

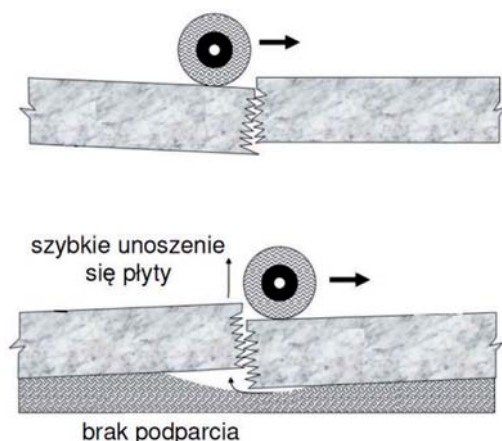


MAŁGORZATA WUTKE

TPA Sp. z o. o.
malgorzata.wutke@tpaqi.com

Kontrola wbudowania kotew i dybli w nawierzchniach betonowych za pomocą metody georadarowej

Dyble to pręty gładkie, które montuje się prostopadłe do poprzecznych połączeń płyt nawierzchni betonowych, w środku grubości płyt. Ich zadaniem jest przenoszenie obciążeń pomiędzy sąsiadującymi płytami poprzez właściwą współpracę płyt (*Load Transfer Efficiency – LTE* [3]). Średnica dybli wynosi zazwyczaj 25 mm, długość 500 mm, rozstaw 250 mm [3]. Odpowiednie połączenie płyt za pomocą dybli zmniejsza ugięcia (a także naprężenia) płyt i podbudowy, a jednocześnie zapewnia przemieszczenie horyzontalne płyt, wynikające ze skurczu i rozszerzalności termicznej. Nieprawidłowo zadyblowana szczelina poprzeczna, obciążona przez ruch pojazdów ciężkich ulega uszkodzeniu, wykrusza się i pęka, ma ponadto skłonność do klawiszowania (rys. 1). Przemieszczanie się płyt w płaszczyźnie pionowej pogarsza komfort i bez-

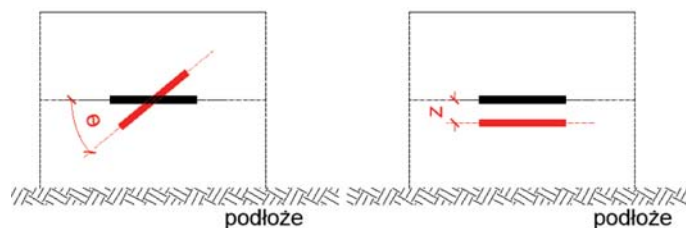


Rys. 1. Mechanizm reakcji płyt na obciążenie podczas gdy brak jest w nich poprawnie umieszczonych dybli [7]

pieczeństwo jazdy oraz prowadzi do przedwczesnych uszkodzeń nawierzchni, poprzez między innymi utratę podparcia płyt.

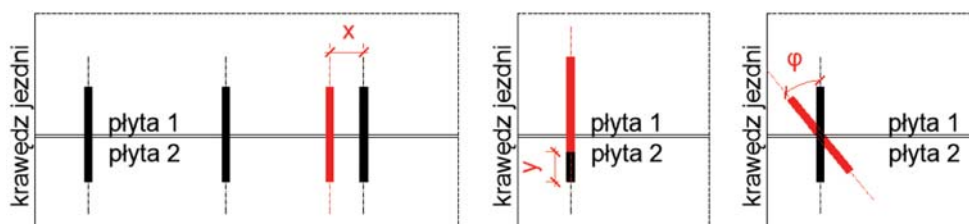
Kotwy to pręty żebrowane, układane prostopadłe do podłużnych połączeń płyt nawierzchni betonowych, również umieszczane są w środku grubości płyt. Celem kotew jest przenoszenie sił poprzecznych pomiędzy płytami i zapobieganie rozsuwaniu się płyt betonowych. Średnica kotew wynosi zazwyczaj 20 mm, długość 800 mm, rozstaw 1000 mm [3].

Dyble i kotwy montuje się poprzez ustawienie ich na podpórkach (koszach) przed rozpoczęciem betonowania, poprzez wciskanie ich w świeżo układaną mieszankę betonową lub poprzez zamocowanie jednego z końców kotwy w jednej płycie betonowej, zanim zostanie ułożona druga płyta, a następnie układanie kolejnej płyty [13]. W zależności od technologii umieszczania prętów w nawierzchni, dochodzi do mniejszych lub większych odchyłek lokalizacji kotew i dybli. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono schematy możliwego, niepoprawnego usytuowania dybli kotew w nawierzchniach.



