

Ocena stanu nawierzchni dróg samorządowych – od pomiaru do wiarygodnej interpretacji

Jacek Sudyka

Kierownik Pracowni Diagnostyki Konstrukcji Drogowych

Śląskie Forum Drogownictwa, 21 kwietnia 2026 r., Wisła



Wytyczne diagnostyki stanu technicznego nawierzchni dla dróg wojewódzkich (WDSN)

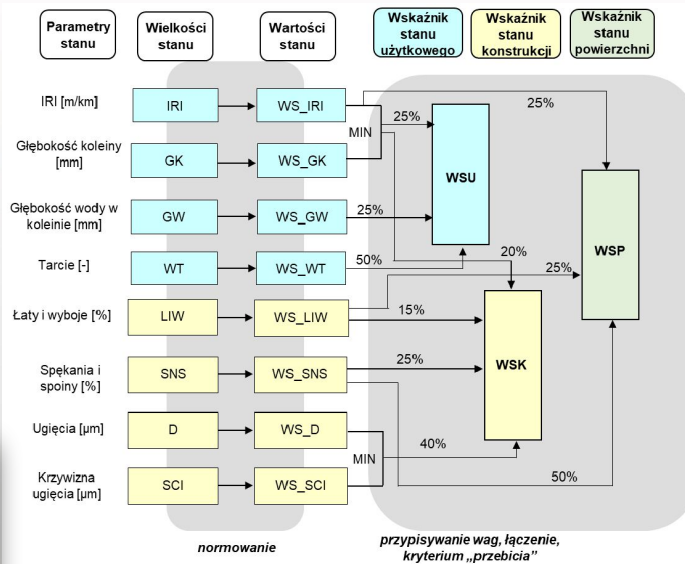
- uszkodzenia powierzchniowe,
- równości,
- współczynnik tarcia,
- nośność.

Szybka ocena całej sieci

Wsparcie procesu decyzyjnego



Wytyczne WDSN, 2018



Wytyczne WDSN, 2018

Stan powierzchni to nie zawsze nośność konstrukcji

- uszkodzenia powierzchniowe nie zawsze pokazują rzeczywistą kondycję konstrukcji.



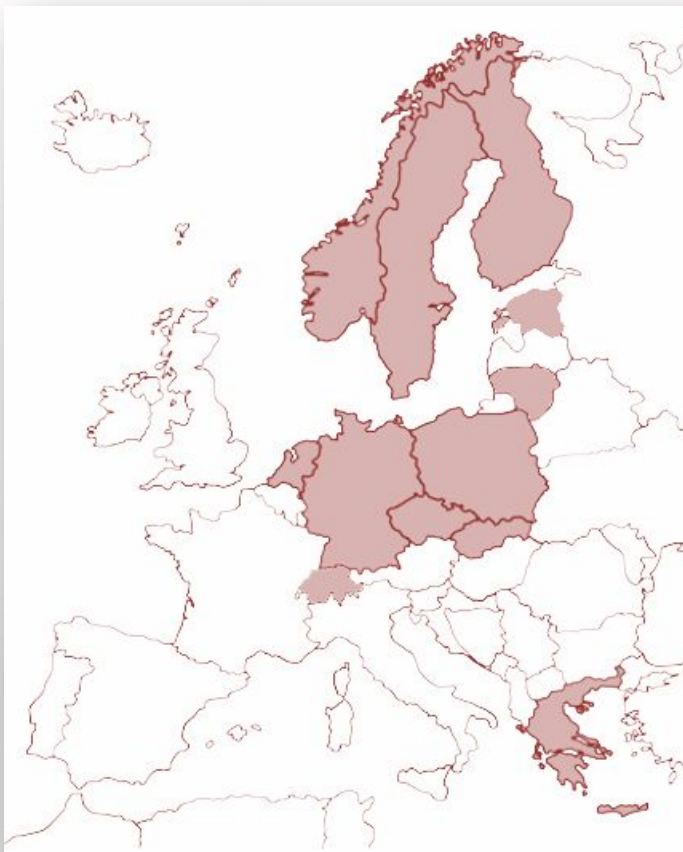
TSD – szybka diagnostyka nośności na poziomie sieci:

- pełne pokrycie sieci drogowej,
- identyfikacja zmian nośności przed pojawieniem się objawów,
- precyzyjna detekcja zmian w czasie.

Jeden przejazd TSD, wiele informacji:

- pomiar ciągły, obciążenie nominalne 10 ton na oś, 11 czujników laserowych,
- georadar z anteną 2 GHz typu horn,
- skaner laserowy LCMS, kamera ROW.





