

Wzmacnianie podłoża gruntowego
i podbudowy dróg betonowych
przy pomocy iniekcji geopolimerowych

PKD Suwałki 15 - 16.03.2018 r.

Plan wystąpienia

1. **Wprowadzenie (aktualna sytuacja, problem)**
2. **Cel wystąpienia**
3. **Iniekcja – definicja, zastosowanie**
4. **Proces wykonania zabiegu iniekcji**
5. **Przykłady zastosowań**
6. **Podsumowanie**

Wprowadzenie

Stan istniejący

- Realizacja wielu inwestycji drogowych – w ostatnich 10 latach – 1000 km dróg,
- Perspektywa budowy kolejnych odcinków (PBDK),
- Napięty czas realizacji,
- Złożone warunki gruntowe w zależności od regionu Polski:
 - a. Wysokie wymagania realizacyjne,
 - b. Rozpoznanie warunków gruntowo – wodnych,
- Dokładność wykonania inwestycji wpływa na użyteczność techniczną nawierzchni,
- Remont drogi zawsze generuje ogromne koszty, nie tylko samych robót, ale również koszty społeczne:

Koszt społeczny > koszt robót



Południowa obwodnica Gdańska



Sopot, ul. Cieszyńskiego



DK 50

Problem

- Jak przewidywać niebezpieczeństwo?
- Jak reagować w momencie stwierdzenia wady konstrukcji?
- Szukać indywidualnie czy korzystać z mądrości zbiorowej, (np. doświadczenia GDDKiA)?
- Na ile doświadczenia zagraniczne będą skuteczne w Polsce?
- Czy uda się znaleźć krajowych ekspertów?
- Czy budżet będzie wystarczający?
- Itd., itp.

Cel referatu

1. Zwrócenie uwagi na **iniekcje geopolimerowe**, jako innowacyjną metodę wzmocnienia podłoża i podbudów.
2. Zachęcenie do systematyzowania doświadczeń i kolektywnego opracowania społecznie użytecznych rekomendacji technicznych geopolimerowego wzmocnienia podłoża i podbudowy konstrukcji nawierzchni drogowych.

Metody wzmocnienia podłoża gruntowego, podbudowy

Metody wzmocnienia podłoża gruntowego:

- Wymiana gruntu
- Konsolidacja (konsolidacja podciśnieniowa, przeciążenie, dreny pionowe),
- Ubijanie gruntu
- Wymiana dynamiczna,
- Wibroflotacja,
- Wibrowymiana
- Kolumny (DSM, betonowe),
- Wzmocnienie podbudów przy pomocy geosiatek, geowłóknin
- **Iniekcje geopolimerowe**
- Inne

