



EWA GRALLA

absolwentka
Politechniki Śląskiej
Ewa.Gralla@wp.pl



SŁAWOMIR KWIECIEN

Politechnika Śląska
Sławomir.Kwecień@
polsl.pl

Analiza możliwości zastosowania do budowy nasypów drogowych gruntów niespoistych ulepszonych cementem

Rozwój infrastruktury drogowej powoduje duże zapotrzebowanie na materiały służące do budowy nasypów. W przypadku odcinków, na których trasa przebiega w wykopach, istnieje możliwość zagospodarowania usuwanych gruntów. W zależności od ich rodzaju i stanu, można je wbudowywać w nasypy bezpośrednio, bądź muszą one podlegać uzdatnieniu np. dodatkiem spoiwa hydraulicznego. W przypadku gruntów spoistych może być to ulepszenie dodatkiem wapna [4], a niespoistych, np. dodatkiem cementu [2].

Ulepszanie dodatkiem cementu jest znane w Polsce od 1938 r. [3] pod nazwą stabilizacji gruntu cementem, głównie do wzmacniania warstw podbudowy. Grunty poddane takiemu ulepszeniu (stabilizacji) muszą spełniać odpowiednie wymagania stawiane przez normę [8] i dotyczące: ich uziarnienia, wskaźnika plastyczności ($I_p \leq 5\%$), granicy płynności ($w_L \leq 40\%$), zawartości części organicznych ($I_{om} \leq 2\%$), odczynu ($5 < pH < 8$) oraz zawartości siarczanów ($SO_3 \leq 1\%$). W przypadku stosowania czystych piasków zalecany jest dodatek gruntów mało spoistych bądź popiołów lotnych, stanowiących wypełniacz i spoiwo [5].

Proces ulepszenia (stabilizacji) gruntu cementem polega na rozdrobnieniu tego pierwszego, następnie wymieszaniu go z cementem i zagęszczeniu mieszanki przy wilgotności optymalnej [5].

Niezależnie od metody ulepszenia (stabilizacji) każda wbudowana w nasyp warstwa musi spełniać odpowiednie wymagania dotyczące jej sztywności [7]. Ponadto nasyp drogowy musi być stateczny [9], co wyrażane jest przez wartość współczynnika stateczności F . Obliczenia takie wymagają z kolei znajomości parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych podłoża gruntowego oraz nasypu. Parametry podłoża mogą być wyznaczone na podstawie badań polowych in situ np. przez sondowania statyczne, badania dylatometryczne, wiercenia kontrolne. W przypadku parametrów gruntów ulepszanych (stabilizowanych) spoiwami konieczne są ich badania laboratoryjne.

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych piasków z dodatkiem mieszanki popiołowo-żuźłowej, ulepszanych dodatkiem 0,5%(m/m) cementu portlandzkiego popiołowego oraz wyniki analiz numerycznych oceny wpływu stabilizacji na stateczność nasypu drogowego w określonych warunkach gruntowych [1].

Badania laboratoryjne

Materiały

Podstawowym materiałem do wykonania warstw nasypu był równoziarnisty ($U = 2,2$) piasek średni o wilgotności 1,28%(m/m), charakteryzujący się wskaźnikiem krzywizny $C = 0,9$.

Jego doziarnienie stanowiła mieszanka popiołowo-żuźłowa, powstała jako uboczny produkt spalania węgla kamiennego, o uziarnieniu 0/3 mm, wilgotności 43%(m/m), dodawana w ilości ok. 10% (objętościowo).

Stabilizatorem był cement portlandzki popiołowy CEM II/B-V32,5 R, dodawany w ilości 0,5% (wagowo).

Program badań

Aby określić wpływ dodatku niewielkiej ilości cementu na parametry wytrzymałościowo-odkształceniowe ulepszanych gruntów, badania przeprowadzono na mieszankach z cementem i bez jego dodatku. Badania wykonano po 24 godzinach od momentu przygotowania mieszanki. Ponadto sprawdzono wpływ upływu czasu na wspomniane parametry przez badanie mieszanki, po 7 i 28 dniach od ich przygotowania

W pierwszej kolejności badania objęły oznaczenie wybranych parametrów fizycznych (wilgotność, gęstość właściwa, zawartość części palnych) poszczególnych materiałów. Następnie określona została wilgotność optymalna obu mieszanki, przy których formowane były próbki do dalszych badań. Po ich uformowaniu były one przechowywane, od 1 do 28 dni, w warunkach zapewniających stałą wilgotność i temperaturę.

