The background of the slide is a photograph showing a close-up of a road surface. The top part shows a metal bridge or overpass structure with a grid of beams. Below that, a dark tire is visible on the right side, resting on a light-colored, textured concrete or asphalt surface. The overall lighting is bright, suggesting an outdoor setting.

**Kryteria oceny funkcjonalnej
nawierzchni betonowej z
uwzględnieniem trwałości
materiałów i szczelin dylatacyjnych**
prof. dr hab. inż. Michał A. Glinicki

Motywacja i cel prezentacji

Projektowana trwałość nawierzchni betonowych:

- ❑ na drogach KR5-KR7: 30 lat
- ❑ na autostradach w USA: od 30 do 50 lat

Cel prezentacji:

- ❑ Przegląd kryteriów oceny użyteczności nawierzchni z uwzględnieniem trwałości betonu i funkcjonalności szczelin dylatacyjnych
- ❑ Wskazanie możliwości optymalizacji projektowania i zapewnienia jakości na etapie budowy

Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych wg PN-EN 13877-2:2013

Cecha	Przykładowe wymaganie na drodze klasy S
Wytrzymałość betonu w nawierzchni	\geq CC40
Grubość nawierzchni	tolerancja T5
Gęstość betonu w nawierzchni	\geq 95%
Odporność betonu na zamrażanie i rozmrażanie	Masa złuszczeń $S_{56} < 0,50 \text{ kg/m}^2$ i $S_{56}/S_{28} < 2$ Charakterystyka porów: <ul style="list-style-type: none"> ▪ zawartość mikroporów $A_{300} \geq 1,5\%$ ▪ wskaźnik rozmieszczenia $\bar{L} \leq 0,20 \text{ mm}$
Związanie pomiędzy dwiema warstwami betonu	„mokre na mokre”
Położenie dybli i kotew	według dokumentacji projektowej
Odporność na wnikanie benzyny i oleju	(tylko jeżeli wymagana)

Ograniczenia recepturowe i technologiczne

- Wymagania funkcjonalne dotyczą ułożonej nawierzchni
- Stosuje się razem z wymaganiami recepturowymi na skład betonu, na właściwości materiałów oraz z przepisami technologicznymi
- Wymagania dotyczące składu betonu wynikają z określenia klasy ekspozycji, kategorii środowiska i przewidywanej długotrwałej użyteczności eksploatacyjnej

Warstwa betonu	Klasa ekspozycji wg PN-EN 206, PN-B-06265	Kategoria środowiska wg CEN/TR 16349
górną lub nawierzchnia jednowarstwowa	XF4, XM2	E3
dolna	XF4	E3

Trwałość w klasie ekspozycji XF4

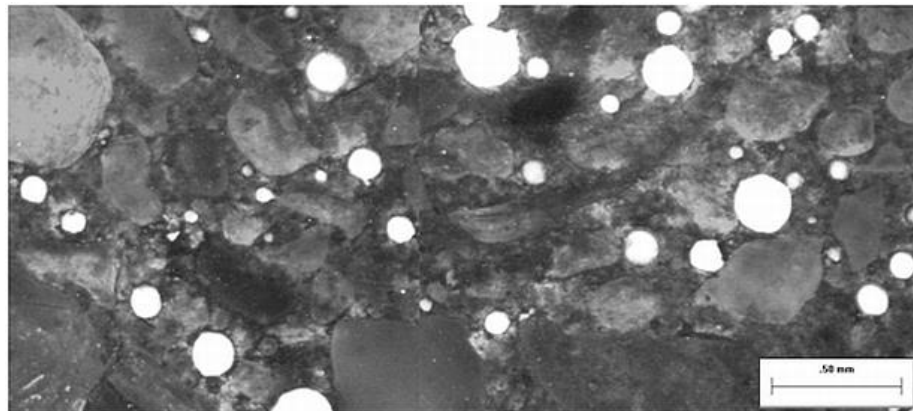
Wcześniej:

- Mrozoodporność F150
- Odporność na zamrażanie i rozmrażanie z udziałem soli odladzającej