Metoda nieinwazyjna

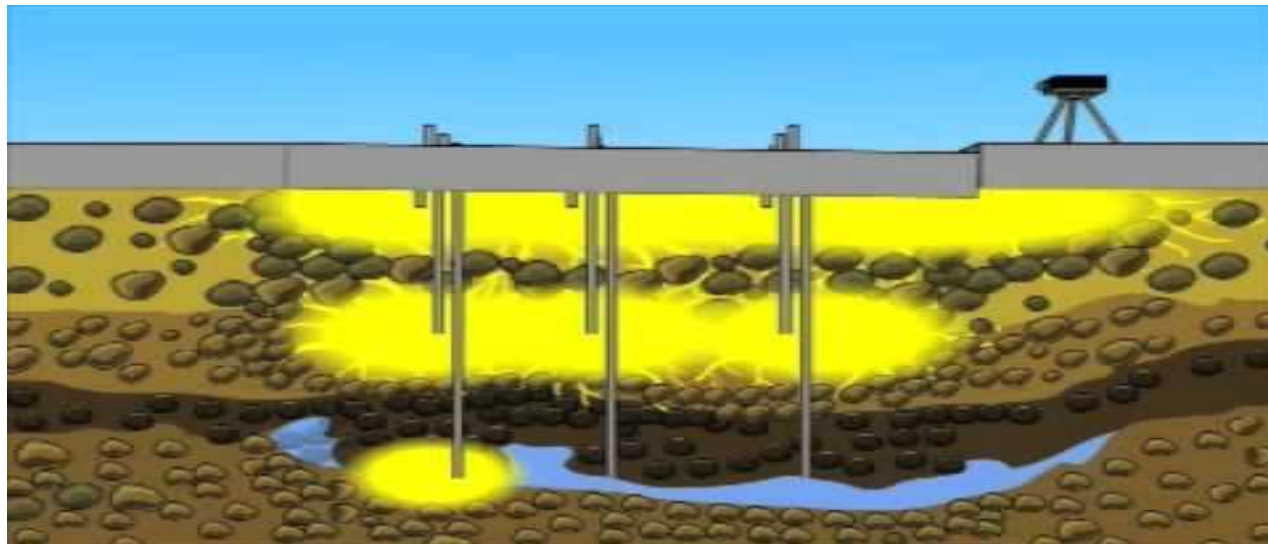
Definicja

Iniekcja:

- wstrzyknięcie leku lub środka diagnostycznego,
- wtlaczanie lub wtryskiwanie cieczy bądź gazów.

Materiał geopolimerowy:

żywice o właściwościach rozszerzających (wysoka ekspansywność) oraz wysokim przyroście wytrzymałości



Żywice geopolimerowe

Podstawowe cechy:

- **Szybkie wiązanie, 95% wytrzymałości w czasie 30-60 sekund,**
- Aplikacja żywicy w amplitudzie $-15^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$,
- Wytrzymałość na ściskanie > siła ekspansji (stałe podparcie konstrukcji),
- Elastyczność materiału,
- 5-30 – współczynnik pęcznienia materiału,
- Dobre właściwości hydroizolacyjne,
- Pęcznienie w poziomie i w pionie.

Podstawowe właściwości wytrzymałościowe:

Gęstość objętościowa po ekspansji	50 kg/m ³ - 500 kg/m ³
Wytrzymałość na ściskanie	0,5 MPa – 15 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	0,5 MPa – 8 MPa
Wytrzymałość na zginanie	0,5 MPa – 15 MPa
Ciśnienie pęcznienia	10,000 kPa
E	10 MPa – 80 MPa

Żywice geopolimerowe

Podstawowe cechy:

- Szybkie wiązanie, 95% wytrzymałości w czasie 30-60 sekund,
- **Aplikacja żywicy w amplitudzie $-15^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$,**
- Wytrzymałość na ściskanie > siła ekspansji (stałe podparcie konstrukcji),
- Elastyczność materiału,
- 5-30 – współczynnik pęcznienia materiału,
- Dobre właściwości hydroizolacyjne,
- Pęcznienie w poziomie i w pionie.

Podstawowe właściwości wytrzymałościowe:

Gęstość objętościowa po ekspansji	50 kg/m ³ - 500 kg/m ³
Wytrzymałość na ściskanie	0,5 MPa – 15 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	0,5 MPa – 8 MPa
Wytrzymałość na zginanie	0,5 MPa – 15 MPa
Ciśnienie pęcznienia	10,000 kPa
E	10 MPa – 80 MPa

Żywice geopolimerowe

Podstawowe cechy:

- Szybkie wiązanie, 95% wytrzymałości w czasie 30-60 sekund,
- Aplikacja żywicy w amplitudzie -15°C – 60°C ,
- **Wytrzymałość na ściskanie > siła ekspansji (stałe podparcie konstrukcji),**
- Elastyczność materiału,
- 5-30 – współczynnik pęcznienia materiału,
- Dobre właściwości hydroizolacyjne,
- Pęcznienie w poziomie i w pionie.

Podstawowe właściwości wytrzymałościowe:

Gęstość objętościowa po ekspansji	50 kg/m ³ - 500 kg/m ³
Wytrzymałość na ściskanie	0,5 MPa – 15 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	0,5 MPa – 8 MPa
Wytrzymałość na zginanie	0,5 MPa – 15 MPa
Ciśnienie pęcznienia	10,000 kPa
E	10 MPa – 80 MPa

Żywice geopolimerowe

Podstawowe cechy:

- Szybkie wiązanie, 95% wytrzymałości w czasie 30-60 sekund,
- Aplikacja żywicy w amplitudzie $-15^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$,
- Wytrzymałość na ściskanie > siła ekspansji (stałe podparcie konstrukcji),
- **Elastyczność materiału,**
- 5-30 – współczynnik pęcznienia materiału,
- Dobre właściwości hydroizolacyjne,
- Pęcznienie w poziomie i w pionie.