- zrealizowano łącznie ponad 30 projektów obejmujących wdrożenia, badania i rutynowe pomiary sieci drogowych EU
- wykonano łącznie ponad 50 000 km pomiarów ugięć, w tym od lat **rutynowe pomiary dla Zarządów Dróg Wojewódzkich w Katowicach, Olsztynie i Wrocławiu**

Korekta temperaturowa ugięć

- wynik pomiaru nośności zależy od temperatury warstw asfaltowych,
- w ciągu dnia temperatura może się silnie zmieniać,
- w TSD nie da się rutynowo mierzyć temperatury wewnątrz warstwy podczas przejazdu.**

BELLS

$$T_d = \beta_1 + \beta_2 * IR + \{\log(d) - 1.25\} \{\beta_3 * IR + \beta_4 * T(1\text{-day}) + \beta_5 * \sin(hr_{18} - 15.5)\} + \beta_6 * IR * \sin(hr_{18} - 13.5)$$

nadmiarowa zależność od temperatury powierzchni IR

Estymacja temperatury warstwy asfaltowej z wykorzystaniem ML

- baza danych: temperatury rejestrowane w trakcie pomiarów FWD,
- wejścia modeli BELLS i MARS:
IR, T(1-day), pora dnia,
- wejścia modelu XGB:
IR, T_{air}, T(1-day), pora dnia,
- wynik: temperatura warstwy asfaltowej T_d na głębokości 120 mm.

- BELLS3: $R^2 = 82\%$, RMSE = 2.3°C,
- BELLS_MNK: $R^2 = 83\%$, RMSE = 2.1°C,
- MARS: $R^2 = 87\%$, RMSE = 1.84°C,
- XGB: $R^2 = 96\%$, RMSE = 0.61°C.

MNK - Metoda najmniejszych kwadratów (MNK)