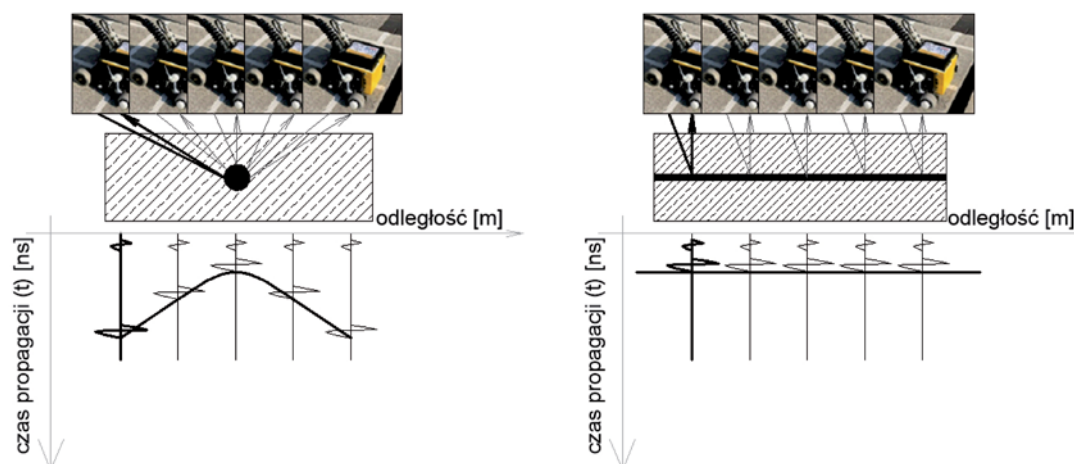
Rys. 3. Odchylenia głębokości pręta. Od lewej: obrót pręta w pionie, niezachowana zakładana głębokość pręta

Rys. 2. Odchylenia lokalizacji pręta. Od lewej: brak zachowanego zakładanego rozstawu między prętami, przesunięcie podłużne, obrót pręta w poziomie



Kontrola lokalizacji dybli i kotew w nawierzchniach betonowych za pomocą metody georadarowej

Na rysunku 4 przedstawiono odwzorowanie georadarowe płyty betonowej z wbudowanym prętem. W sytuacji, gdy w badanym ośrodku znajduje się pręt, a pomiar georadarowy odbywa się w kierunku poprzecznym do osi pręta, czas propagacji fali emitowanej przez georadar od anteny nadawczej do pręta i z powrotem od pręta do anteny odbiorczej skraca się, a następnie wydłuża w miarę ruchu anteny. Odwzorowaniem takiego pomiaru na tzw. B-skaniu (falogramie, radarogramie) jest hiperbola [8], której maksimum odpowiada przejazdowi georadarem bezpośrednio nad prętem (strona lewa na rys. 4). W przypadku, gdy pomiar georadarowy odbywa się w kierunku równoległym do pręta, w każdym położeniu georadaru droga z anteny nadawczej do pręta i z powrotem od pręta do anteny odbiorczej jest taka sama. Odwzorowaniem takiego pomiaru na B-skaniu jest refleks horyzontalny (strona prawa na rys. 4).



Rys. 4. Po lewej: hiperbola na B-skaniu podczas badania georadarem usytuowanym prostopadle do osi pręta; po prawej: refleks horyzontalny podczas badania równoległe do osi pręta

Weryfikacja błędów orientacji dybli i kotew

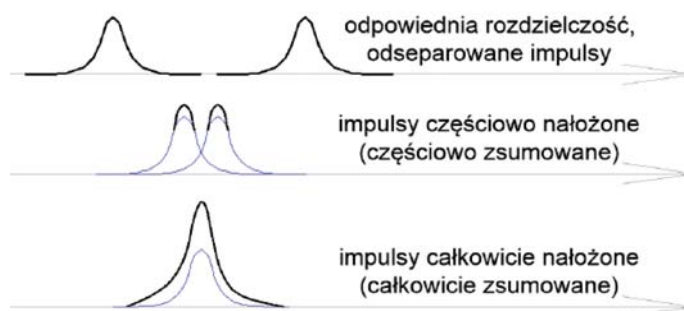
• Weryfikacja rozstawu dybli i kotew

W zakresie kontroli wbudowywania kotew i dybli, weryfikacja rozstawu prętów należy do stosunkowo prostych zagadnień. Wiąże się z tym jednak istotne pojęcie rozdzielczości poziomej anteny. Rozdzielczość pozioma anteny to wielkość wynikająca z częstotliwości fali elektromagnetycznej, a dokładnie długości fali λ_c , a także głębokości r , na jakiej znajduje się obiekt odbijający. Od rozdzielczości poziomej zależy, czy dany pręt zostanie odwzorowany jako pojedynczy impuls na B-skaniu, czy też impulsy od pojedynczych prętów, w przypadku niewystarczającej rozdzielczości, nałożą się. Zagadnienie rozdzielczości przy detekcji pręta zobrazowano na rysunku 5 [5]. Rozdzielczość poziomą opisuje się wzorem [5]:

$$\Delta R \geq \sqrt{\frac{r \cdot \lambda_c}{2}} \text{ [cm]} \quad (1)$$

w którym:

r – głębokość, na jakiej znajduje się obiekt odbijający,
 λ_c – długości fali.