Podstawowe właściwości wytrzymałościowe:

Gęstość objętościowa po ekspansji	50 kg/m ³ - 500 kg/m ³
Wytrzymałość na ściskanie	0,5 MPa – 15 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	0,5 MPa – 8 MPa
Wytrzymałość na zginanie	0,5 MPa – 15 MPa
Ciśnienie pęcznienia	10,000 kPa
E	10 MPa – 80 MPa

Żywice geopolimerowe

Podstawowe cechy:

- Szybkie wiązanie, 95% wytrzymałości w czasie 30-60 sekund,
- Aplikacja żywicy w amplitudzie $-15^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$,
- Wytrzymałość na ściskanie > siła ekspansji (stałe podparcie konstrukcji),
- Elastyczność materiału,
- **5-30 – współczynnik pęcznienia materiału,**
- Dobre właściwości hydroizolacyjne,
- Pęcznienie w poziomie i w pionie.

Podstawowe właściwości wytrzymałościowe:

Gęstość objętościowa po ekspansji	50 kg/m ³ - 500 kg/m ³
Wytrzymałość na ściskanie	0,5 MPa – 15 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	0,5 MPa – 8 MPa
Wytrzymałość na zginanie	0,5 MPa – 15 MPa
Ciśnienie pęcznienia	10,000 kPa
E	10 MPa – 80 MPa

Żywice geopolimerowe

Podstawowe cechy:

- Szybkie wiązanie, 95% wytrzymałości w czasie 30-60 sekund,
- Aplikacja żywicy w amplitudzie $-15^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$,
- Wytrzymałość na ściskanie > siła ekspansji (stałe podparcie konstrukcji),
- Elastyczność materiału,
- 5-30 – współczynnik pęcznienia materiału,
- **Dobre właściwości hydroizolacyjne,**
- Pęcznienie w poziomie i w pionie.

Podstawowe właściwości wytrzymałościowe:

Gęstość objętościowa po ekspansji	50 kg/m ³ - 500 kg/m ³
Wytrzymałość na ściskanie	0,5 MPa – 15 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	0,5 MPa – 8 MPa
Wytrzymałość na zginanie	0,5 MPa – 15 MPa
Ciśnienie pęcznienia	10,000 kPa
E	10 MPa – 80 MPa

Żywice geopolimerowe

Podstawowe cechy:

- Szybkie wiązanie, 95% wytrzymałości w czasie 30-60 sekund,
- Aplikacja żywicy w amplitudzie $-15^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$,
- Wytrzymałość na ściskanie > siła ekspansji (stałe podparcie konstrukcji),
- Elastyczność materiału,
- 5-30 – współczynnik pęcznienia materiału,
- Dobre właściwości hydroizolacyjne,
- **Pęcznienie w poziomie i w pionie.**

Podstawowe właściwości wytrzymałościowe:

Gęstość objętościowa po ekspansji	50 kg/m ³ - 500 kg/m ³
Wytrzymałość na ściskanie	0,5 MPa – 15 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	0,5 MPa – 8 MPa
Wytrzymałość na zginanie	0,5 MPa – 15 MPa
Ciśnienie pęcznienia	10,000 kPa
E	10 MPa – 80 MPa

Typy iniekcji

- **Konsolidacja przypowierzchniowa** – przywrócenie pełnej styczności fundamentu z gruntem.
- **Konsolidacja wgłębna** – wzmocnienie i zwiększenie gęstości gruntu.

Skuteczność iniekcji

Do czego iniekcja znajduje swoje zastosowanie w inżynierii lądowej?