Od wprowadzenia „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych”, 2014 (A.Szydło z zespołem) -

wymagania właściwej charakterystyki porów powietrznych w betonie:

- zawartość mikroporów A_{300}
- wskaźnik rozmieszczenia porów



Rozkład porów powietrznych
DK8 Wolbórz-Polichno –2004

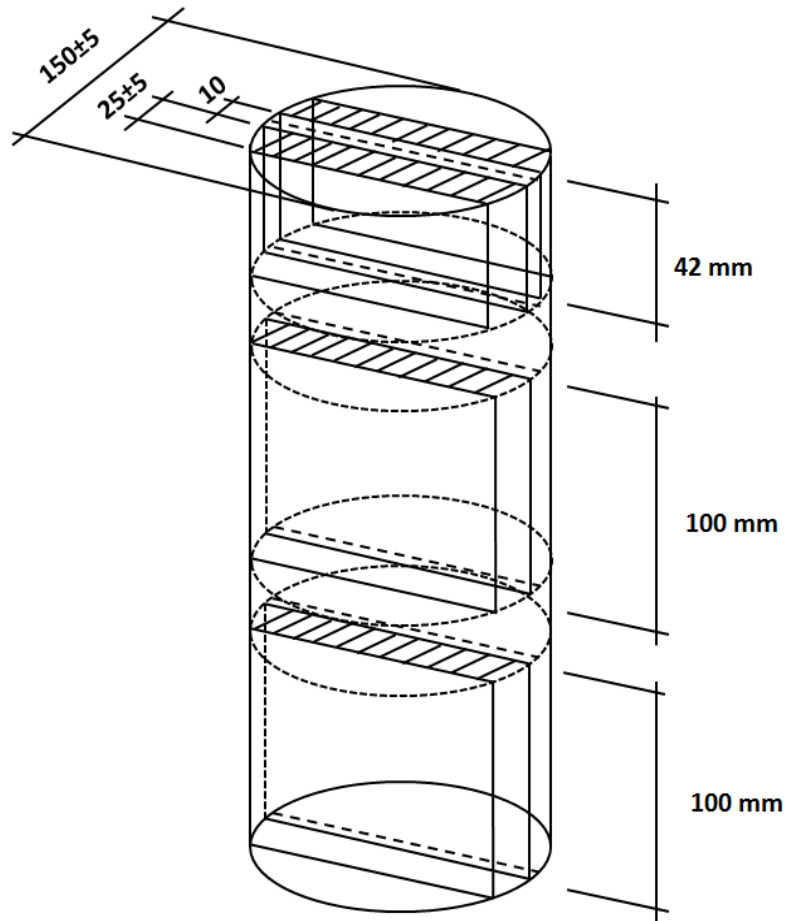
Diagnostyka A4 - 2004

} badania w
IPPT PAN

Trwałość i napowietrzenie w klasie XF4

- Właściwe napowietrzenie betonu i odpowiednio mały współczynnik w/c pozwalają na przewidywanie długoletniej odporności betonu na oddziaływanie mrozu i środków odladzających (na podstawie odwiertów).
- Wiarygodność pomiaru charakterystyki porów wg PN-EN 480-11:
 - doświadczenie w przygotowaniu zglądów mikroskopowych
 - doświadczenie w interpretacji wyników
- Zgodnie z ASTM C457 (2016):
powierzchnia właściwa porów (α) mieści się w granicach od 25 do 45 mm⁻¹
- Powierzchnia właściwa porów α sięgająca 60-100 mm⁻¹ świadczy o niewłaściwym przygotowaniu zglądu lub błędach pomiaru