MARS-Multivariate Adaptive Regression Splines

Wielozmienna regresja adaptacyjna z użyciem funkcji sklepanych

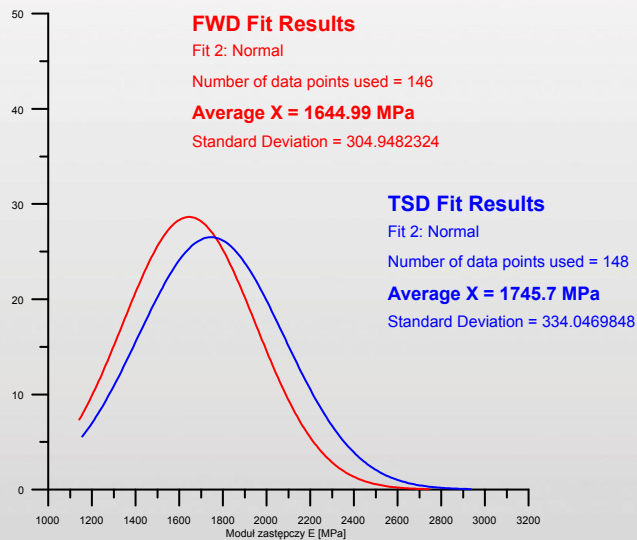
XGB-Gradient Boosted Trees XGBoost

Drzewa decyzyjne z wykorzystaniem wzmocnienia gradientowego

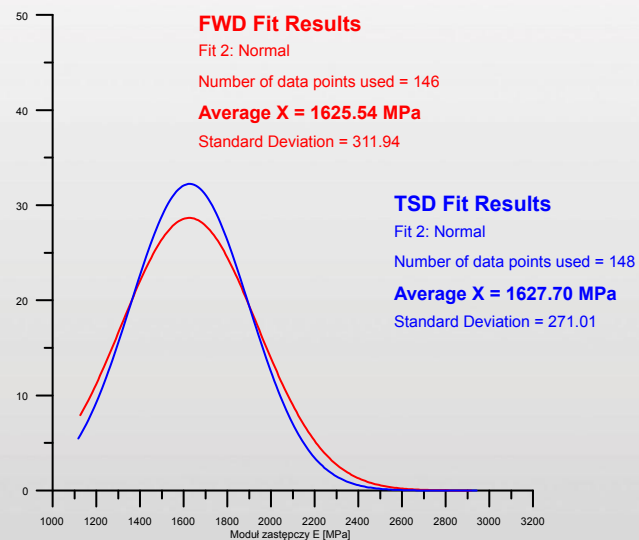
RMSE-Root Mean Square Error

Pierwiastek błędu średniokwadratowego

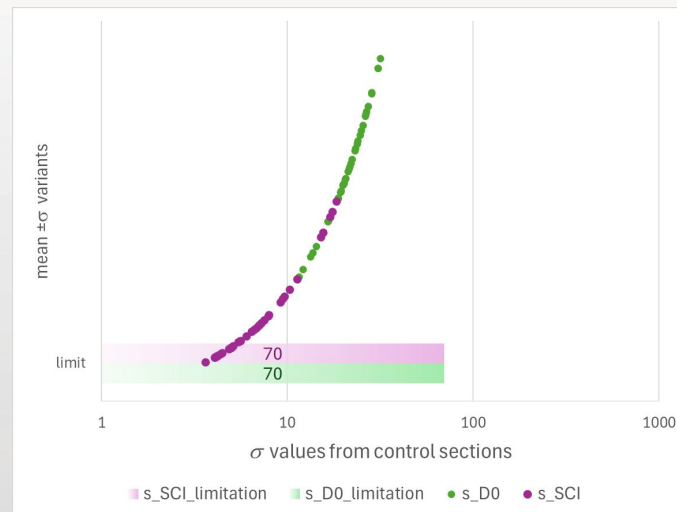
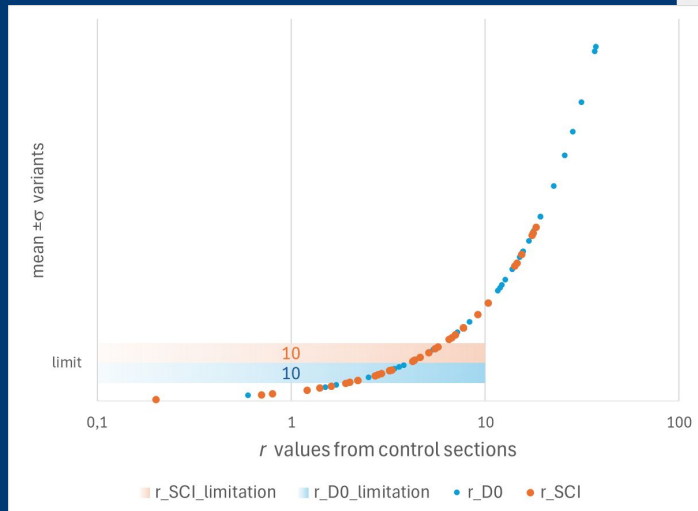
BELLS



XGBoost



Samokontrola w pomiarach ugięć w ramach WDSN





**INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW**
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

1955 - 2025

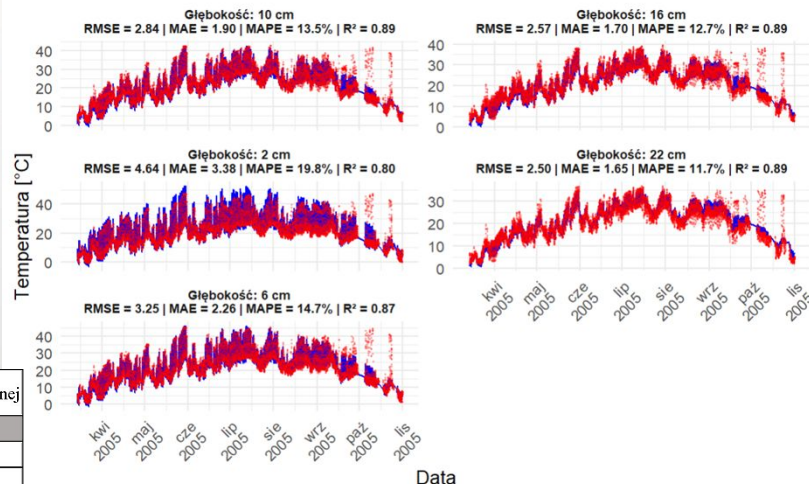
Jacek Sudyka
jacek.sudyka@ibdim.edu.pl



Projekt opierał się na dwóch klasach modeli: rekurencyjnych sieciach neuronowych (RNN) z warstwami LSTM oraz gradientowych modelach drzew decyzyjnych (XGBoost).

Zmienna	Typ skali	N ważnych	% N	Liczba odstających	Procent odstających	Jakość zmiennej
wind speed	Ilościowy	9814	93,2	1	0,01	Odstające
wind direction	Ilościowy	9814	93,2	0	0	OK
humidity	Ilościowy	9814	93,2	0	0	OK
temp_300cm	Ilościowy	9814	93,2	0	0	Nadmiarowe
temp_20cm	Ilościowy	9814	93,2	0	0	Nadmiarowe
temp_0cm	Ilościowy	9814	93,2	0	0	OK
dewpoint	Ilościowy	9814	93,2	0	0	OK
rainfall	Ilościowy	9814	93,2	1518	15,5	Odstające
P4_22cm	Ilościowy	10531	100	0	0	OK
P4_16cm	Ilościowy	10531	100	0	0	Nadmiarowe
P4_10cm	Ilościowy	10531	100	0	0	Nadmiarowe
P4_6cm	Ilościowy	10531	100	0	0	Nadmiarowe
P4_2cm	Ilościowy	10531	100	0	0	Nadmiarowe

Porównanie temperatury zmierzonej i przewidywanej (z metrykami RNN)



Niebieska linia: zmierzona, Czerwone punkty: przewidywana