1. STABILIZACJA I POZIOMOWANIE
2. WZMACNIANIE I ZAGĘSZCZANIE GRUNTU
3. SŁUPY GEOPOLIMEROWE – PODBICIE FUNDAMENTÓW
4. WYPEŁNIANIE PUSTEK I USCZELNIENIE PRZED WODĄ

Zastosowanie iniekcji w nawierzchniach betonowych

Z punktu widzenia uszkodzeń konstrukcji nawierzchni betonowych iniekcje stanowią metodę naprawy w następującym zakresie:



Wzmocnienie konstrukcji

Wyrównanie nawierzchni

- Usztywnienie (wzmocnienie) podbudowy - wyeliminowanie pustych przestrzeni – wypełnienie, zagęszczenie, konsolidacja,
- Usunięcie wody z porów i pustych przestrzeni – podparcie konstrukcji
- Konsolidacja i ujednorodnienie podłoża - zbrylenie gruntu – poprawa nośności podłoża

Proces wykonania zabiegu iniekcji

1. Ocena konstrukcji (badania wstępne)
2. Dobór ilościowy i jakościowy geopolimeru, głębokości iniekcji itp.
3. Aplikacja materiału
4. Badania kontrolne (porealizacyjne)

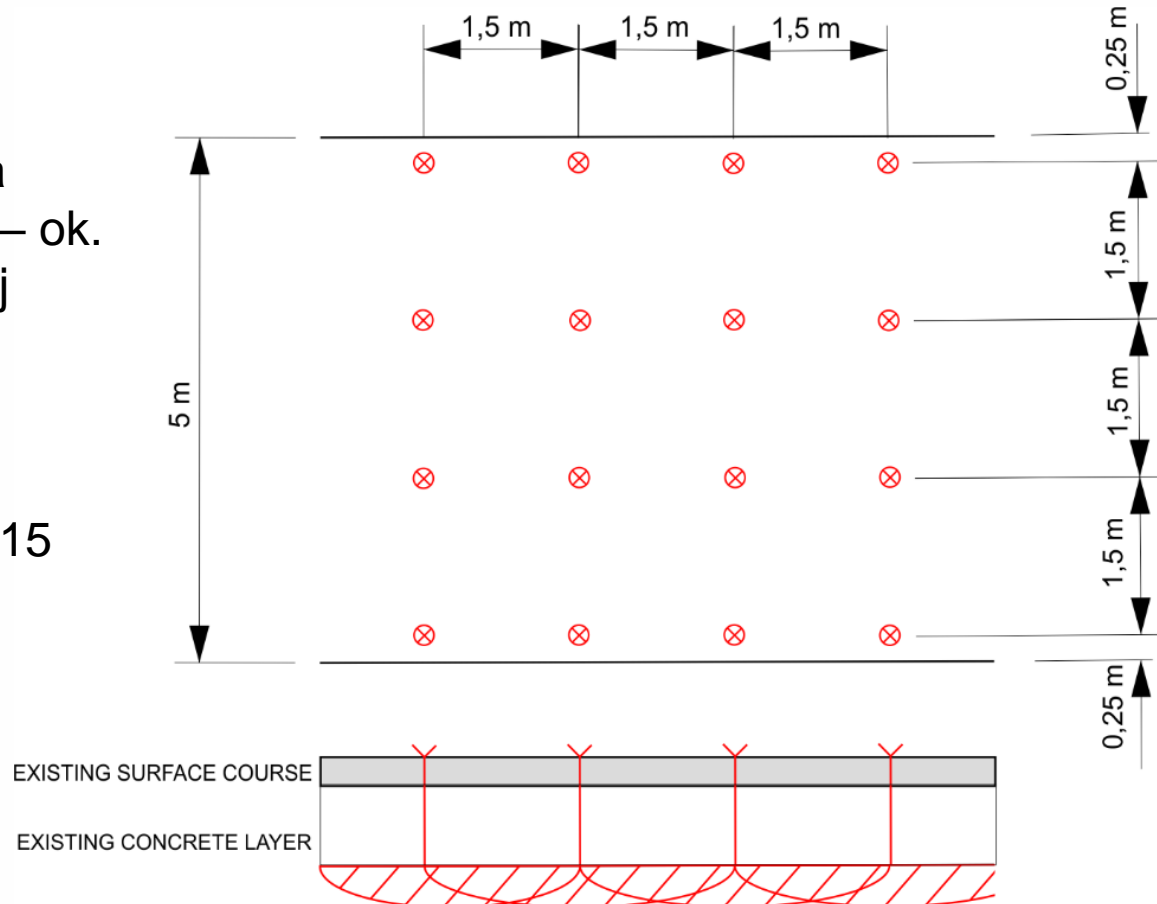
Ad 1) Badania podłoża i konstrukcji:

- Sonda dynamiczna stożkowa (penetrometr): charakterystyka gruntu oraz nośność,
- Georadar GPR – pustki, kawerny,
- Badania obciążenia płytą – nośność konstrukcji,
- Wskaźnik nośności CBR – nośność podłoża.

