



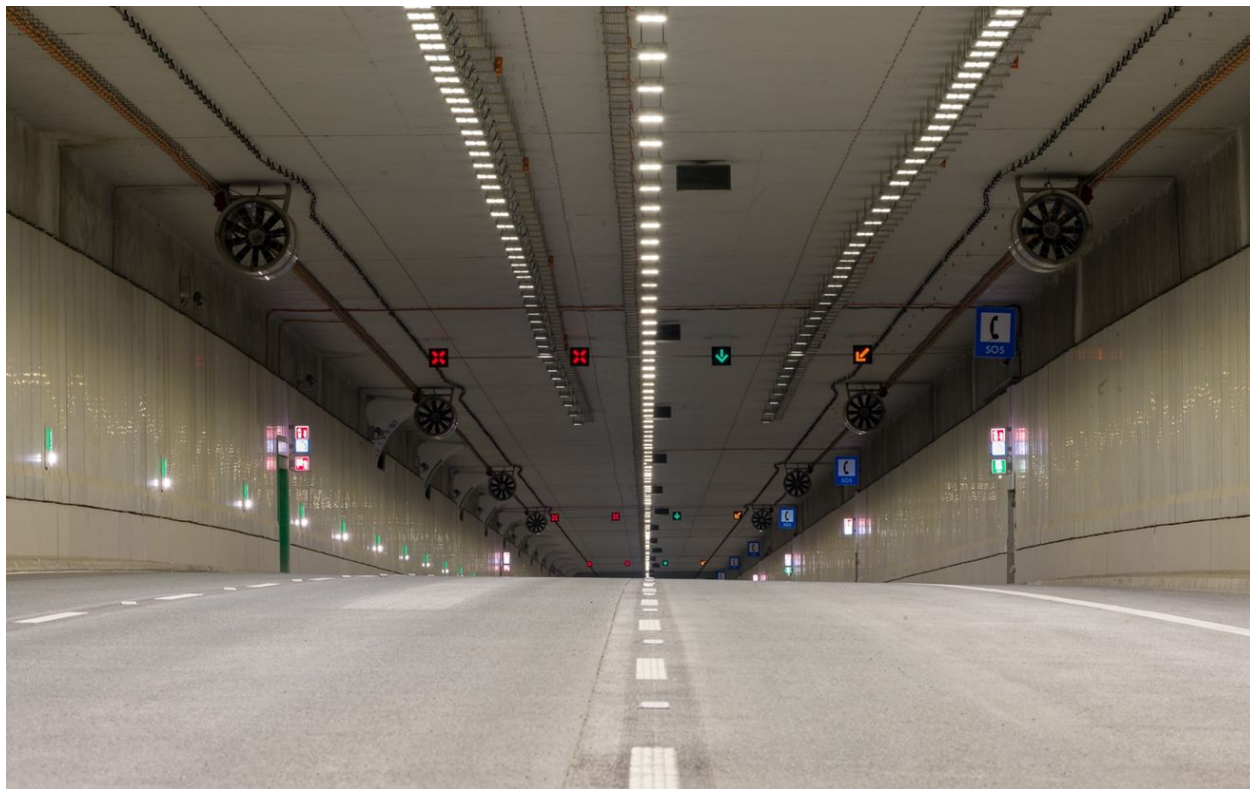
**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ
BUDOWNICTWA,
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ARCHITEKTURY**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

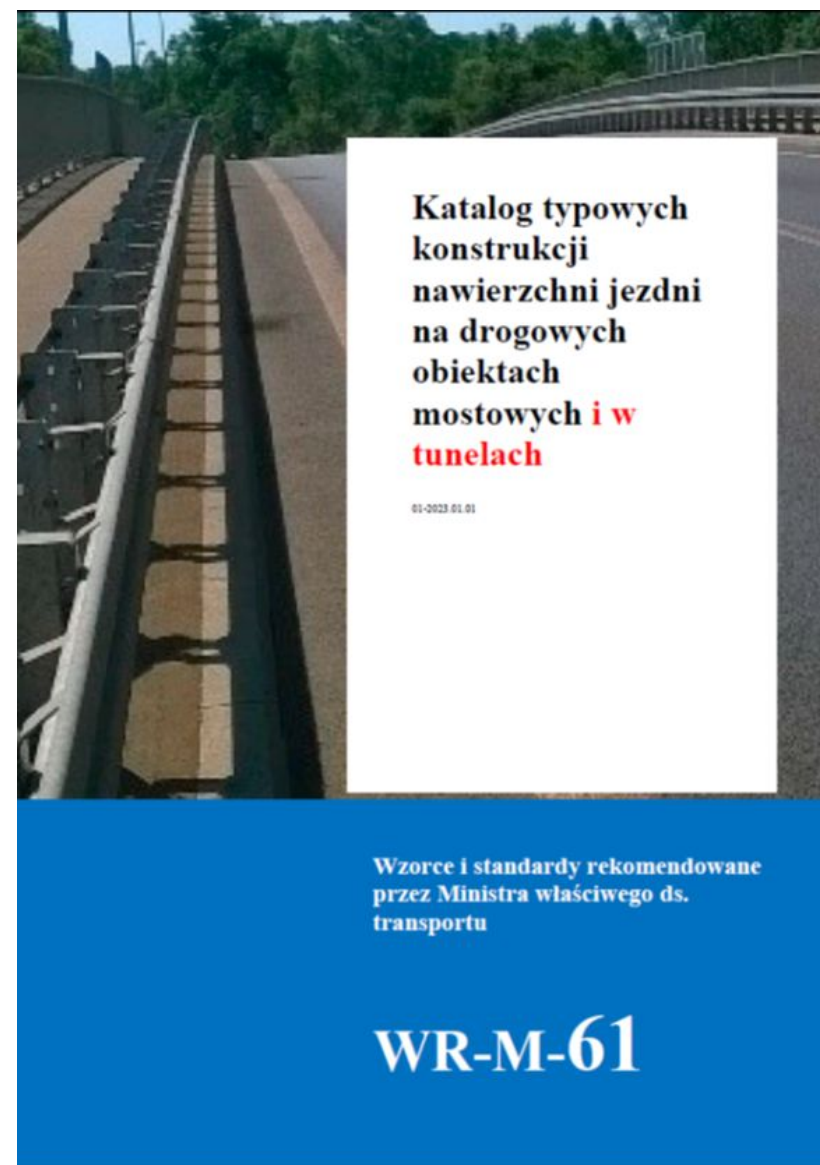
Nowy katalog nawierzchni w tunelach drogowych

