

# EMULACJA SOFTWAREWOWA DYNAMICZNEGO STANDARDU OCENY STANU JAKOŚCI TORÓW KOLEJOWYCH Z POMIARÓW PARAMETRÓW GEOMETRII TORU WYKONANYCH WÓZKIEM POMIAROWYM TQM

---

Edward Len

Dr, MICES (Member of Chartered Institute of Civil Engineering Surveyors), MPWI (Member of Permanent Way Institution). Railcare Advanced Instruments Ltd, Wielka Brytania, e-mail: edward.len@rail-tqm.co.uk

---

**Streszczenie:** *W artykule przedstawiono sposób emulacji softwerowej - dynamicznej oceny stanu jakości torów kolejowych (Network Rail standard) na podstawie pomiarów parametrów geometrycznych torów, wykonywanych wózkiem pomiarowym TQM (Track Quality Measurement). Wskazano, że nie tylko geometria toru jest istotna przy utrzymaniu torów kolejowych, ale raczej dynamiczny wpływ tego toru na pojazdy, które się po nim poruszają. Naturalne częstotliwości korpusów pojazdów szynowych i ich podwozi wpływają na wzbudzone parametrami toru zachowania pojazdów szynowych po nim się poruszających. Pomiary TQM poddawane są emulacji softwerowej przy pomocy własnego oprogramowania TQM Viewer. Generowane raporty emulują Network Rail HSTRC format (High Speed Track Quality Car).*

**Słowa kluczowe:** *Stan jakości torów kolejowych, HSTRC format, TQM*

## 1. Wprowadzenie

Zgodnie z opracowaniem [3] Christiansena i True pozwalam sobie przytoczyć przetłumaczoną konkluzję Hehenbergera [4] i [5]: „*To nie tylko geometria toru jest istotna przy utrzymaniu torów kolejowych, ale raczej dynamiczny wpływ tego toru na pojazdy, które się po nim poruszają*”. To stwierdzenie przenosi ciężar standardu toru kolejowego określanego pomiarami konwencjonalnymi parametrów jego geometrii na pomiary dynamicznych reakcji poruszających się po nim pojazdów. Christiansen i True dowiedli jednak, że „*Generalnie jest niemożliwym uzyskanie dokładnych informacji o geometrii torów kolejowych z dynamicznych pomiarów ruchów kół pojazdu szynowego, czy też jego podwozia*”. Potwierdzili oni tym samym uprzednio postawioną przez Lie and Haque [4] hipotezę, iż „*Naturalne częstotliwości korpusów pojazdów szynowych i ich podwozi wpływają na wzbudzone parametrami toru zachowania pojazdów szynowych po nim się poruszających*”.

Dynamiczne pomiary stanu jakości torów kolejowych są powszechnie stosowane w wielu krajach świata, głównie na trasach szybkiego ruchu. Przy małych

prędkościach ich pomiary nie nadają się do użytku. Dostarczają one generalnie informacji o stanie jakości toru kolejowego oraz o występujących na nim problemach, co pozwala wydziałom utrzymania na szybkie podjęcie decyzji utrzymaniowej celem zapobiegnięcia ich eskalacji.

Oprócz problemu oceny stanu jakości torów kolejowych przy małych prędkościach, możemy wyróżnić trzy dodatkowe problemy pomiarów dynamicznych takie jak:

- dokładne określenie miejsca wystąpienia błędu,
- dokładne określenie rodzaju problemu,
- wpływ stanu wagonu pomiarowego na wyniki pomiarów.

## 2. Miejsce TQM w łańcuchu dynamicznej oceny stanu jakości torów kolejowych

W związku z tym, iż nie jest możliwym dokładne odtworzenie geometrii toru kolejowego z pomiarów dynamicznych pomiaru ruchu podwozia, to być może będzie możliwym do spełnienia zadanie odwrotne, to znaczy: utworzenie emulacji softwerowej efektów dynamicznych z pomiaru w ruchu parametrów geometrii toru kolejowego. Rozwiązanie TQM przedstawia odpowiedź na powyższe twierdzenie.

TQM (Track Quality Measurement) jest przykładem wózka pomiarowego, który przy stałej prędkości (około 5 km/h) wykonuje pomiar parametrów geometrii toków szynowych metodą krótkich wymiennych baz pomiarowych [1], (rys. 4).