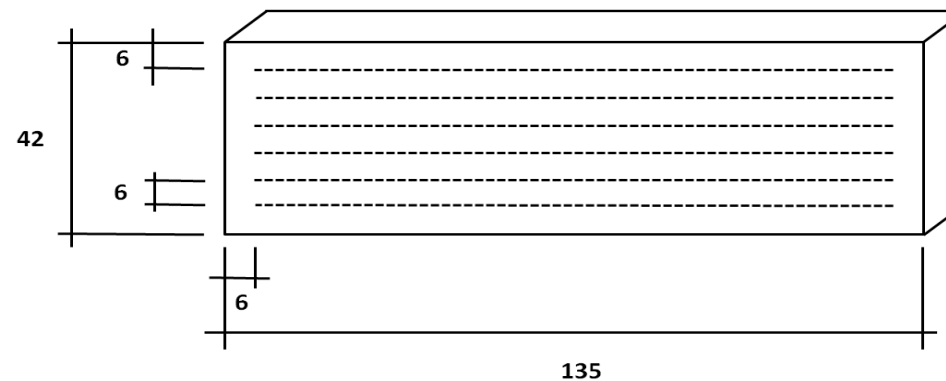
Modyfikacja procedury normowej PN-EN 480-11



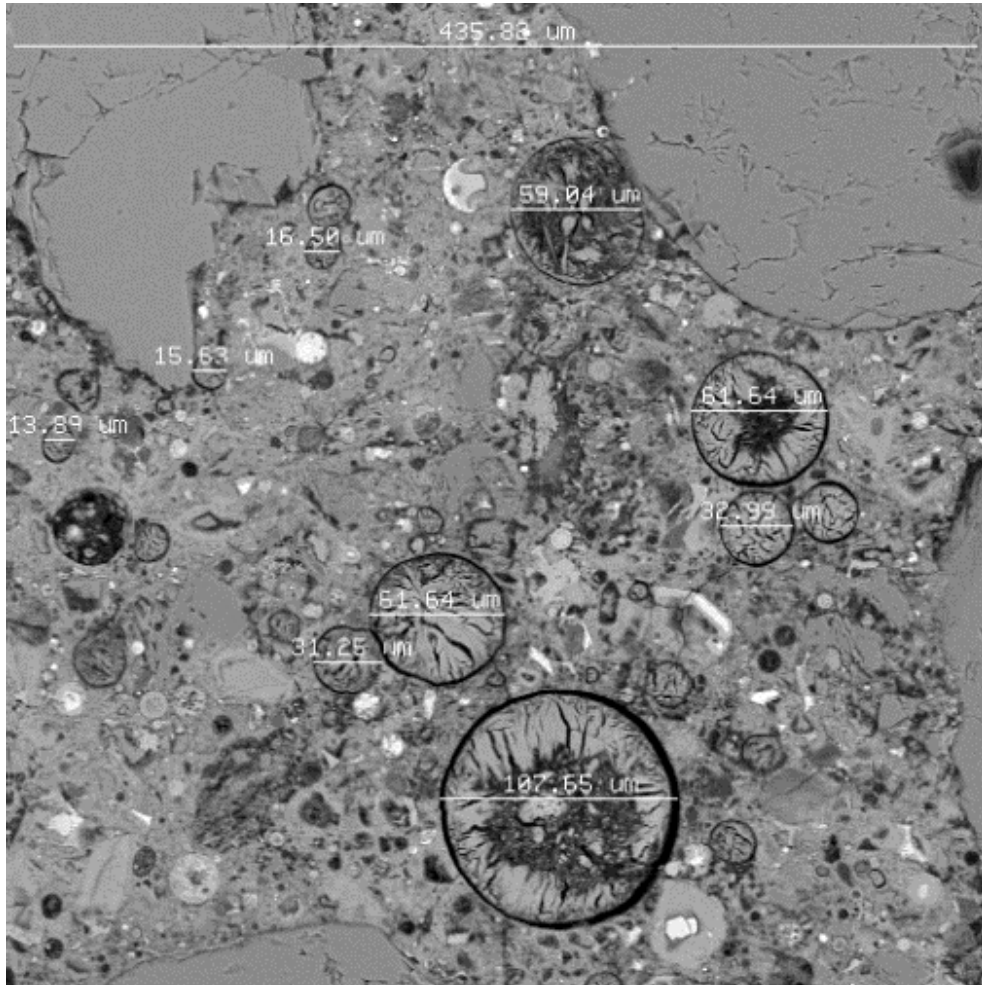
GDDKiA OST D - 05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego, Załącznik 3:

„Instrukcja wyznaczania charakterystyki porów powietrznych w odwiertach betonowych z nawierzchni dwuwarstwowej z eksponowanym kruszywem”

opracowana w IPPT PAN



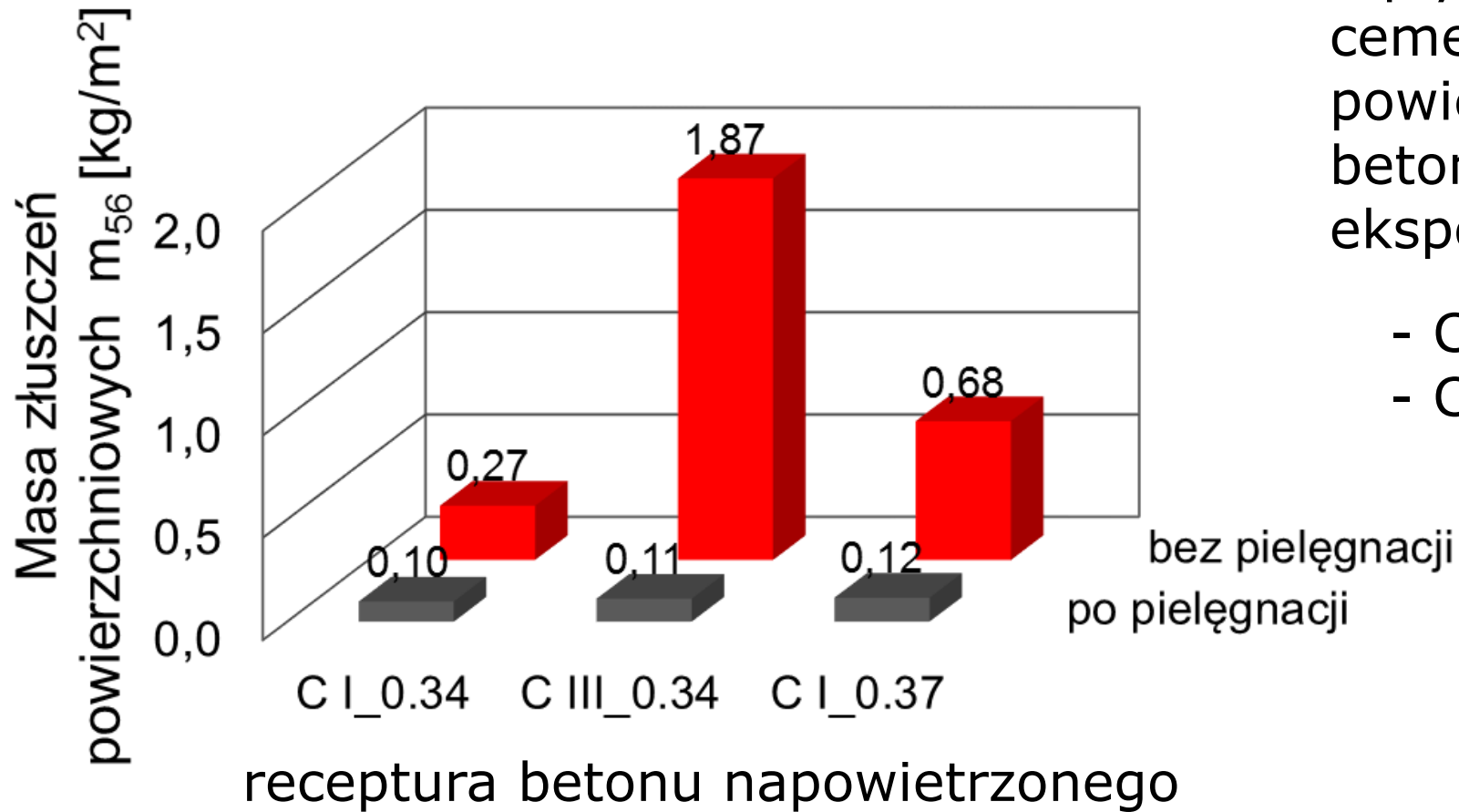
Efektywność napowietrzenia w klasie ekspozycji XF4