Prof. dr hab. inż. Tomasz SIWOWSKI, PRz
Prof. dr hab. inż. Antoni SZYDŁO, PWr



Zakres katalogu

1. **Przedmiot i zakres stosowania**
2. **Wykaz opracowań powołanych**
3. **Definicje i objaśnienia skrótów**
4. **Obciążenie projektowe i kategoria ruchu**
5. **Procedura wyboru typowej nawierzchni mostowej i tunelowej**
6. **Typowe hydroizolacje i nawierzchnie obiektów mostowych i tuneli**
7. **Wymagania materiałowe i technologiczne dla hydroizolacji**
8. **Wymagania materiałowe i technologiczne dla nawierzchni asfaltowych**
9. **Wymagania materiałowe i technologiczne dla nawierzchni betonowych**
10. **Obliczenia asfaltowej nawierzchni mostowej**
11. **Obliczenia betonowej nawierzchni mostowej**
12. **Obliczenia betonowej nawierzchni tunelowej**



Celowość uzupełnienia katalogu nawierzchni

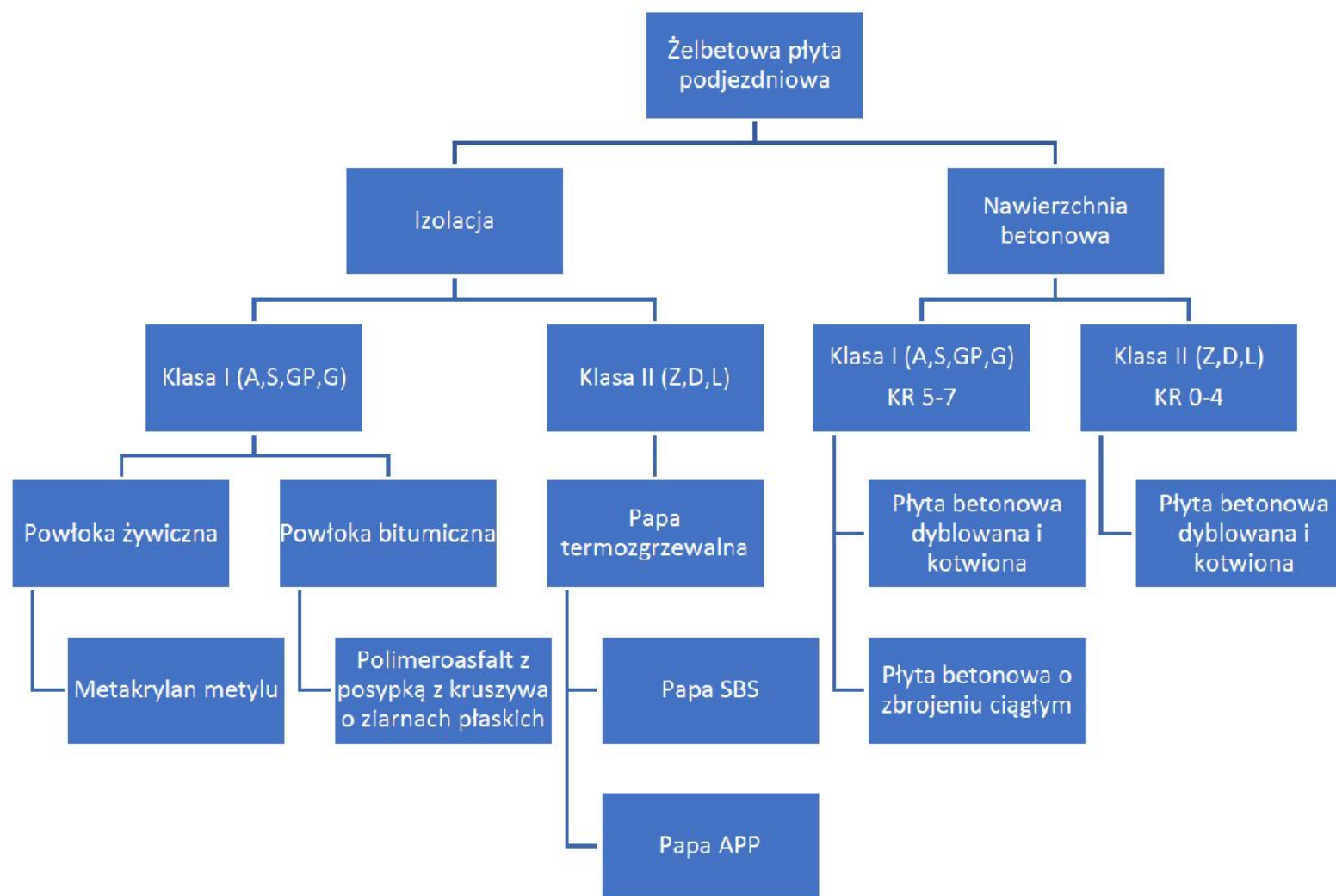
- Wymagania GDDKiA – **nawierzchnie betonowe w tunelach** (trwałość, odporność poż., jasność itd.)
- Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych (KTKNS) **nie zawsze może i/lub powinien być stosowany** w tunelach (np. w przypadku płyt podjezdniowych w tunelach TBM)
- Nawierzchnie betonowe na płytach żelbetowych (pomostowych, podjezdniowych) **nie były dotychczas stosowane** w Polsce (pilotaż: 5 obiektów mostowych na S-7)
- Brak **sprawdzonych rozwiązań typowych** nawierzchni betonowych na płytach żelbetowych
- Brak **zasad projektowania** nawierzchni betonowych na płytach żelbetowych