Rys. 5. Odpowiednia i niewystarczająca rozdzielczość anteny georadarowej [5]

Przy założeniu ośrodka propagacji o przenikalności elektrycznej $\epsilon_r = 9$ cm (beton) oraz ośrodka odbijającego na głębokości $r = 15$ cm (pręt w połowie grubości 30-centymetrowej płyty), rozdzielczości wybranych georadarów zamieszczono w tabeli 1.

Oznacza to, że aby możliwe było rozróżnienie dwóch sąsiadujących prętów, w przypadku anten podwieszonych (air-coupled, a-c), muszą one być w rozstawie co najmniej 19,4 cm (antena o częstotliwości 1,0 GHz) oraz 13,7 cm (antena o częstotliwości 2,0 GHz). W przypadku anten sprzężonych z gruntem (ground-coupled, g-c): 13,7 cm (antena o częstotliwości 400 MHz), 6,8 cm (antena o częstotliwości

1,6 GHz) oraz 6,1 cm (antena o częstotliwości 2,0 GHz).

Tabela 1. Rozdzielczości poziome georadarów

Rodzaj anteny	Częstotliwość [Ghz]	Długość fali [cm]	Rozdzielczość pozioma anteny [cm]
Air-coupled (a-c)	1,0	10,0	19,4
	2,0	5,0	13,7
Ground-coupled (g-c)	0,4	25,0	13,7
	1,6	6,3	6,8
	2,0	5,0	6,1

W celu zweryfikowania rozstawu kotew i dybli pomiędzy sąsiadującymi płytami należy wykonać pomiar wzdłuż szczeliny dylatacyjnej (rys. 6). Przykładowy B-skany z takiego pomiaru przedstawiono na rysunku 7.

Rys. 6. Pomiar rozstawu kotew pomiędzy sąsiadującymi płytami za pomocą georadaru g-c o częstotliwości krokowej od 0,2 do 4,0 GHz

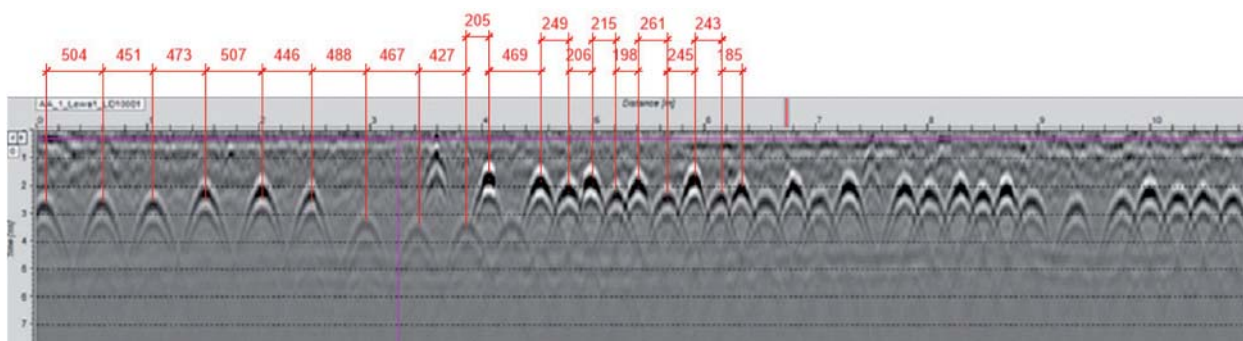


• Weryfikacja liczby dybli i kotew

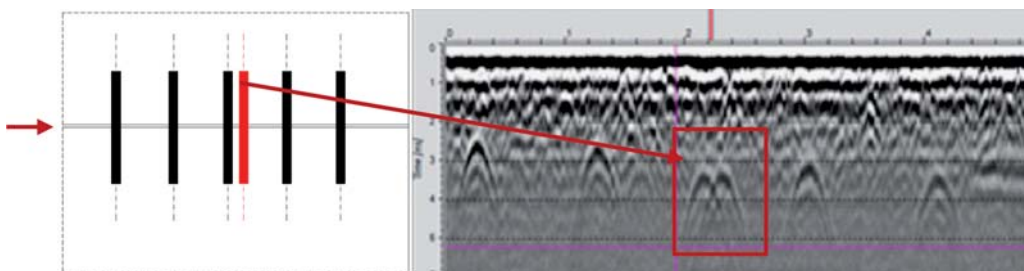
Podobną do powyższej metodę stosuje się w celu sprawdzenia liczby prętów w szczelinie. Na rysunku 8 przedstawiono falogram zarejestrowany za pomocą georadaru g-c o częstotliwości 1,6 GHz. Analizując obraz B-skanu stwierdzono obecność dwóch kotew tuż obok siebie.