- Pory o małych średnicach zostają szybko wypełnione produktami hydratacji i przestają spełniać funkcję bufora przed nadmiernym ciśnieniem hydraulicznym
- Zgodnie z ASTM C457 (2016): nawet gdy wskaźnik rozmieszczenia porów jest właściwy, całkowita zawartość powietrza powinna być dostatecznie duża

$$A \geq 3,5\%$$

Odporność na złuszczenia powierzchniowe



Wpływ pielęgnacji i rodzaju cementu na odporność na powierzchniowe złuszczenie betonu w warstwie z eksponowanym kruszywem

- CEM I 42,5 N
- CEM III/A 42,5 N

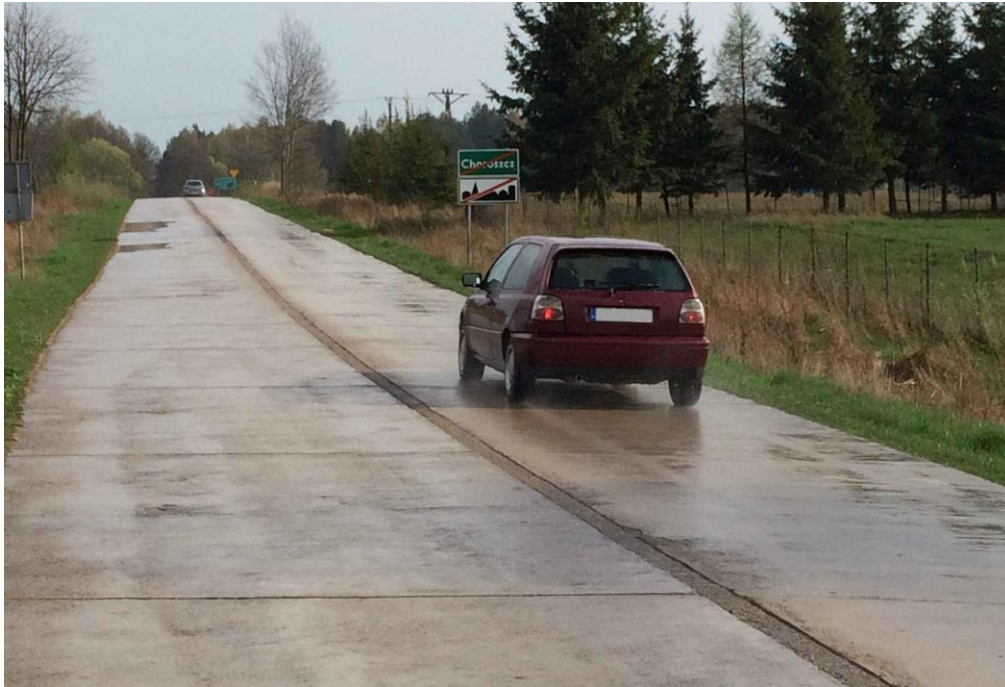
badania IPPT PAN

Aktualne wyzwania techniki

Autostrady z nawierzchnią betonową w Polsce – od początku XXI wieku

- ❑ Ocena stanu technicznego na półmetku (po 15 latach eksploatacji)
- ❑ Optymalizacja materiałowa:
 - cementy niskoklinkierowe
 - nowe kruszywa o właściwie rozpoznanych właściwościach
- ❑ Optymalizacja procesów technologicznych i kontroli in-situ:
 - sterowanie procesami układania, zagęszczania
 - automatyzacja procesów podlegających ocenie subiektywnej
 - bieżąca kontrola właściwości mieszanki, równości, makrotekstury

Przykłady nawierzchni z betonu



Nawierzchnia niedyblowana na drodze lokalnej k/Białegostoku po ponad 30 letniej eksploatacji



Nawierzchnia dyblowana na drodze ekspresowej KR6 po 15 letniej eksploatacji

Szczeliny w nawierzchniach dyblowanych



Uszkodzenia szczelin dylatacyjnych



Uszkodzenia nawierzchni betonowych w stanie Indiana, USA (strefa klimatu kontynentalnego mroźne zimy, dość gorące lata)