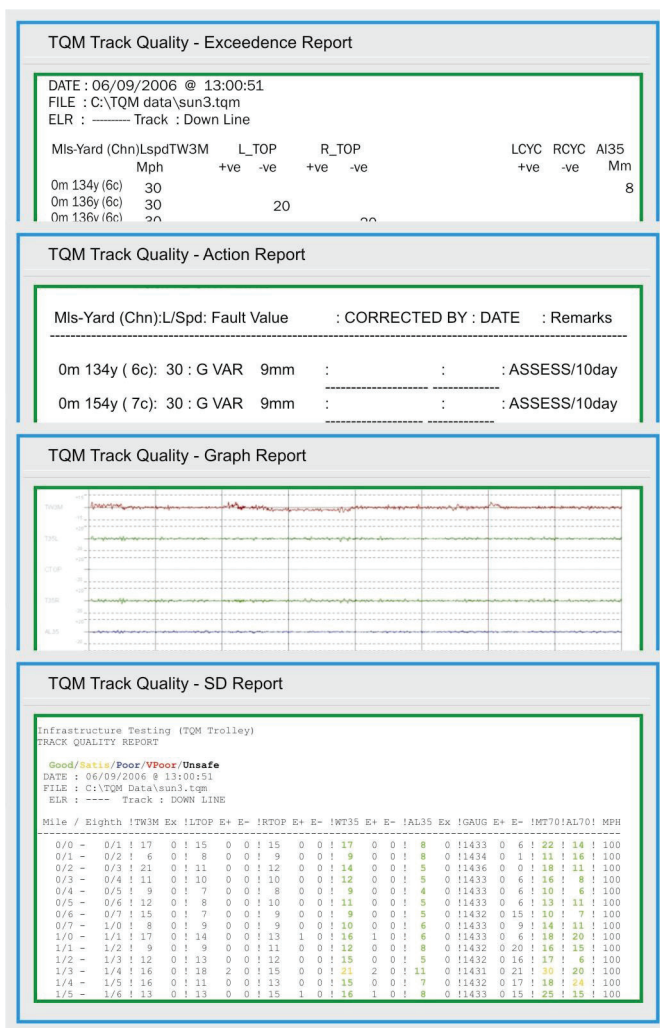
Pomiary te bezpośrednio w terenie poddawane są obróbce - dynamicznej emulacji softwerowej przy użyciu własnego oprogramowania TQM Viewer, w wyniku której generowane są wszystkie obligatoryjne raporty oceny stanu jakości toru kolejowego w formatach standardów pomiarowych HSTRC (High Speed Track Recording Car) lub też NMT (New Measurement Train) w Wielkiej Brytanii (rys. 1).

Raporty obligatoryjne z pomiaru toru pociągiem HSTRC, NMT i TQM składają się z następujących elementów:

- \* Raport przekroczeń odchyłek dopuszczalnych;
- \* Raport akcji naprawy;
- \* Raport graficzny;
- \* Raport standardowych odchyżeń (SD) ewaluowany kolorem jakości interwału toru dla każdego SD:
  - kolor zielony – tor dobry;
  - kolor pomarańcz. – zadowalający;
  - kolor niebieski – tor zły;
  - kolor czerwony – tor bardzo zły;
  - kolor czarny – tor niebezpieczny.

W raporcie graficznym oprócz parametrów SD uwzględnione jest również zużycie faliste toru (cyclic top) oraz jego krzywizna.

Dane z opracowania TQM można wyeksportować jako plik \*.csv lub też nakładające się dane do użycia w programie projektowym Hallade.



Rys. 1. Obligatoryjne raporty stanu jakości toru kolejowego

### 2.1. Wybór długości fal pomiarowych {1}. Fale pomiarowe o długości 35 i 70 metrów

Jako, że zawieszenie wagonu działa jak filtr niskiej częstotliwości, wpływ istniejących nierówności modyfikowany jest przez prędkość jazdy oraz częstotliwość ich występowania. Podjęcie zatem decyzji określających zakres długości fal pomiarowych nie jest zadaniem prostym do rozwiązania. Istnieje zatem konflikt spowodowany chęcią uwzględnienia wszystkich długości fal, które miałyby wpływ na jakość jazdy, a potrzebą uniknięcia związanych z tym nadmiernych kosztów robót utrzymaniowych toru kolejowego. Przybliżona zależność określająca długość fali