• Weryfikacja obrotu dybli i kotew w poziomie

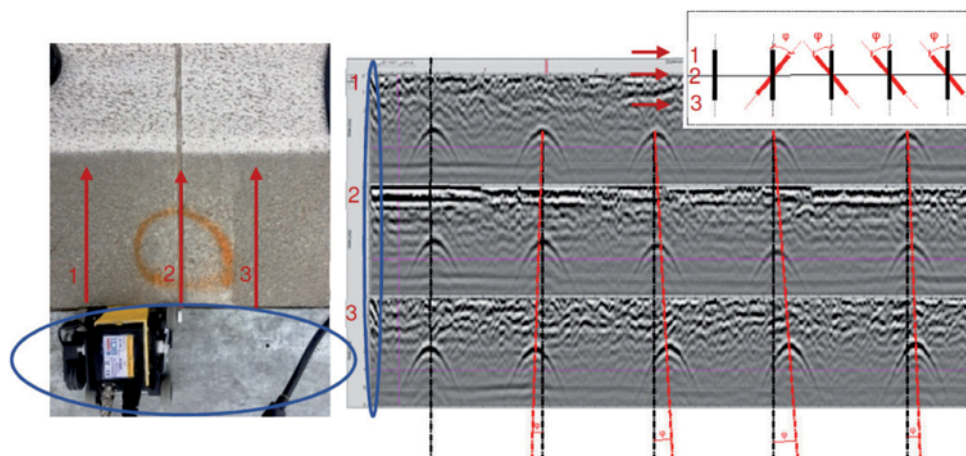
W celu określenia obrotu pręta w poziomie, wzdłuż badanej szczeliny należy wykonać co najmniej trzy przejazdy georadarem: środkiem szczeliny, a także po prawej i lewej stronie szczeliny, w odległości mniejszej niż połowa długości kotwy/dybla. Aby nie wygenerować błędu wynikającego z samego wykonywania badania, punkt początku pomiarów należy zamarkować metalowym płaskownikiem, względnie fragmentem blachy (zaznaczono go niebieskim owalem na rysunku 9). Metalowy płaskownik na każdym z trzech



Rys. 7. Weryfikacja rozstawu między dyblami. B-skan zarejestrowano za pomocą georadaru ground-coupled o częstotliwości 1,6 GHz. Na podstawie B-skanu można stwierdzić, że nie wszędzie jest zachowany rozstaw 250 mm pomiędzy dyblami



Rys. 8. Weryfikacja liczby kotew w szczelinie – w czerwonej ramce zaznaczono zdublowane kotwy

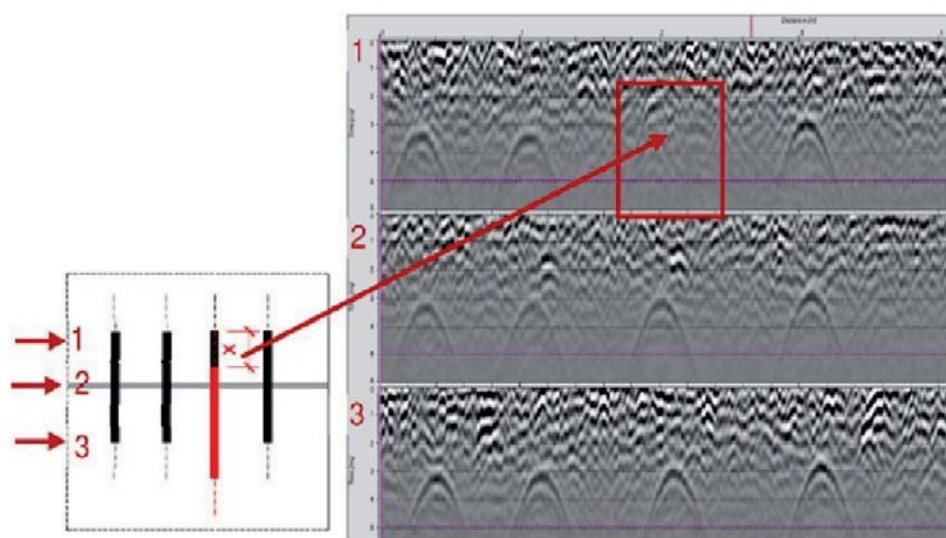


Rys. 9. Weryfikacja obrotu pręta w poziomie. Po lewej stronie – metodologia wykonania pomiarów. Czerwone strzałki oznaczają kolejne przejazdy: 1 po lewej stronie szczeliny, 2 środkiem i 3 po prawej stronie szczeliny. Niebieskim owalem zaznaczono blachę – znacznik do wyjustowania poszczególnych B-skanów. Po prawej stronie – B-skany z trzech kolejnych przejazdów wskazujące na obrót czterech kotew w poziomie. Pomiar wykonano georadarem g-c z anteną 1,6 GHz