Możliwe przyczyny:

- błędy selekcji składników (uszkodzenia mrozowe, reakcja alkalia-kruszywo), nieskuteczność napowietrzenia, nadmiar wody
- niedostatki wykonawcze (pielęgnacji lub zagęszczania, czas nacinania, blokada szczelin, błędy wypełnienia)
- błędy projektowe (pominięte deformacje płyt, rozstaw szczelin, odwodnienie)
- agresywność środków odładzających (NaCl , CaCl_2 , także MgCl_2)

Źródło: J. Olek et al., ACI Spring Convention, Kansas City, MO, April 13, 2015

Drenaż w obszarze uszkodzonych szczelin



brak uszkodzeń



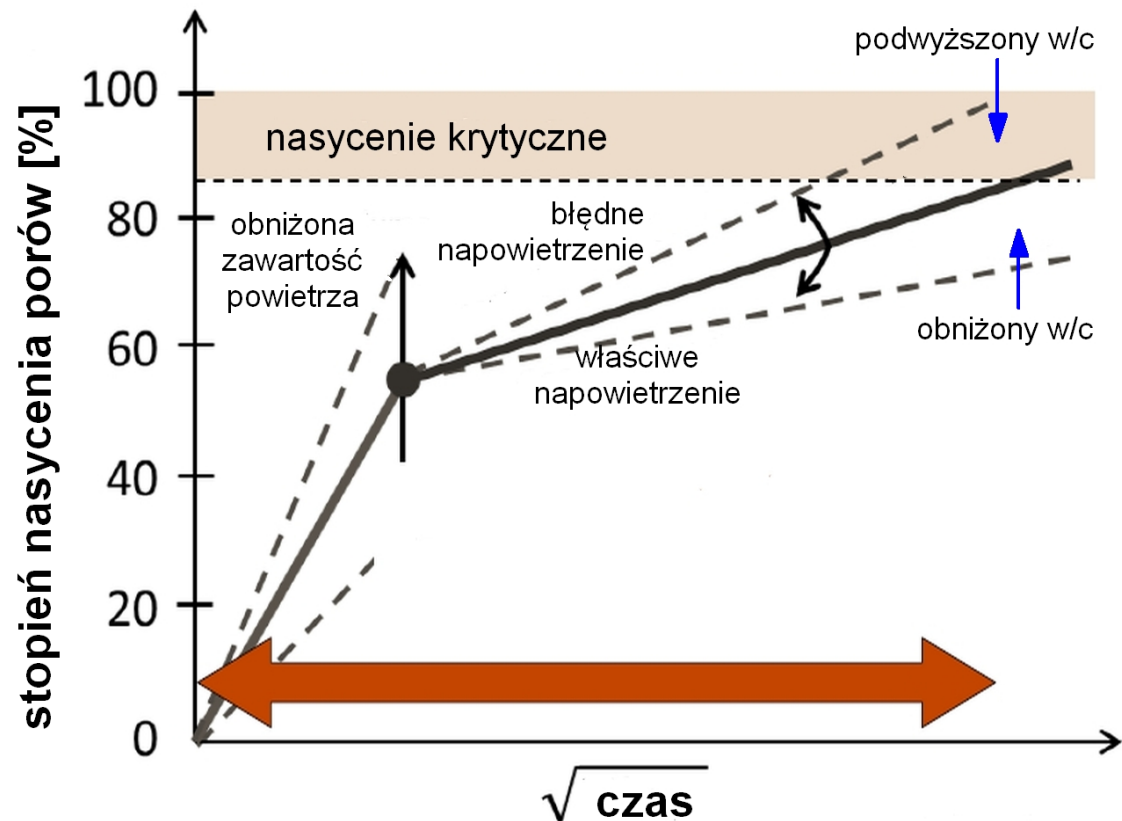
umiarkowane uszkodzenia



duże uszkodzenia

Źródło: Whiting, Panchmatia, Olek, Concrete pavement joint deterioration (FHWA/IN/JTRP-2016/02) Purdue University, 2016