Podstawowe założenia do katalogu

- Katalog **opiera się na ogólnych założeniach** zawartych w:
 - Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych oraz
 - Eurokodach konstrukcyjnych w zakresie obiektów mostowych.
- Ogólne zasady przyjmowania **obciążeń i oddziaływań** stosowanych w projektowaniu nawierzchni betonowej w tunelu oparte są na wymaganiach normy **PN-EN 1991-2**.
- Ruch projektowy właściwy dla typowych warunków ruchu drogowego jest klasyfikowany przez określenie kategorii ruchu w zakresie od **KR0 do KR7** zgodnie z katalogiem **WR-D-63**.

- Rodzaj podłoża w tunelu – **betonowa płyta podjezdniowa**
- Rodzaj materiału nawierzchni – **beton**
- Kategoria ruchu drogowego – kategorie KR 0 – KR 7
- Klasa obciążenia płyty tunelu – klasa I lub II

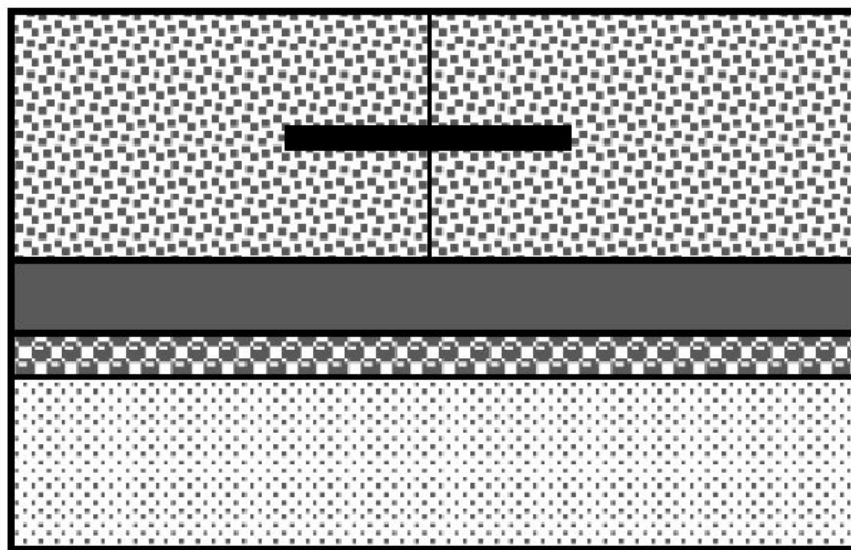
Procedura doboru nawierzchni w tunelu



Typowe nawierzchnie w tunelu

Schemat i opis warstw nawierzchni

Typ IA - nawierzchnia betonowa jednowarstwowa, dyblowana i kotwiona



warstwa z betonu cementowego C35/45 – grubości i wykończenie górnej powierzchni jak na odcinku przed obiektem