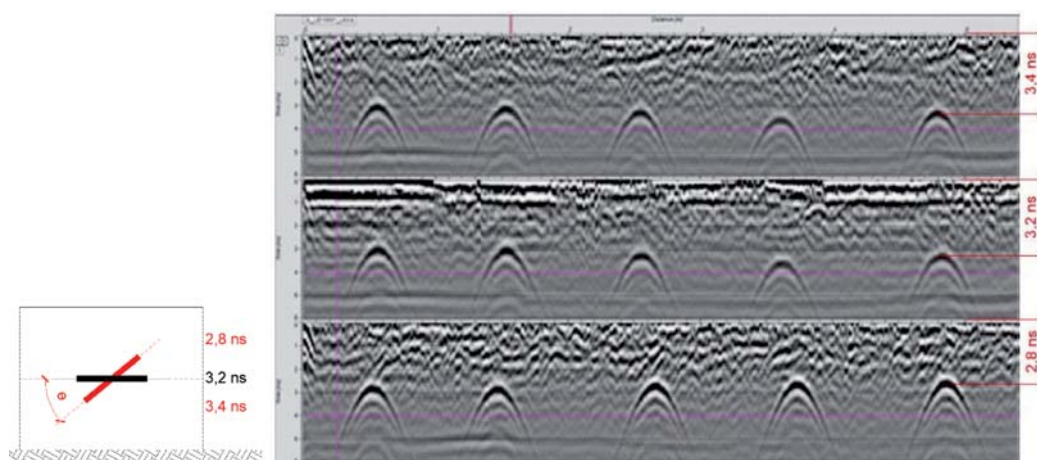
B-skanów zostanie odwzorowany jako wyraźny refleks, dzięki czemu możliwe będzie wyjustowanie wszystkich trzech radarogramów i poprawna interpretacja lokalizacji prętów. W przypadku weryfikacji obrotu pręta w poziomie należy zachować szczególną ostrożność podczas prowadzenia anteny w celu zachowania prostoliniowości badania, zwłaszcza podczas wykonywania przejazdów po prawej i lewej stronie szczeliny.

• Weryfikacja wysunięcia dybli i kotew w poziomie

Weryfikacja wysunięcia pręta w poziomie wiąże się z zastosowaniem tej samej metodologii badania, jak w przypadku sprawdzenia obrotu pręta w pionie. Jeśli pręt zostanie wysunięty poza szczelinę, na B-skaniu nie będzie widocznej hiperboli. Przykład przesunięcia pręta w poziomie zdiagnozowanego za pomocą urządzenia GPR przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Przesunięcie pręta w poziomie. Na B-skaniu z przejazdu nr 1 brak jest hiperboli, co świadczy o tym, że nie stwierdzono tam pręta. Kotew została przesunięta w poziomie. Pomiar wykonano georadarem g-c z anteną 1,6 GHz



Rys. 11. Weryfikacja obrotu pręta w pionie. Na podstawie falogramu wnioskuje się, że ostatnia kotwa jest obrócona w pionie. Pomiar wykonano georadarem g-c z anteną 1,6 GHz

Weryfikacja głębokości dybli i kotew

Identyfikacja błędów głębokości kotew i dybli jest zagadnieniem bardziej złożonym niż weryfikacja orientacji, ponieważ wymaga określenia głębokości, na jakiej znajdują się pręty. Poprawne określenie głębokości nie jest związane tylko i wyłącznie z dokładnością wykonywania badania. Dodatkowy wpływ ma poprawność i dokładność interpretacji przenikalności dielektrycznej badanego ośrodka.

• Weryfikacja obrotu dybli i kotew w pionie

Weryfikacja obrotu prętów w pionie jest prostsza, ponieważ wymaga tylko porównania względnej głębokości prętów na podstawie każdego z trzech przejazdów wzdłuż szczeliny dylatacyjnej. W celu dokonania porównania nie jest konieczna analiza właściwości elektrycznych ośrodka. Na rysunku 11 przedstawiono przykład obróconej kotwy w pionie. Prawa krawędź kotwy znajduje się na głębokości 3,4 ns, punkt pośredni kotwy na głębokości 3,2 ns, lewa krawędź natomiast na głębokości 2,8 ns.

• Weryfikacja głębokości dybli i kotew

W celu poprawnego określenia głębokości kotwy, należy w odpowiedni sposób ustalić czas wstępu anteny do nawierzchni betonowej („czas zero”) [15] oraz prędkość propagacji fali elektromagnetycznej v . Istnieje wiele sposobów na określenie „czasu zero” oraz prędkości propagacji fal radarowych w nawierzchni [12], [9], przy czym każda z metod obarczona jest błędem pomiarowym ze względu na czynniki wpływające na wynik pomiaru GPR, m.in. skład mineralny ośrodka, gęstość, skład chemiczny, np. stężenie soli odladzających, porowatość, częstotliwość fali propagującej, którą dokonuje się pomiaru przenikalności, temperaturę ośrodka [6]. Badania dokładności pomiarów, porównanie metod pomiarów GPR i interpretacji danych oraz czynników wpływających na dokładność prowadzone są obecnie przez autorkę artykułu.