Diagnostyka betonu w okolicy szczelin i w środku płyt



W okolicy szczelin:

- Wypełnienie pustek powietrznych produktami przedłużonej hydratacji cementu i reakcji z jonami Cl^-
→ redukcja efektywności systemu porów powietrznych
- Większa szybkość absorpcji wody
→ wysoki stopień nasycenia wodą

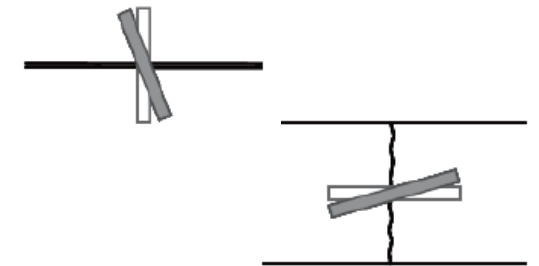
Poza szczelinami:

- Nieznaczne wypełnienie pustek powietrznych
- Lepszy drenaż wody pod płytą

Źródło: J.Weiss, Transportation Research Board 96th Annual Meeting, Washington 2017

Wpływ ułożenia dybli na funkcjonalność szczelin

Rodzaj odchyłki położenia dybla od położenia projektowanego	Odspojenie betonu	Spękania betonu	Redukcja współpracy płyt
odchyłka w płaszczyźnie poziomej	tak	tak	tak
odchyłka w płaszczyźnie pionowej	tak	tak	tak
przesunięcie poprzeczne dybla	—	—	tak
przesunięcie podłużne dybla	—	—	tak
przesunięcie pionowe środka dybla (względem środka płyty)	tak	—	tak



Dane oparte na doświadczeniach Amerykańskiego Stowarzyszenia Wykonawców Nawierzchni Betonowych (ACPA), 2018 rok

Wpływ błędnego ułożenia dybli na uszkodzenia nawierzchni w okolicy szczelin



Wskaźnik blokady szczeliny JS :

$$JS = 1 + \sum_{i=1}^n w_i$$

n – liczba dybli w pojedynczej szczelinie,

w_i – współczynnik wagowy dotyczący dybla i wg tabeli

Odchyłka całkowita pojedynczego dybla	Współczynnik wagowy
$ODC \leq 15 \text{ mm}$	0
$15 \text{ mm} < ODC \leq 20 \text{ mm}$	2
$20 \text{ mm} < ODC \leq 25 \text{ mm}$	4
$25 \text{ mm} < ODC \leq 38 \text{ mm}$	5
$38 \text{ mm} < ODC$	10

$JS \leq 5$ – bardzo małe ryzyko blokady ruchu szczeliny

$JS > 15$ – duże ryzyko blokady ruchu szczeliny

Źródło: Voigt, J. and E. Ferrebee. FHWA-HIF-16-021, 2016

Kontrola ułożenia dybli



Ocena faktycznego ułożenia dybli w warstwie nawierzchni możliwa dopiero od niedawna, dzięki pojawieniu się odpowiednich urządzeń skanujących i wdrożeniu ich do diagnostyki nawierzchni

- MIT Scan2-BT - urządzenie działające na zasadzie indukcji magnetycznej
- Pomiar - zgodnie z ASTM E3013

Graniczne odchyłki i przesunięcia dybli w szczelinie:

- Wytyczne amerykańskie ACPA
- Wytyczne niemieckie

Wpływ błędów ułożenia dybli na ich efektywność w szczelinie → określenie równoważnej średnicy dybla

Amerykańskie specyfikacje funkcjonalne

Performance Engineered Concrete Pavement Mixtures - AASHTO PP 84-17
(„Superpave” dla nawierzchni betonowych)