warstwa poslizgowa, MA 8 PmB 25/55-60 lub 25/55-80
lub PmB 45/80-80, gr. 3 cm

hydroizolacja

żelbetowa płyta podjezdniowa

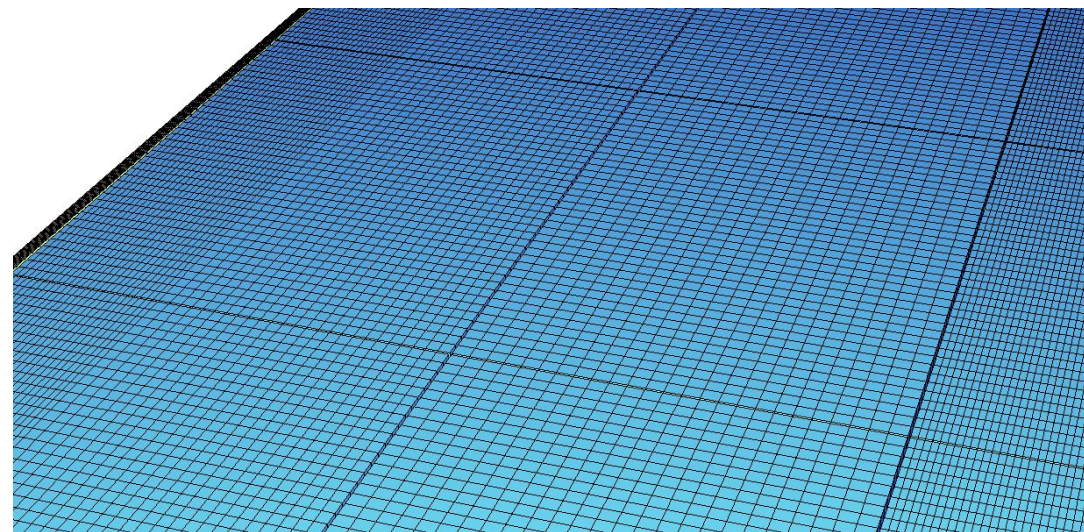
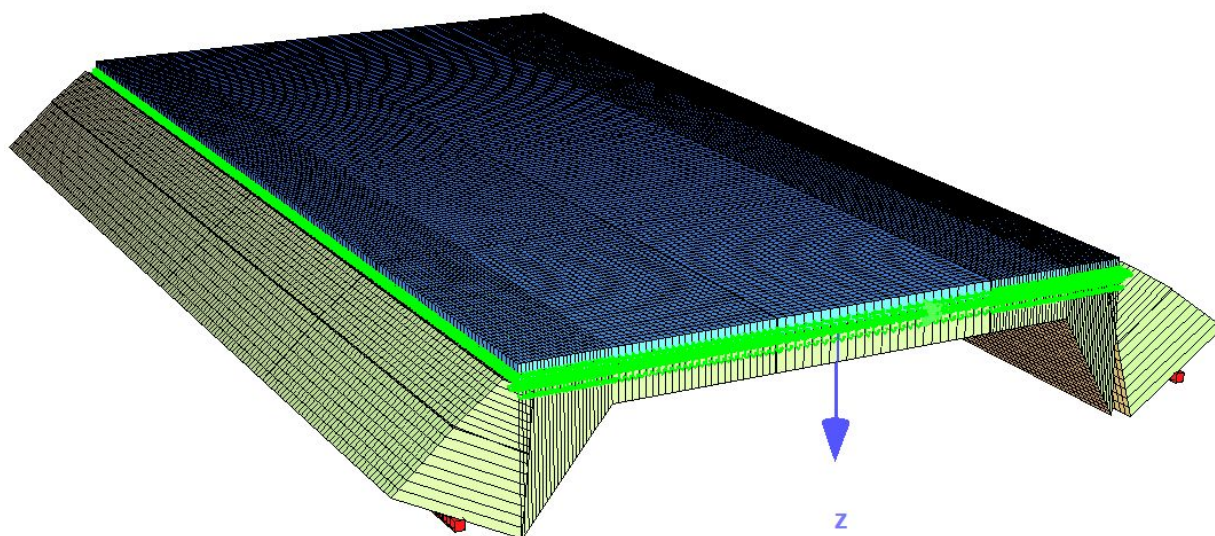
Obliczenia **betonowej** nawierzchni w tunelu - założenia

- Procedura jest oparta na zasadach przyjętych w odpowiednich **Eurokodach** oraz jest kompatybilna z procedurami przyjętymi w **Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych**.
- Do obliczeń przyjęto:
 - sprawdzenie **trwałości zmęczeniowej** - obciążenie ruchome pojazdami drogowymi o nacisku na oś 11,5 tony (115 kN);
 - sprawdzenie **nośności doraźnej** - obciążenie ruchome mostów drogowych modelem LM-1 według normy PN-EN 1991-2 dla klasy I.
- Konstrukcja nawierzchni została tak zaprojektowana, aby jej **trwałość zmęczeniowa** nie została wyczerpana w okresie eksploatacji krótszym niż 30 lat.