Parametry wytrzymałościowe, w postaci kąta tarcia wewnętrznego φ i spójności c , były badane w aparacie bezpośredniego ścinania, na próbkach kwadratowych o boku 60 mm i wysokości 25 mm. Wszystkie próbki z każdej partii poddano badaniu ścinania przy wzrastających od 50 kPa do 250 kPa (co 50 kPa) naprężeniach normalnych.

Parametry odkształceniowe, tj. moduły ściśliwości pierwotnej i wtórnej, były badane w edometrze, na próbkach o średnicy 65 mm i wysokości 20 mm. Zakres obciążeń pierwotnych i wtórnych wynosił odpowiednio: 12,5 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, i 400 kPa.

Wyniki badań

Wybrane parametry fizyczne oraz wytrzymałościowo-odkształceniowe piasku z dodatkiem mieszanki popiołowo-żuźłowej, po 24h od wymieszania, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane parametry piasku z dodatkiem mieszanki popiołowo-żużlowej

Wilgotność optymalna w_{opt} [% (m/m)]	Maks. gęstość obj. szkieletu gruntowego ρ_{ds} [g/cm ³]	Kąt tarcia wewnętrznego φ [°]	Spójność c [kPa]	Moduł ścisłości pierwotnej M_0 (0–400 kPa) [MPa]	Moduł ścisłości wtórnej M (12,5–400 kPa) [MPa]
10,6	1,93	38,6	1,9	17,1	69,2

Tabela 2. Wybrane parametry piasku z dodatkiem mieszanki popiołowo-żużlowej i 0,5% (m/m) cementu

Wilgotność optymalna w_{opt} [% (m/m)]	Maks. gęstość obj. szkieletu gruntowego ρ_{ds} [g/cm ³]	Kąt tarcia wewnętrznego φ [°]	Spójność c [kPa]	Moduł ścisłości pierwotnej M_0 (0–400 kPa) [MPa]	Moduł ścisłości wtórnej M (12,5–400 kPa) [MPa]
11,6	1,95	42,9	11,8	16	94,8

Tabela 3. Parametry wytrzymałościowo-odkształceniowe ulepszonej mieszanki 7 i 28 dniach

Czas od momentu ulepszenia mieszanki cementem [dni]	Kąt tarcia wewnętrznego φ [°]	Spójność c [kPa]	Moduł ścisłości pierwotnej M_0 (0–400 kPa) [MPa]	Moduł ścisłości wtórnej M (12,5–400 kPa) [MPa]
7	46,8	11,4	25	152,9
28	45	12,7	13,3	150,7

Odpowiadające parametry drugiej mieszanki, z dodatkiem 0,5% (m/m) cementu, po 24h od ulepszenia, przedstawiono w tabeli 2.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki otrzymanych parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych po 7 i 28 dniach od momentu ulepszenia cementem.

Analiza uzyskanych wyników

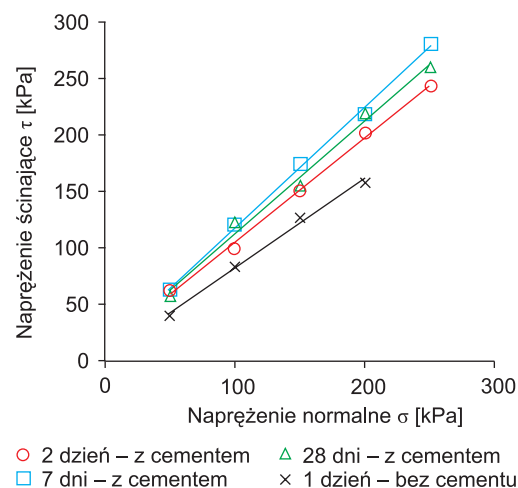
Badania pierwszej mieszanki, nie poddanej ulepszeniu cementem, wykazały, że charakteryzuje się ona wysokim kątem tarcia wewnętrznego (ok. 39°) oraz niewielką, prawie zerową spójnością (ok. 2 kPa). Są to wyniki typowe dla dobrze zagęszczonych gruntów niespoistych. Dodajmy, że zastosowany dodatek mieszanki popiołowo-żużlowej podniósł wskaźnik różnoziarnistości i polepszył zagęszczalność mieszanki.