Wartościami odczytanymi z urządzenia GPR, na podstawie których określa się głębokość reflektora, są: czas propagacji t oraz ampli-

tuda wynikająca z odbicia się fali radarowej od reflektora (tu: dybla lub kotwy). Prędkość propagacji fali do reflektora jest proporcjonalna do prędkości światła w próżni c oraz odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka stałej dielektrycznej ośrodka ε_r . Oblicza się ją z następującego wzoru [2]:

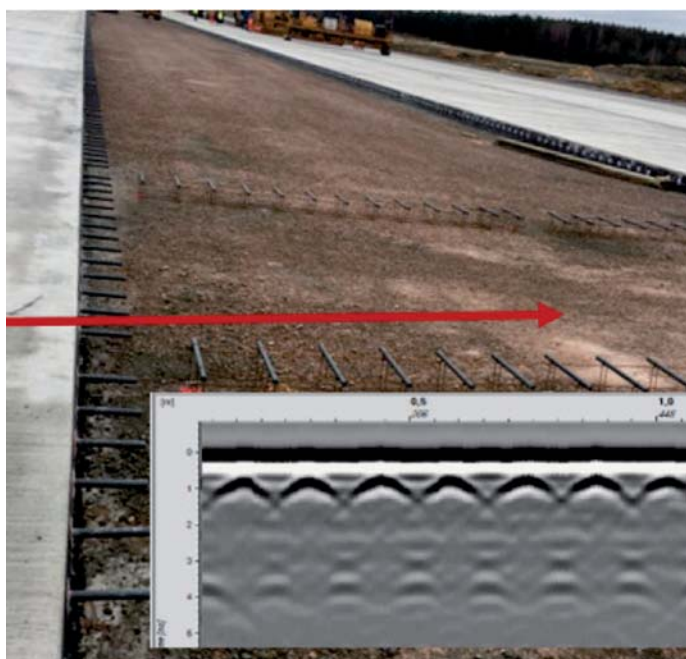
$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \left[\frac{\text{cm}}{\text{ns}} \right] \quad (2)$$

Znając prędkość propagacji, można obliczyć głębokość reflektora (9):

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \text{ [cm]} \quad (3)$$

Przenikalność elektryczną ε_r określa się:

- korzystając z tablic literaturowych (przenikalność betonu podawana jest w [12], wynosi 8–10);
- na podstawie miernika przenikalności elektrycznej – Perkometru [9] – przy czym pomiar przenikalności elektrycznej jest wówczas punktowy;
- na podstawie współczynników odbicia fal EM na granicy ośrodków [12];
- na podstawie odwiertu referencyjnego [9];
- na podstawie ramion nachylenia hiperboli [11].



Rys. 12. Hiperbole odwzorowujące dyble na podstawie badania georadarem. Pomiar wykonano georadarem g-c z anteną 1,6 GHz

Pomiaru prędkości można dokonać również metodą *CMP* (ang. *Common Midpoint* [6]), rozsuwając równomiernie anteny od wspólnego punktu lub metodą *WARR* (ang. *Wide Angle Reflection and Refraction* [6]), ustawiając antenę nadawczą nieruchomo w jednym punkcie i odsuwając antenę odbiorczą co pewną, określoną odległość. Prędkości określa się na podstawie nachylenia refleksów horyzontalnych wynikających z przesuwania anten [9]. Obie z tych metod wymagają posiadania dwóch oddzielnych anten z możliwością ich przesuwu i są pracochłonne.

Z wymienionych metod określenia przenikalności najbardziej przydatna do kontroli kotew i dybli jest metoda oparta na przenikalności elektrycznej, na podstawie doświadczenia autorki najbardziej przydatna do zagadnienia kontroli głębokości kotew i dybli okazuje się metoda oparta na analizie ramion nachylenia hiperboli, będących odwzorowaniem prętów. Autorzy artykułu „*Approach to identify misaligned dowel and tie bars in concrete pavements using ground penetrating radar*” [1] po sprawdzeniu w sposób inwazyjny głębokości prętów określonej metodą dopasowania krzywej do hiperboli, również potwierdzają zasadność stosowania tej metody. W przeprowadzonych badaniach prędkość określona metodą dopasowania krzywej wynosiła od 9,5 do 9,7 cm/ns, a prędkość określona badaniem niszczącym – odwiertem – wynosiła 9,6 cm/ns. Świadczy to o bardzo małym błędzie pomiarowym wynoszącym 1% (pomiar wykonano anteną g-c 1,5 GHz).



Rys. 13. Georadar z anteną o częstotliwości 2,0 GHz w trakcie badania lokalizacji kotew i dybli

Innowacyjną metodą, która przyspieszyłaby kontrolę umieszczenia kotew i dybli za pomocą metody georadarowej jest budowanie sieci neuronowych na podstawie danych o prętach z dokumentacji projektowej. Korzystając z zaprogramowanej sztucznej inteligencji można w sposób automatyczny weryfikować orientację i głębokość prętów. Próby tego przedsięwzięcia opisują m. in. autorzy artykułu „*Location of steel reinforcement in concrete using ground*

penetrating radar and neural networks” [14]. Na podstawie opracowanej metody autorzy zlokalizowali 18 z 26 prętów, w związku z czym wnioskuje o potrzebie dalszego rozwoju procedury, podkreślając obiecujące możliwości podjętego kierunku badań.