Obciążenia i oddziaływania

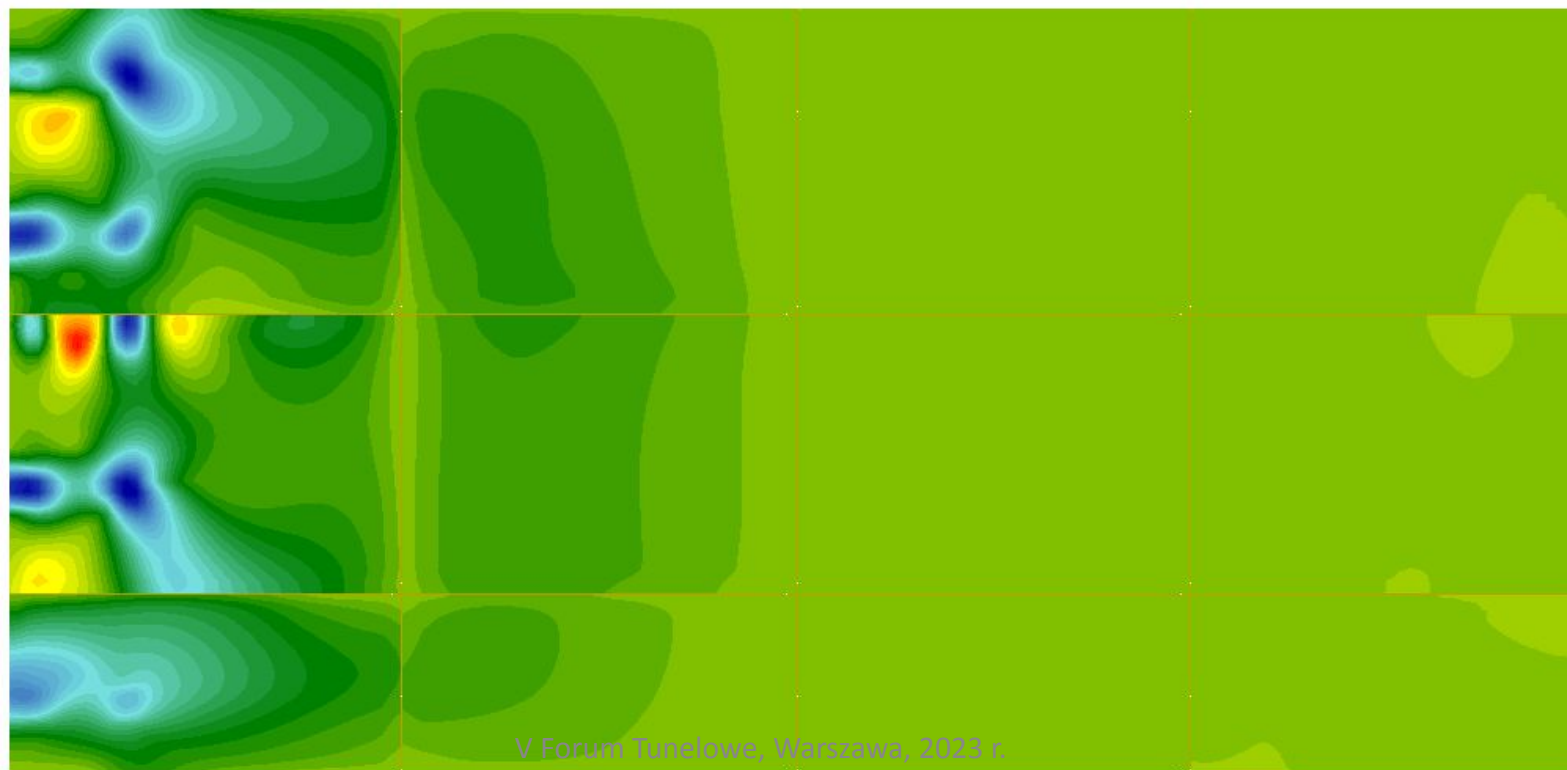
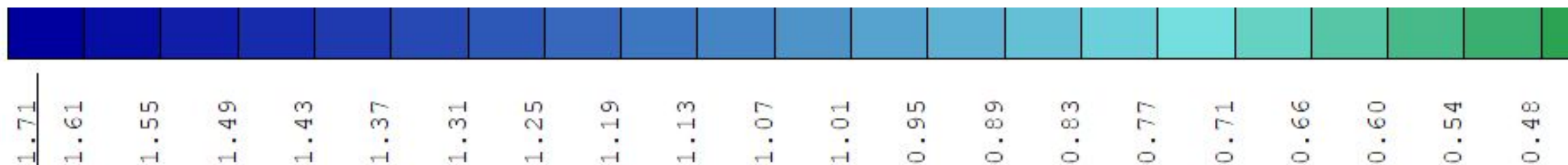
- ciężar własny konstrukcji i wyposażenia wg PN-EN 1991-1-1;
- obciążenie pionowe ruchome (**trwałość zmęczeniowa**) – pojazd drogowy o nacisku 115 kN/oś wg KTKNS;
- obciążenia pionowe ruchome (**nośność doraźna**) – model LM1 dla klasy I wg PN-EN 1991-2;
- obciążenia poziome od hamowania i przyśpieszania wg PN-EN 1991-2;
- oddziaływania termiczne: $\pm 10^{\circ}\text{C}$ (zmiana po wysokości przekroju) wg KTKNS;
- nośność doraźną sprawdzono dla kombinacji obliczeniowej wg PN-EN 1990 (SGN), trwałość zmęczeniową dla obciążeń charakterystycznych (ND);
- w analizie uwzględniano naprężenia **w obu kierunkach głównych** oraz naprężenia zastępcze;