Analizując badania mieszanki po ulepszeniu dodatkiem 0,5% (m/m) cementu widzimy wzrost obu parametrów wytrzymałościowych już po 24 godzinach od jej wykonania. Kąt tarcia wewnętrznego wzrósł do wartości ok. 43° a spójność do ok. 12 kPa. Są to przyrosty odpowiednio o 11 i 520%. W przypadku parametrów odkształceniowych, tj. modułu ścisłości pierwotnej (M_0) i wtórnej (M) pierwszy z nich jest praktycznie na poziomie sprzed ulepszenia (spadek o 6%, z 17,1 MPa na 16 MPa). Drugi natomiast wzrósł o 37% (z 69,2 MPa do 94,8 MPa).

Dalsze badania przeprowadzone po 7 i 28 dniach wykazały, że badane parametry ulegają dodatkowej zmianie. Przyrost wartości spójności nie przekroczył 8%, a kąta tarcia wewnętrznego 9% (w stosunku do próbek po 1 dniu). Podobnie jak poprzednio moduł ścisłości pierwotnej nie uległ większej zmianie, natomiast moduł wtórny wzrósł jeszcze o 61%.

Na rys. 1. przedstawiono wyniki badań wszystkich próbek w aparacie bezpośredniego ścinania potwierdzający opisany wzrost wytrzymałości na ścinanie mieszanki, po ulepszeniu cementem.

Całkowity przyrost wartości kąta tarcia wewnętrznego wyniósł 21%, spójności 568% a wtórnego modułu ścisłości 120%. Możemy zatem powiedzieć, że już niewielki, 0,5% do-



Rys. 1 Wykres zależności wytrzymałości na ścinanie od składowej normalnej naprężenia

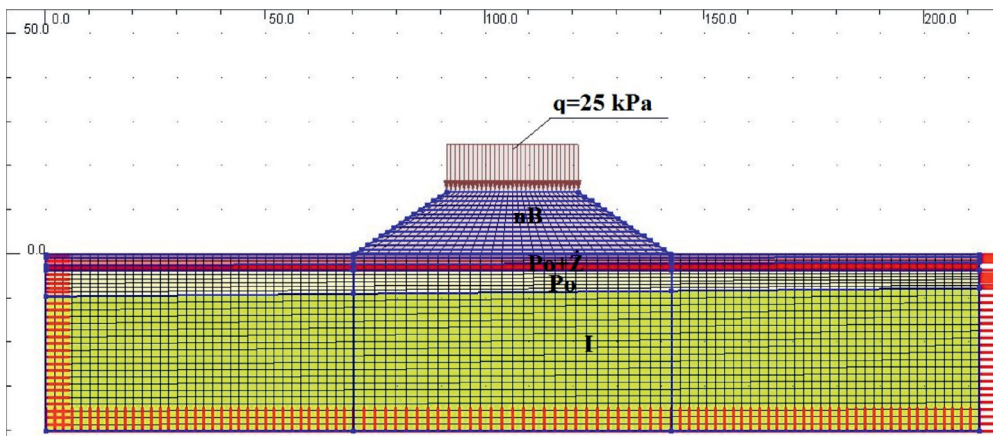
datek cementu (wagowo), powoduje wzrost parametrów wytrzymałościowych decydujących o stateczności nasypów drogowych, tj. φ i c oraz wtórnej ścisłości.

Analiza numeryczna stateczności nasypu drogowego

W celu ilustracji skuteczności ulepszania piasków z mieszaniną popiołowo-żużlową cementem portlandzkim (popiołowym), w ilości 0,5% (m/m), wykonano obliczenia numeryczne stateczności nasypu drogowego realizowanego na jednej z ważnych inwestycji drogowych w południowo-wschodniej części kraju.

Rozważany nasyp miał wysokość 14 m, a szerokość w koronie i podstawie odpowiednio 30 m i 72 m. Nachylenie skarp wynosiło 1:1,5. W podłożu do głębokości 7 m zalegały średnio zagęszczone ($I_D = 0,5$) pospółki i żwiry, podścielone półzwartymi ($I_L = 0,5$) ilami.