Rys. 14. Programowanie sieci neuronowych do automatycznej kontroli ułożenia dybli i prętów [14]

Inne metody weryfikacji lokalizacji położenia kotew i dybli

Oprócz metody georadarowej istnieją inne sposoby pomiaru lokalizacji kotew i dybli w nawierzchniach betonowych – między innymi na podstawie pomiaru urządzeniem MIT-Scan lub metodą tomografii ultradźwiękowej. MIT-Scan to urządzenie działające na podstawie metody prądów wirowych, specjalnie dedykowane pomiarowi lokalizacji kotew i dybli. Używając MIT-Scan uzyskuje się przeanalizowane dane pomiarowe (położenie prętów i parametry odchyłek: przesunięcia boczne, równoległość ułożenia, nieprawidłową głębokość), nie jest więc konieczna dodatkowa interpretacja, jak w przypadku badania georadarem. Producent MIT-Scan określa dokładność ustalenia głębokości prętów i niewspółosiowości na ± 4 mm oraz przesunięcia boczne

± 8 mm [10]. Dane z literatury [7] wskazują jednak, że problemy podczas badania urządzeniem MIT-Scan mogą pojawić się wówczas, gdy kotwy, czy dyble są układane w koszach. Za pomocą urządzenia MIT-Scan nie można jednak określić stanu betonu nawierzchniowego wokół kotew i dybli, co natomiast jest możliwe przy badaniu georadarem lub metodą tomografii ultradźwiękowej.

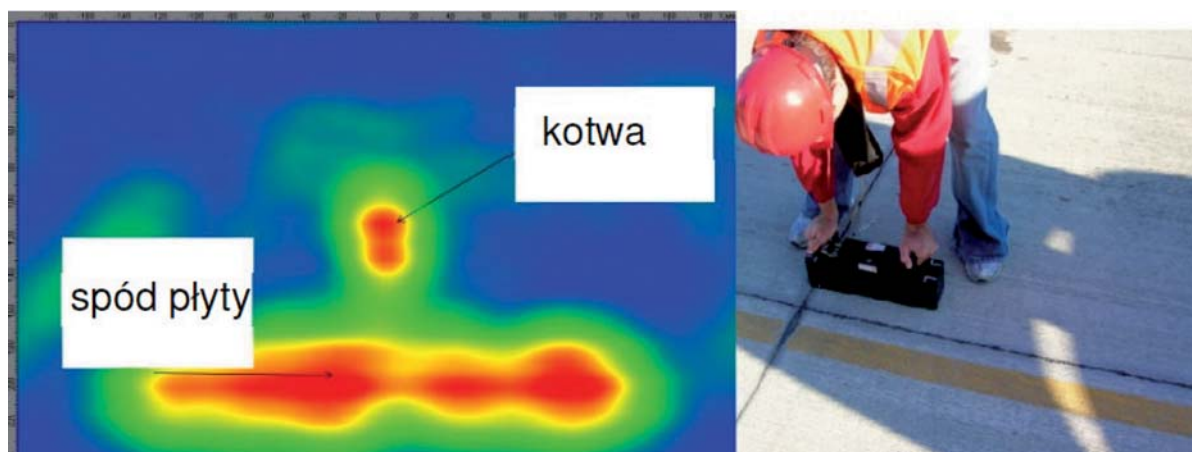
Tomografia ultradźwiękowa wiąże się z podobnym zagadnieniem złożoności interpretacji danych, jak badanie georadarem. Wymagany jest większy nakład czasowy na wykonanie pomiarów – pomiar nie jest ciągły, jak w przypadku georadaru, a punktowy (rys. 15).

Podsumowanie

Kontrola wbudowania kotew i dybli w nawierzchniach betonowych za pomocą metody georadarowej daje pożądane rezultaty zarówno w kwestii weryfikacji orientacji, jak i głębokości prętów. Umożliwia weryfikację rozstawu dybli i kotew, liczbę wmontowanych dybli i kotew, ich obrót w poziomie, przesunięcie w poziomie, obrót dybli i kotew w pionie, a także głębokość, na jakiej są umieszczone. Dokładność oceny przesunięć i obrotów wynika z dokładności wykonania badania i przy odpowiedniej staranności nie jest obciążona błędem. Dokładność oceny głębokości zależy od interpretacji, a przy odpowiednio wykonanej analizie błąd pomiarowy można zredukować do 1%. Stosowanie zaawansowanych technik komputerowych i wynikające z nich możliwości interpretacji eliminują problem czasochłonnej analizy danych georadarowych. Należy zaznaczyć, że istnieją i są również rozwijane możliwości automatycznej oceny poprawności umieszczania kotew i dybli metodą georadarową na podstawie budowania sieci neuronowych i programowania sztucznej inteligencji [14].

W przyszłości należy rozważyć wykonywanie badań georadarem na świeżo ułożonych warstwach betonowych, umożliwiając bieżącą korektę lokalizacji kotew uznanych za ułożone niepoprawnie. Takie badanie można wykonywać, montując pomost roboczy nad świeżo ułożoną warstwą betonową, a zamiast anteny sprzężonej z gruntem, stosować antenę sprzężoną z powietrzem (rys. 16).