Model numeryczny podłoża i nawierzchni betonowej

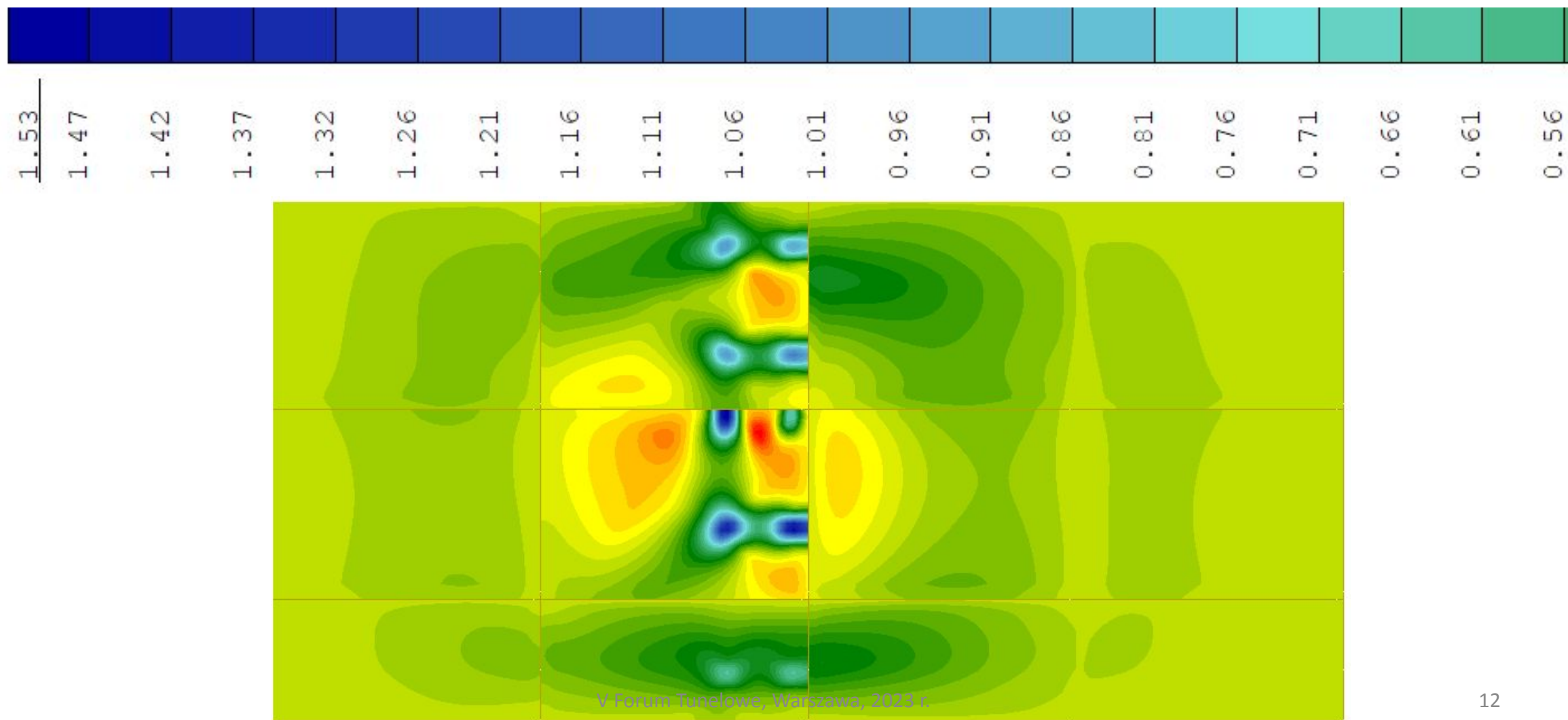


- betonowe konstrukcje nawierzchni, ścian obudowy oraz płyty podjezdniowej zamodelowano za pomocą **dwuwymiarowych elementów płytowych typu *quad***;
- elementy nawierzchni i płyty połączono za pomocą **kontaktowych elementów sprężynowych typu *spri*** o parametrach warstwy poślizgowej (mieszanki SMA-MA o uziarnieniu do 8 mm);
- w modelu nawierzchni wprowadzono **szczeliny skurczowe** w kierunku poprzecznym i w kierunku podłużnym;
- odwzorowano pełną **sztywność płyty podjezdniowej**, modelując jej rzeczywiste wymiary i uwzględniając rzeczywiste parametry materiałowe;

Wyniki – naprężenia w betonie, włókna dolne obciążenie mostowe LM1 (przy krawędzi)

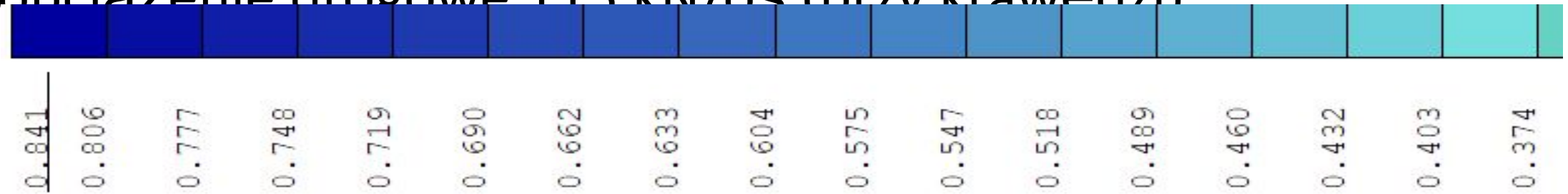


Wyniki – naprężenia w betonie, włókna dolne obciążenie mostowe LM1 (w przęśle)



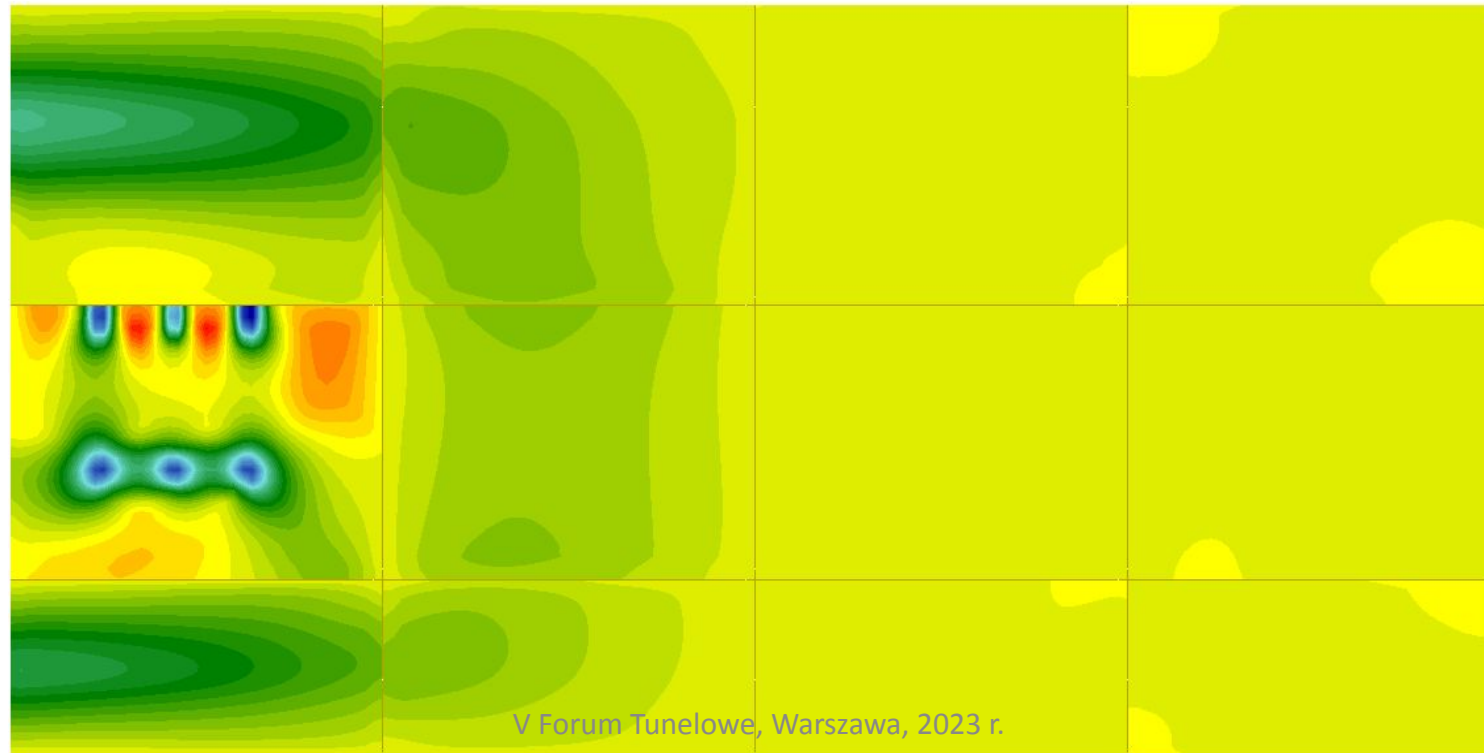
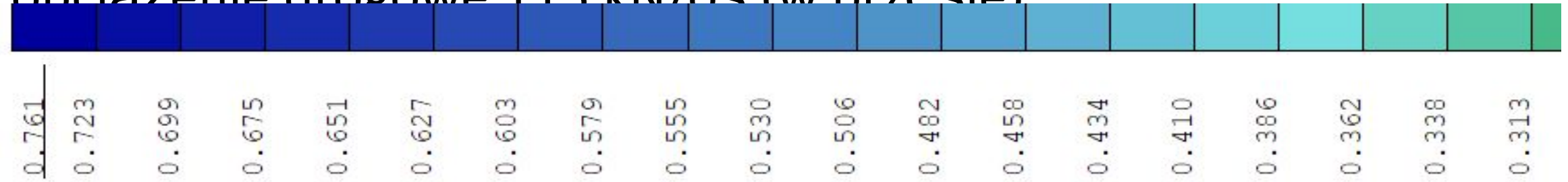
Wyniki – naprężenia w betonie, włókna dolne