Proces wykonania zabiegu iniekcji

Strefa oddziaływania punktu iniekcyjnego – ok. 1 m (nośność, rodzaj gruntu, obciążenie),

Wielkość otworu iniekcyjnego ok. 12–15 mm



Proces wykonania zabiegu iniekcji

- Ciągły monitoring istotnych elementów konstrukcji opierających się na wzmacnianym podłożu – lasery obrotowe, czujniki, sensory w pobliżu punktu iniekcyjnego,
- Monitoring procesu polimeryzacji,
- Pomiar odpowiedniego stopnia zagęszczenia geopolimeru oraz zakładanego wzmocnienia.



Proces wykonania zabiegu iniekcji

Ocena porealizacyjna

- Sonda dynamiczna stożkowa SDS
- Badanie nośności – obciążenie płytą,
- Georadar

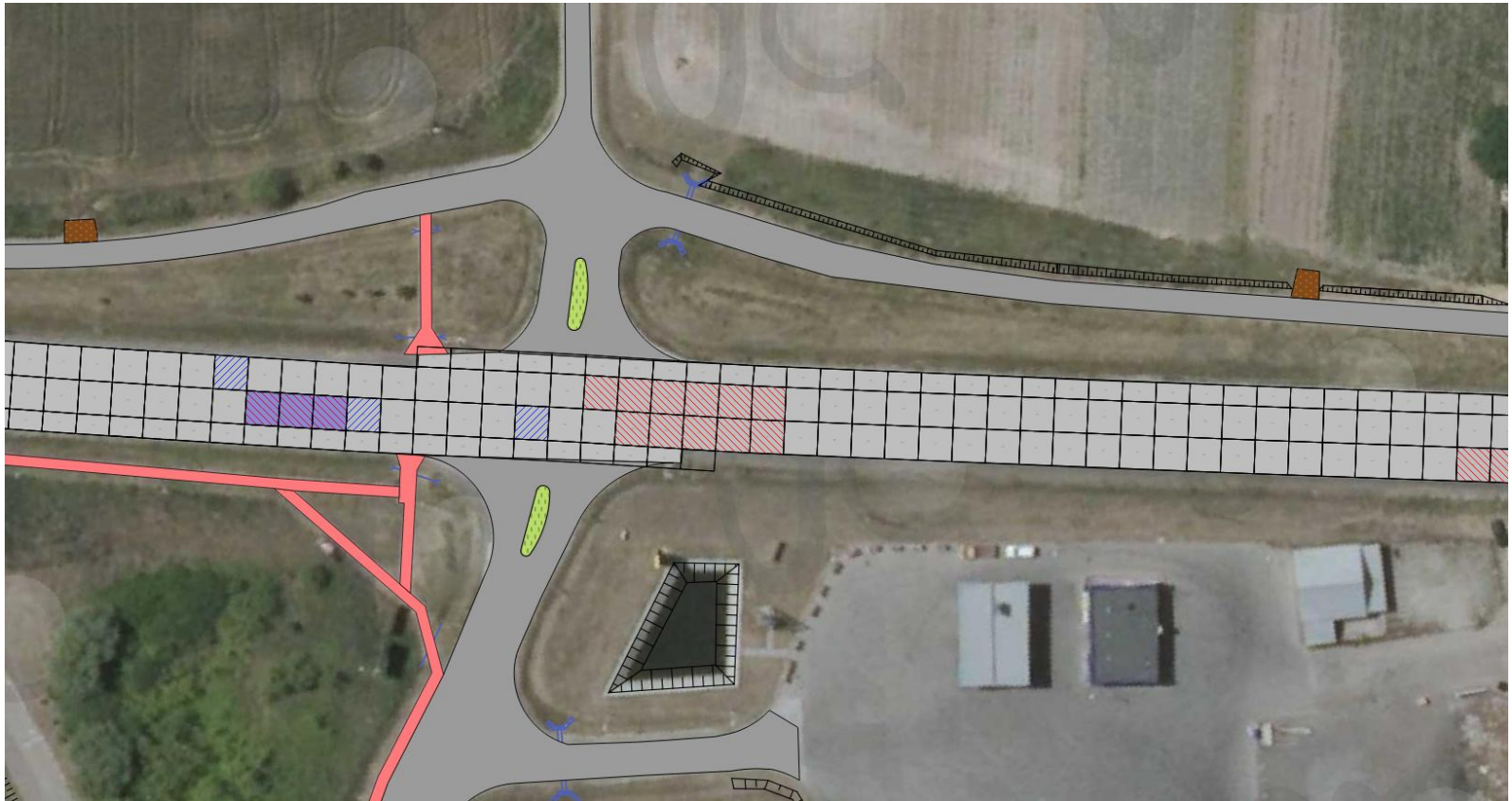
**Wzmocnienie konstrukcji –
wzrost nośności**