Rys. 15. Tomografia ultradźwiękowa nawierzchni betonowej w celu weryfikacji poprawności umieszczenia kotwy [4]





Rys. 16. Prototypowy wózek do montażu anteny sprzężonej z powietrzem

Bibliografia

- [1] Amer-Yahia C. i Majidzadeh T., 2014, "Approach to identify misaligned dowel and tie bars in concrete pavements using Ground Penetrating Radar", Elsevier, Case Studies in NDT & E, volume 2, pages 14-26;
- [2] David J., D., 2007, "Ground Penetrating Radar, 2nd edition", IET Radar, Sonar, Navigation and Avionics, series 15, London;
- [3] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2014, „Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych”;
- [4] Hoegh K., Khazanovich L., Yu H.T., 2011, "Ultrasonic Tomography Technique for evaluation of concrete pavements", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, no. 2232, pages 85-94;
- [5] Jol H., M., 2009, "Ground Penetrating Radar: Theory and Applications", Elsevier Science, Amsterdam;
- [6] Karczewski J., Ortyl Ł. i Pasternak M., 2011, Zarys metody georadarowej, Wydawnictwo AGH, Kraków;
- [7] Khazanovich L., 2011, "Dowel and tie bars in concrete pavements joints: theory and practice", University of Minnesota;
- [8] Lachowicz J. i Rucka M., 2017, Diagnostyka żelbetowej kładki dla pieszych z zastosowaniem metody georadarowej, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska;
- [9] Lalague A., 2015, "Use of Ground Penetrating Radar for Transportation Infrastructure Maintenance", Doctoral Thesis at Norwegian University of Science and Technology, Trondheim;
- [10] MIT-Scan2-BT, 2018, „System do nieniszczących precyzyjnych pomiarów położenia dybli w drogach i nawierzchniach betonowych”, materiały producenta;
- [11] Rucka M. i Lachowicz J., 2018, Identyfikacja prędkości fali elektromagnetycznej w przegrodach budowlanych diagnozowanych metodą georadarową, Czasopismo Materiały Budowlane, nr 12/2018;
- [12] Saarenketo T., 2006, "Electrical properties of road materials and subgrade soil and the use of Ground Penetrating Radar in traffic infrastructure surveys", Doctoral Thesis at University of Oulu;
- [13] Seruga A., Seruga T. i Juliszewski L., 2011, Dyble w drogach nawierzchniach betonowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej;
- [14] Shaw M., 2005, "Location of steel reinforcement in concrete using Ground Penetrating Radar and neural networks", Elsevier, NDT & E International, volume 38, issue 3, pages 203-212;
- [15] Yelf R., Yelf D., 2004, "Where is true time zero?" Conference: Ground Penetrating Radar GPR 2004, Australia.



ANDRZEJ STANCZYK

Warbud SA
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

Tunel drogowy pod Zatoką Tokijską

Imponujące i powszechnie doceniane są te osiągnięcia japońskiego mostownictwa, które można obejrzeć, dotknąć i zmierzyć, ale nie mniej fascynujące są też te budowle komunikacyjne i ich części, które są niedostępne i niewidoczne dla obserwatorów – ukryte pod powierzchnią wody lub gruntu. Można było przekonać się o tym podczas wykładu poprzedzającego zwiedzanie mostu Akashi Kaykio, gdy na ekranie przewijały się kolejne fazy opuszczania i zagłębienia w dno morskie studni-kesonów i budowy na nich pylonów. Jeszcze bardziej dobitnym przykładem tego jest tunel drogowy pod Zatoką Tokijską – Tokyo Wan Aqua-Line, skracający przejazd ze stolicy na półwysep po przeciwnej stronie zatoki.

Zanim go wybudowano, utrzymywała się znaczna nierównomierność zaludnienia brzegów Zatoki. Średnia gęstość zamieszkania w zatłoczonym Tokio wynosiła w końcu ubie-

głego wieku – bezpośrednio przed otwarciem tunelu – około 13 tysięcy osób na km² [1]. Znacznie luźniej był zasiedlony półwysep po przeciwnej, wschodniej stronie zatoki, na który można było dostać się pokonując stukilometry objazd drogami wokół zatoki. Ten stan nierównowagi trwał od lat, więc od dawna przemyślano o budowie połączenia drogowego wprost przez zatokę, łączącego wybrzeża kilkudziesięciokilometrową przeprawą.

Koncepcję przeprawy pod dnem zatoki dyskutowano już w 1955 r. jako część planu rozwoju Zatoki Tokijskiej. W 1966 r. rozpoczęto badania nad możliwościami wykonania, a od 1975 r. trwały prace projektowe. Roboty budowlane rozpoczęto w maju 1989 r., a całość budowli otwarto w grudniu 1999 r.

Poszczególne elementy przeprawy pokazano na rysunku 1, składają się na nią: most dojazdowy (5) o długości 4,4 km od strony półwyspu, prowadzący na sztuczną wyspę (4), na której przeprawa przechodzi w podmorskie tunele (3) i (1), przedzielone w połowie drugą sztuczną wyspą (2), gdzie