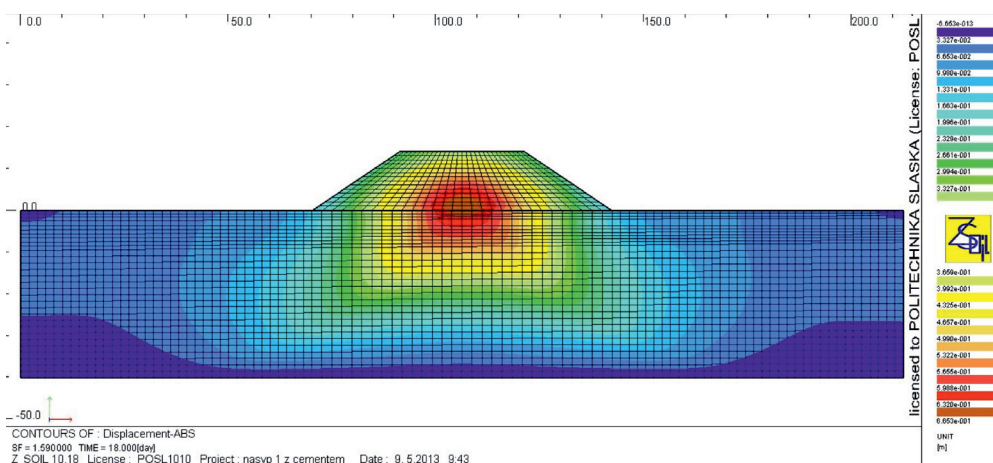
Analiza numeryczna prowadzona była metodą elementów skończonych w programie Z_Soil wersji 10 [6], w płaskim stanie odkształcenia, metodą redukcji proporcjonalnej c -tg φ



Rys. 2 Model numeryczny

Tabela 4. Parametry modelu Coulomba-Mohra

Rodzaj i stan gruntu	c [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]	ν [-]
Pospółka ze żwirem, $I_D = 0,5$	–	33	98	0,2
Pospółka, $I_D = 0,5$	–	38	155	0,2
łł, $I_L = 0,0$	60	13	40	0,25



Rys. 3 Mapa przemieszczeń wypadkowych warstw z mieszanki po 28 dniach od ulepszenia jej dodatkiem 05%(m/m) cementu

Tabela 5. Zbiorcze zestawienie wartości współczynnika stateczności F uzyskanego w obliczeniach

Rodzaj mieszanki	Współczynnik stateczności F [-]
Piasek średni z mieszaniną popiołowo-żuźlową, 1 dzień po wymieszaniu	1,28
Piasek średni z mieszaniną popiołowo-żuźlową i 0,5%(m/m) dodatkiem cementu, 1 dzień po wymieszaniu	1,58
Piasek średni z mieszaniną popiołowo-żuźlową i 0,5%(m/m) dodatkiem cementu, 7 dni po wymieszaniu	1,57
Piasek średni z mieszaniną popiołowo-żuźlową i 0,5%(m/m) dodatkiem cementu, 28 dni po wymieszaniu	1,59

(spójności tangensa kąta tarcia wewnętrznego) [36]. Całość podzielono na 3450 czterowęzłowych elementów skończonych. Model numeryczny przedstawiony został na rysunku 2.

Jako model materiałowy wszystkich warstw gruntowych przyjęto sprężysto-idealnie plastyczny model Coulomba-Mohra. Parametry modelu, symulującego pracę podłoża gruntowego, przedstawiono w tabeli 4. Parametry modelu nasypu przyjęto w kolejnych analizach, zgodnie z tabelami 1, 2 i 3.

W obliczeniach przeprowadzono symulację budowy nasypu, z mieszanki bez dodatku cementu oraz z jego dodatkiem, dodatkowo obciążonego w koronie naciskiem jednostkowym 25 kPa (obciążenie ruchem).

Przeprowadzona analiza wykazała, że współczynnik stateczności (F) nasypu, wybudowanego z piasku średniego z dodatkiem 10%(v/v) mieszanki popiołowo-żuźlowej, na nośnym i sztywnym podłożu, wyniósł 1,28. W przypadku zastosowania 0,5%(m/m) dodatku cementu współczynnik stateczności wzrósł do poziomu 1,57–1,59 (rys. 3), w zależności od czasu, jaki upłynął od momentu ulepszenia mieszanki cementem.

Zbiorcze zestawienie wyników analizy numerycznej przedstawiono w tabeli 5.