obciążenie drogowe 115 kN/oś (przy krawędzi)



Wyniki – naprężenia w betonie, włókna dolne

obciążenie drogowe 115 kN/oś (w prześle)

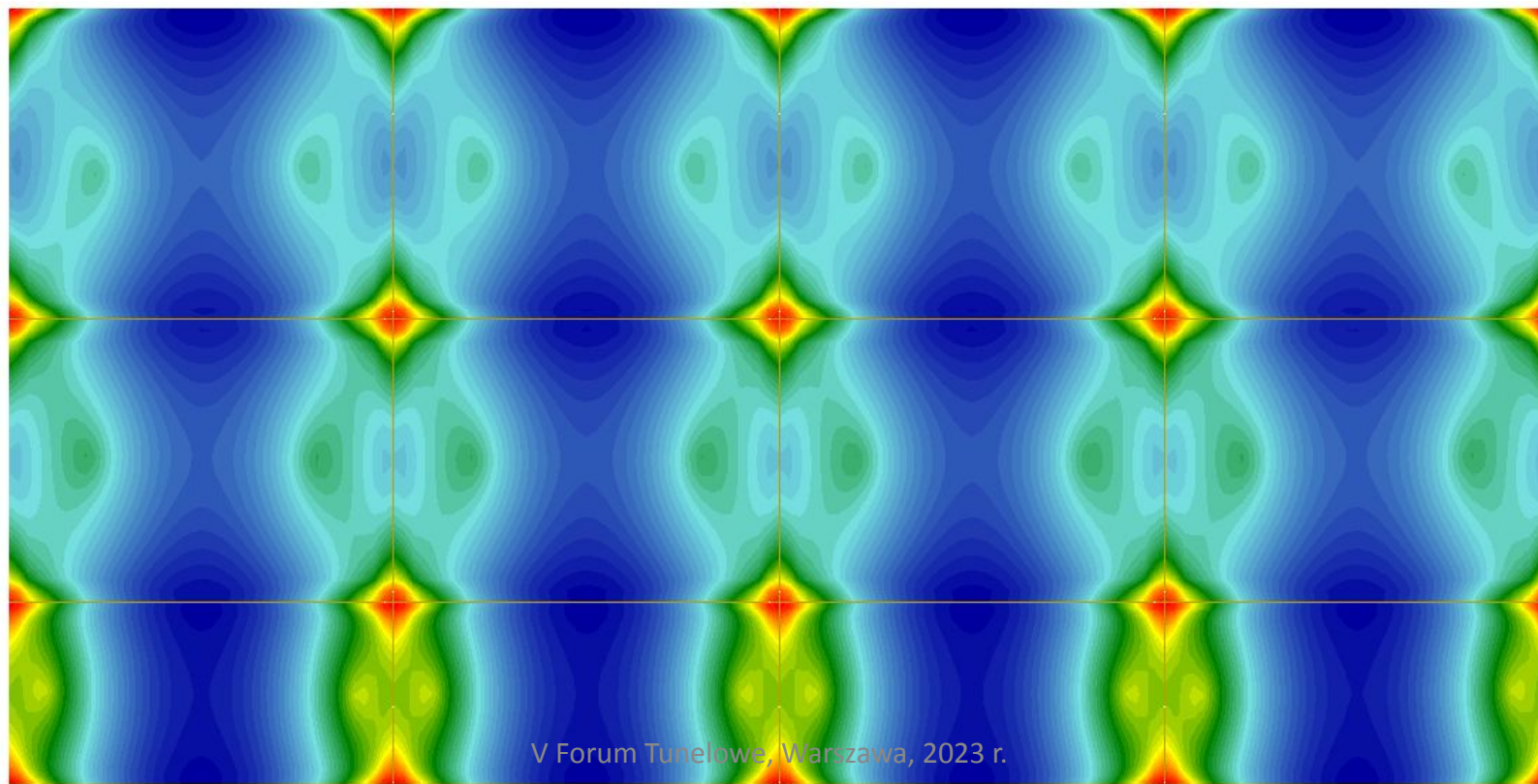
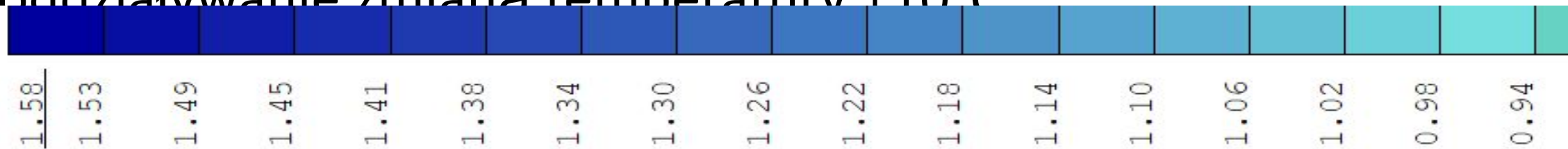


V Forum Tunelowe, Warszawa, 2023 r.



