. 39.
- KARWOWSKI T. 2008. Podstawy użytkowania maszyn w aspekcie efektywności produkcji roślinnej [Basis of use farm machines in aspect of plant production]. ISBN 978-83-89806-20-8. Warszawa. IBMER ss. 220.
- MAJEWSKI J. 1998. Vademecum budowy i utrzymania dróg gminnych [Compendium of construction and maintenance of rural road]. Warszawa. IBDiM. ISSN 0239-8575 ss. 104.
- PIECHOWICZ K. 2010. Recykling dróg rolniczych [Recycling of the rural earthroads]. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 4 s. 155–165.
- PISARCZYK S. 2005. Metody modyfikacji podłoża gruntowego [Methods of modification soil ground]. Warszawa. Ofic. Wydaw. PW. ISBN 83-7207-553-0 ss. 236.
- PN-S-96012-1997 Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem [Motor roads. The substructure and the improved basis tod soil stabilized with the cement].
- PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania [Motor roads. Motor roads. Earthworks. Requirements and researches].
- PN-88/b-04481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu [Building soils. Laboratory tests]. Politechnika Gdańska 2012. Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych [Directory of typical construction bendable and semi-rigid pavement]. Opracowano na zlecenie GDDKiA ss. 117.
- RAFALSKI L. 2007. Podbudowy drogowe [Road substructures]. Studia i Materiały IBDiM. Z. 59. Warszawa. ISBN 0239-8575 ss. 164.
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz. U. 1999. Nr 43 poz. 430 z późn. zm.
- SZYDŁO A., MACKIEWICZ P. 2005. Nawierzchnie betonowe na drogach gminnych. Poradnik [Concrete pavement on the rural roads. Handbook]. Kraków. Polski Cement ss. 44.

Konrad PIECHOWICZ

**SOIL STABILIZATION FOR CONSTRUCTION OF RURAL EARTH ROADS.
SELECTION OF OPTIMAL COMPONENTS**

Key words: *earth road, rural road, technical infrastructure of rural areas, the soil stabilization of the basement/pavement*

S u m m a r y

Rural earth roads with access to fields, forests and farms are not public ways, thereby they are not classified according to criteria General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA). Finally the technical state and manners of the maintenance of the ways leave much to be desired. Existing earth roads arose very often as a result of the crossing vehicles and farm machines. Their base-ment crates of the local soil enriched with waste such as: rubble, stones, porcelain, glass and even the ash. Unfortunately, these methods are not sufficient, solidly and permanently to strengthen local earth roads, especially, when in the basis appear soils subject to frost-heave. Precipitation and freezing temperature cause plastifying of the soil, finally roads become impassable within the period of intensive falls and spring thaw.

Contemporary methods of the stabilization earth roads with using of binders hydraulic and chemical create the chance on the marked improvement of the state and the durability of earth roads. In the article one introduced complexly the methodology of research of soils subject to frost-heave (eg. clays, rubbles and clayey sands). The methodology embraces both geotechnical researches of the ground foreseen to the stabilization, as well as researches of the compression strength of mixtures of soils with different binders. On the basis previous results of laboratory, results showed that the mixing of several binders (eg. binders hydraulic and chemical) with the ground, gives the synergistic effect in the form of enlarged endurance.

Adres do korespondencji: mgr inż. Konrad Piechowicz, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Laboratorium Badawcze Inżynierii Środowiska, al. Hrabstwa 3, 05-090 Raszyn; tel. +48 22 735-75-66, e-mail: K.Piechowicz@itp.edu.pl