Zbiorcze zestawienie wyników analizy numerycznej przedstawiono w tabeli 5.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych gruntów niespoistych ulepszonych cementem portlandzkim popiołowym, na potrzeby formowania nasypów drogowych. Pomimo małej liczebności próbek wykazały one jednoznaczne polepszenie badanych cech. Przeprowadzone badania wykazały ponadto, że grunty niespoiste ulepszone cementem charakteryzują się wyższymi, w stosunku do wyjściowych, wartościami kąta tarcia wewnętrznego i spójności oraz wtórnego modułu ścisłości już po 24 godzinach od wykonania stabilizacji. Badania przeprowadzone po 7 i 28 dniach dojrzewania próbek wykazały dalszy ich wzrost.

Polepszenie parametrów gruntów niespoistych ulepszonych cementem przekłada się na uzyskanie wyższego współczynnika stateczności F nasypu drogowego. Jak wykazała analiza numeryczna nawet wbudowywanie w nasyp niespoistych piasków z mieszaniną popiołowo-żuźlową przy wilgotności optymalnej nie gwarantuje uzyskania współczynnika stateczności na poziomie $F = 1,5$. Natomiast ulepszenie takiej mieszanki dodatkiem 0,5 %(m/m) cementu, już po 1 dniu od wbudowa-

nia ulepszonej mieszanki w nasyp, zapewnia uzyskanie wymaganego współczynnika bezpieczeństwa: $F \geq 1,5$.

Bibliografia

- [1] E. Gralla: *Analiza możliwości zastosowania piasków stabilizowanych mieszanką popiołowo-żużlową z dodatkiem cementu do budowy nasypów autostradowych*, Praca magisterska, Gliwice 2013
- [2] S. Pisarczyk S.: *Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego*. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
- [3] L. Sanecki, A. Truty, Urbański A.: *O możliwościach modelowania komputerowego stateczności złożonych układów geotechnicznych*. XLV Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej

- i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Wrocław - Krynica, 1999, s. 175-182
- [4] J. Sękowski, S. Kwiecień, D. Cierpiot: *Grunty spoiste stabilizowane wapnem. Zastosowanie do budowy wysokich nasypów autostradowych*. Magazyn Autostrady, 05/2010, s. 44-46.
- [5] Z. Witun: *Zarys geotechniki*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000
- [6] Th. Zimmermann, A. Truty, K. Podleś: *Z_Soil.PC 2009 Manual*.
- [7] PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania, styczeń 1998
- [8] PN-S-96012 Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem, grudzień 1997
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury, z dnia 16.01.2002 r., w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych ■

List Czytelnika

Sejm Rzeczypospolitej Polskiej raczył uchwalić w dniu 13.09.2013 r. nowelizację ustawy o drogach publicznych, naprawiając tym samym swój błąd popełniony w kwietniu 2008 r. Nowelizacja dotyczy przekazywania, z mocy prawa, jednostkom samorządu terytorialnego, odcinków dróg zastąpionych nowo wybudowanymi drogami krajowymi. W 2008 r. usunięto z ustawy o drogach publicznych art. 9, który pozwalał decydować ministrowi właściwemu do spraw transportu w przypadku kontrowersji, kto powinien ostatecznie przejąć sporny odcinek drogi.

W art. 10 zdecydowano, że zawsze odcinek zastąpiony ma z mocy prawa przejmować gmina. Takie postawienie sprawy oznaczało, że w przypadku drogi nr 5 między Gniezmem a Poznaniem na odcinku długości 34 km dwudziestokrotnie zmieniałby się zarządca drogi, ponieważ z dotychczasową drogą krajową krzyżuje się szesnaście dróg powiatowych i jedna wojewódzka, a drogą miały administrować trzy gminy.

Zgodnie z art. 25 ustawy o drogach publicznych, za skrzyżowanie odpowiada administrator drogi wyższej kategorii, czyli powiaty i województwo, a za obszar między skrzyżowaniami odpowiadają gminy. Poza tym, nie wzięto pod uwagę przepisów zawartych w rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, wydanym na podstawie ustawy Prawo Budowlane z 1994 r., czym doprowadzono do zburzenia ładu ustalonego w ustawie o drogach publicznych i wyżej wymienionym rozporządzeniu.