Wyrównanie nawierzchni



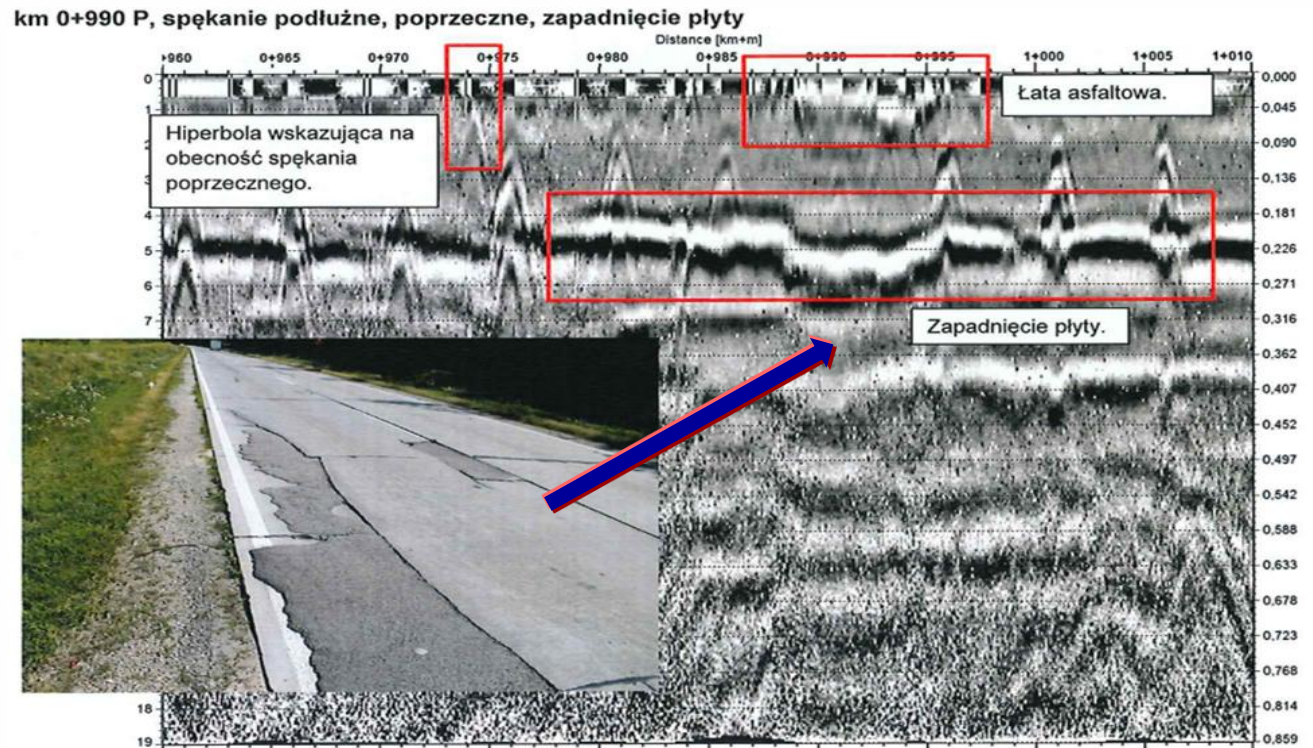
Przykłady zastosowań (1)

Obwodnica Młodziszyna DK 50, woj. mazowieckie, odcinek 2.405 km w technologii betonu cementowego (płyty dyblowane i kotwione).