Wyniki – naprężenia w betonie, włókna dolne

oddziaływanie zmiana temperatury +10°C



V Forum Tunelowe, Warszawa, 2023 r.

Kryteria obliczeniowe - trwałość zmęczeniowa

$$\sigma_t \leq \sigma_{dop} = f_{ct,fl} \cdot (1 - 0,078 \log N)$$

- σ_t – główne **naprężenia rozciągające** od kombinacji charakterystycznej dla decydujących włókien górnych lub dolnych nawierzchni betonowej,
- σ_{dop} – naprężenia **dopuszczalne w betonie** nawierzchni, MPa,
- $f_{ct,fl}$ – charakterystyczna **wytrzymałość betonu na rozciąganie** przy zginaniu określona według PN-EN 12390-5, przyjęta według katalogu,
- N – powtarzalna liczba obciążeń osi standardowych o obciążeniu 115 kN.

Ocena trwałości zmęczeniowej wg KTKNS

Rodzaj obciążenia ruchomego	Przekrój	Naprężenia charakterystyczne od obciążeń ruchomych [MPa]	Naprężenie dopuszczalne dla betonu [MPa]	Wykorzystanie materiału [%]
Mostowe (model LM1)	Przęstowy	1,62	2,24	72,3
	Krawędziowy	1,81		80,8
Drogowe (115 kN/oś)	Przęstowy	0,76		33,9
	Krawędziowy	0,84		37,5

Kryteria obliczeniowe - **nośność doraźna**

$$\sigma_{td} < \alpha_{ct} \cdot f_{ct,fl} / \gamma_c$$

- σ_{td} – główne **naprężenia rozciągające** od kombinacji obliczeniowej dla decydujących włókien górnych lub dolnych nawierzchni betonowej,
- $\alpha_{ct} = 1,0$ – współczynnik uwzględniający **efekty długotrwałe** oraz niekorzystne wpływy powstałe w wyniku przyłożenia obciążenia,
- $f_{ct,fl} = 5,5$ MPa – charakterystyczna **wytrzymałość betonu na rozciąganie** przy zginaniu określona według normy PN-EN 12390-5, przyjęta według katalogu,
- $\gamma_c = 1,4$ – współczynnik częściowy betonu zarówno w sytuacji trwałej, jak i przejściowej.

Ocena **nośności doraźnej** wg PN-EN-1991-2

Rodzaj obciążenia ruchomego	Przekrój	Naprężenia [MPa]			Wytrzymałość obliczeniowa f_{ctm}/γ_c [MPa]	Wykorzystanie materiału [%]
		od obciążeń ruchomych [MPa]	od temperatury [MPa]	od kombinacji obliczeniowej [MPa]		
Mostowe (model LM1 – TS+UDL)	Przęsłowy	$1,53+0,09=1,62$	1,58	3,609	$5,5/1,4=3,929$	91,9
	Krawędziowy	$1,71+0,10=1,81$	1,46	3,758		95,7
Drogowe (115 kN/oś)	Przęsłowy	0,76	1,58	2,448		62,3
	Krawędziowy	0,84	1,46	2,448		62,3



Wnioski z obliczeń nawierzchni betonowej

- Zaprojektowana nawierzchnia w tunelu **spełnia wymagania normowe** w zakresie nośności doraźnej i trwałości zmęczeniowej pod obciążeniem mostowym (LM1) i drogowym (115 kN/oś).
- Obliczenia wykazały maksymalne **doraźne wykorzystanie betonu** na poziomie:
 - 95,7% dla obciążenia mostowego LM-1;
 - 62,3% dla obciążenia drogowego 115 kN/oś.
- Obliczenia wykazały maksymalne wykorzystanie **trwałości zmęczeniowej betonu** na poziomie:
 - 80,8% dla obciążenia mostowego LM-1;
 - 37,5% dla obciążenia drogowego 115 kN/oś.

Podsumowanie

- Nowy katalog jest kolejnym elementem zbioru **Wzorców i Standardów w drogownictwie (WiS)**, rekomendowanych do stosowania przez Ministra Infrastruktury.
- W katalogu zaproponowano **zunifikowana rozwiązania typowe**, stosowane na **płytcie podjezdniowej** w tunelach drogowych.
- Dyskusyjne jest stosowanie **obciążeń mostowych i warunków nośności doraźnej** (przewidzianych dla projektowania elementów konstrukcyjnych) do projektowania nawierzchni betonowej.
- W przypadku projektowania nawierzchni **tylko na obciążenia drogowe i trwałość zmęczeniową** (zgodnie z KTKNS) możliwa jest **optymalizacja grubości nawierzchni** na sztywnej płycie podjezdniowej w tunelu.
- Możliwe jest stosowanie **innych rodzajów nawierzchni betonowych** na płytach podjezdniowych w tunelach drogowych (np. proponowanych w Katalogu Typowych Nawierzchni na Obiektach Mostowych, 2022).



Dziękuję za uwagę