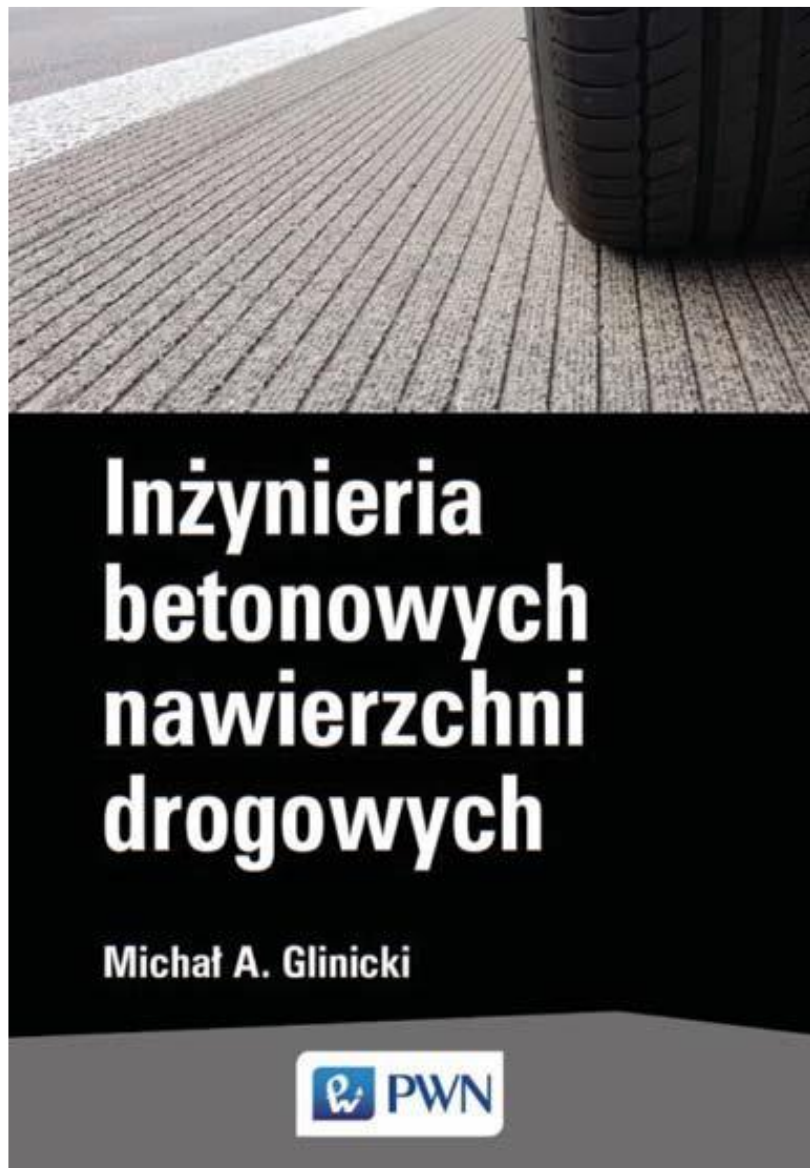
Wprowadza się wymagania m.in.:

- Charakterystyka porów w mieszance betonowej (metoda sekwencyjno-ciśnieniowa: liczba SAM)
- Zawartość wody w mieszance na budowie (oznaczana w mikrofalówce)
- Skurcz przy wysychaniu
- Rezystywność betonu jako wskaźnik szczelności
- Pomiar kalorymetryczny do określenia kinetyki narastania wytrzymałości wczesnej

**Jednorodność
mieszanki
betonowej**

Uwagi końcowe

- ❑ Szczeliny w nawierzchniach - miejsca podatne na uszkodzenia
- ❑ Zainicjowane uszkodzenia betonu w okolicach szczelin mogą się szybko rozwijać z powodu podwyższonego stopnia nasycenia wodą, oddziaływania mrozu i soli odladzających, deformacji płyt.
- ❑ Kryteria optymalizacji składu betonu i technologii wbudowania:
 - Stabilność właściwości kruszywa
 - Stabilność napowietrzenia betonu i współczynnika w/c oraz stałość urabialności
 - Skuteczność pielęgnacji (zwłaszcza przy zastosowaniu CEM II)
 - Kontrolowane położenie dybli i kotew
 - Kontrolowana równość podłużna



Dziękuję za uwagę

Opracowano w ramach projektu

REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRAJOWYCH KRUSZYW

Akronim Projektu: OT1-1C/ICMB-IPPT

Numer umowy: DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016