Wójt Gminy Lubowo p. Andrzej Łozowski oraz burmistrzowie miast i gmin Pobiedziska i Swarzędz p. Michał Podsada i p. Anna Tomicka podjęli starania w sprawie zmiany tego stanu rzeczy. Na listy kierowane do Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oraz Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, a także samego Premiera otrzymywali odpowiedzi z Departamentu Dróg i Autostrad, że wszystko jest w porządku i nic się nie da zmienić. Rozmowy z Marszałkiem Województwa Wielkopolskiego z prośbą by zechciał przejąć tę drogę, ponieważ stanowi ona część historycznego Szlaku Piastowskiego, również nie przyniosły spodziewanego efektu.

Dopiero zmasowana akcja medialna spowodowała zainteresowanie grupy posłów z Wielkopolski, którzy podjęli się spowodowania nowelizacji ustawy o drogach publicznych. Należą do nich p. Bożena Szydłowska, p. Krystyna Łybacka, p. Waldy Dzikowski i p. Zbigniew Dolata. Po wielu spotkaniach i rozmowach zostali przekonani, że popełniony w 2008 r. błąd trzeba naprawić, co ostatecznie zrobiono na wspomnianym posiedzeniu Sejmu.

Smutną konstatacją z obserwacji tych poczynań był brak kompletnego zainteresowania ze strony GDDKiA oraz marszałków województw, które przyjęły dotychczasowy stan za prawidłowy. GDDKiA, mimo że błąd popełniono pod poprzednim kierownictwem, nie wykazała żadnego zainteresowania sprawami drogownictwa, a wręcz bardzo ochoczo

korzystała z błędu popełnionego na jej i ministerstwa wniosek. Na marginesie należy zauważyć, że słowo „Autostrad” powinno zniknąć z nazwy, bo przecież art. 5 ustawy o drogach publicznych mówi, że do dróg krajowych zalicza się autostrady, drogi ekspresowe itd., a więc jest to swego rodzaju „masło maślane”.

Szczęśliwie sprawa się kończy a jej eleganckim i honorowym finałem powinno być zaproszenie przez ministra Andrzeja Łozowskiego, Pana Michała Podsady i Pani Anny Tomickiej do siebie oraz przyznanie im Honorowej Odznaki Zasłużony dla Transportu RP za wykonanie olbrzymiej pracy w celu przywrócenia ładu i porządku w drogownictwie, co było i jest obowiązkiem GDDKiA oraz Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej.

Przyczyną tego zawirowania były pieniądze. Uważam że sprawa wymaga dalszego zastanowienia się, a to dlatego, że GDDKiA jako jedyna w Polsce administracja drogowa ma nadane przez ustawę o drogach publicznych prawo pobierania opłat systemem elektronicznym za korzystanie z dróg krajowych przez określone w ustawie pojazdy. System ten wprowadza się na nowo budowanych drogach krajowych oraz innych wybranych.

Przekazywanie zastąpionych odcinków dróg województwom powodować będzie ucieczkę pojazdów z dróg ekspresowych na wojewódzkie bezpłatne. Tym samym zmniejszą się wpływy do GDDKiA. Drogi ekspresowe zamiast gromadzić ruch będą go rozpraszać. Przeprowadziłem na podstawie dostępnych mi danych symulację, z której wynika, że po wprowadzeniu elektronicznego systemu poboru opłat na odcinku Gniezno-Poznań przejazd 900 pojazdów na dobę pozwoli zebrać środki na bieżące utrzymanie letnie i zimowe tego odcinka oraz na odnowę nawierzchni co 12 lat. Dziś według obserwacji dokonanych przez Burmistrza Pobiedzisk jeździ ok. 1500 samochodów na dobę.

Wprowadzenie elektronicznego systemu poboru opłat na całej sieci dróg krajowych, co wydaje się bardziej sprawiedliwe, pozwoliłoby na rezygnację z przekazywania dróg krajowych województwom, a także, jak sądzę, na poważne obniżenie stawek. Nieprzekazywanie dróg krajowych województwom pozwoliłoby w przyszłości uniknąć sporów między GDDKiA a samorządami w przypadku konieczności przeniesienia ruchu z drogi krajowej na samorządową. Sprawa wymaga dokładnego rozważenia i zrobienia odpowiedniej symulacji.

Pozwoliłem sobie na garść uwag wynikających z obserwacji działań GDDKiA oraz Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej. Proszę Pana Redaktora Naczelnego *Drogownictwa* o opublikowanie niniejszego listu. Być może wywoła on dyskusję w odpowiednich gremiach i przyczyni się do poprawy zarządzania polskimi drogami.

Kazimierz Bałęczny