Przykłady zastosowań (1)

- Pustki, kawerny,
- Wypłukany materiał podbudowy,
- Miejscowy brak podparcia płyt,
- Pionowe i poziome przemieszczenia płyt.



Przykłady zastosowań (2)

Durban (RPA) Solomon Mahlangu Highway, powierzchnia wzmocnienia ok 50 tys m², nawierzchnia w technologii betonu cementowego.

Wysokie natężenie ruchu, duży udział ruchu ciężkiego,

Stwierdzone wady: pustki w podbudowie na głębokości ok 80 cm pod płytą nawierzchniową powodujące pęknięcia płyty betonowej, zapadnięcia, obłamania.



Przykłady zastosowań (3)

Biarriz (Francja) droga A63, punkt poboru opłat, powierzchnia wzmocnienia 135 m², nawierzchnia w technologii betonu cementowego.

Stwierdzone wady: utrata nośności podbudowy, zjawisko „pływających” płyt
Naprawa: 1 dzień, 40 cm grubość płyty, 15-25 m²



Teoria, a praktyka!

Obwodnica Siedlec DK2, „płynący” nasyp drogowy,

- Zagrożenie, jakie może się pojawić na wielu odcinkach dróg,
- Utrudniony i kosztowny sposób naprawy stwierdzonej wady



S2 – POW, niewielkie torfowisko,



Podsumowanie

Zastosowanie:

Wzmocnienie konstrukcji
nawierzchni

Wyrównanie nawierzchni,
poziomowanie i stabilizacja płyt
oraz podbudowy,

Wzmocnienie podłoża gruntowego

Zalety:

- ✓ Brak konieczności odkrywania gruntu, brak wykopów,
- ✓ Brak uszkodzeń konstrukcji (precyzyjne wyliczenia i monitoring aplikacji materiału), brak demontażu konstrukcji,
- ✓ Natychmiastowy efekt wzmocnienia
- ✓ Szybkość realizacji prac

Podsumowanie

Zastosowanie:

Wzmocnienie konstrukcji
nawierzchni

Wyrównanie nawierzchni,
poziomowanie i stabilizacja płyt
oraz podbudowy,

Wzmocnienie podłoża gruntowego

Zalety:

- ✓ Brak konieczności odkrywania gruntu, brak wykopów,
- ✓ **Brak uszkodzeń konstrukcji (precyzyjne wyliczenia i monitoring aplikacji materiału), brak demontażu konstrukcji,**
- ✓ Natychmiastowy efekt wzmocnienia
- ✓ Szybkość realizacji prac

Podsumowanie

Zastosowanie:

Wzmocnienie konstrukcji
nawierzchni

Wyrównanie nawierzchni,
poziomowanie i stabilizacja płyt
oraz podbudowy,

Wzmocnienie podłoża gruntowego

Zalety:

- ✓ Brak konieczności odkrywania gruntu, brak wykopów,
- ✓ Brak uszkodzeń konstrukcji (precyzyjne wyliczenia i monitoring aplikacji materiału), brak demontażu konstrukcji,
- ✓ **Natychmiastowy efekt wzmocnienia**
- ✓ Szybkość realizacji prac

Podsumowanie

Zastosowanie:

Wzmocnienie konstrukcji
nawierzchni

Wyrównanie nawierzchni,
poziomowanie i stabilizacja płyt
oraz podbudowy,

Wzmocnienie podłoża gruntowego

Zalety:

- ✓ Brak konieczności odkrywania gruntu, brak wykopów,
- ✓ Brak uszkodzeń konstrukcji (precyzyjne wyliczenia i monitoring aplikacji materiału), brak demontażu konstrukcji,
- ✓ Natychmiastowy efekt wzmocnienia
- ✓ **Szybkość realizacji prac**

Informacja dla zainteresowanych współpracą:

Agnieszka Poteraj – Oleksiak

apoteraj@gddkia.gov.pl

GDDKiA Oddział w Warszawie

Polski Kongres Drogowy

Grupa robocza: „Nawierzchnie betonowe”