mierzącej  $I$  [m] na podstawie częstotliwości drgań zawiesznień taboru kolejowego  $f_r$  [Hz] oraz prędkości jazdy na danym odcinku  $V$  [km/h] przy częstotliwości filtra pomiarowego 0.3 Hz wynosi:

$$I = 0.3 \frac{V}{f_r} \quad (1)$$

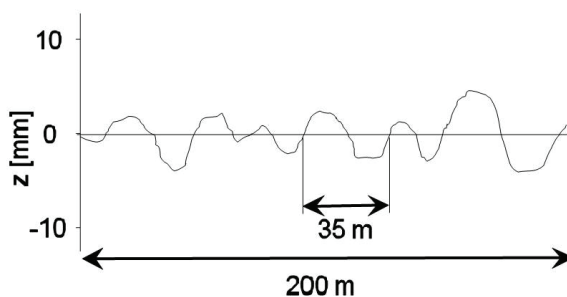
W celu uniknięcia stosowania różnych długości fal dla różnych prędkości dla brytyjskich kolei ustanowiono dwie graniczne długości fal pomiarowych:

- 35 m – jako podstawową dla linii podmiejskich oraz międzymiastowych,
- 70 m – jako uzupełniającą dla linii o dużych prędkościach.

Dalej dla tych długości fal pomiarowych, zróżnicowano kryteria akceptacji wyliczonych standardowych odchyień na zasadzie: im większa prędkość tym mniejsze standardowe odchylenie.

### 2.1.1. Przykład według doświadczeń Herwiga {5}

Długość fali nierówności toku szynowego wspólnie z szybkością pojazdu określa wzbudzenia częstotliwości, które w zależności od sposobu ich przenoszenia prowadzą do wzrastania sił oddziaływujących na koła podwozia. Rys. 2 pokazuje wynik pomiaru ruchów pionowych toru kolejowego. Dzięki dobranej skali wykresu możemy wyraźnie odczytać długość fali nierówności. Dominująca długość fali wynosi 35 m, co dla prędkości 35 m/s (130 km/h) częstotliwość wzbudzenia wynosić będzie  $f_{w_{zb}} = 1$  Hz, z różnicą wysokości dochodzącej do 7 mm.



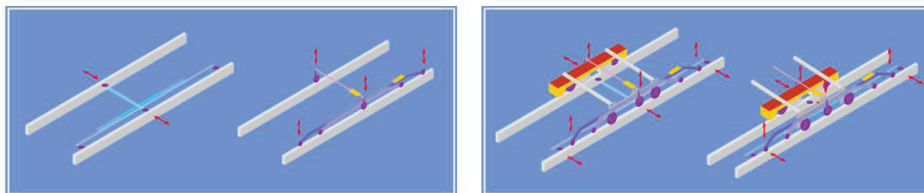
Rys. 2. Ruch pionowy toru kolejowego przy szybkości 130 km/h

### 2.1.2. Obliczanie standardowych odchyień (SD)

Zostało potwierdzone, że uniwersalnie używany w statystyce średni błąd, jako miara zmienności obserwowanych wyników może być użyty do oceny statystycznej profilu toru kolejowego, ponieważ posiada on podobne parametry rozkładu do rozkładu normalnego wyników. Pozwala to na obliczenie wielkości występujących nierówności na podstawie obliczonych średnich błędów z profili nierówności poziomych (AL) i pionowych (TOP). Wynik SD równy 0 określa tor perfekcyjny, SD równe 9.9 mm określa tor bardzo zły i niebezpieczny (do zamknięcia). Wyniki SD obliczane są dla odcinków toru o długości 1/8 mili (około 200 m). W raportach TQM - SD dla ułatwienia podawane jest w dziesiątych częściach mm.

### *Schemat rozwiązania TQM*

Podstawą rozwiązania TQM są wymienne bazy pomiarowe oddzielne dla pomiarów płaszczyzny poziomej i płaszczyzny pionowej oraz ich niezależność pracy od ramy wózka - usunięcie wpływów naprężeń (rys. 3).



Rys. 3. Wymienne bazy: strzałki poziomej i rozstawu, przechyłki, strzałki pionowej i pochylenia podłużnego oraz wymienne bazy z ramą, jako TQM



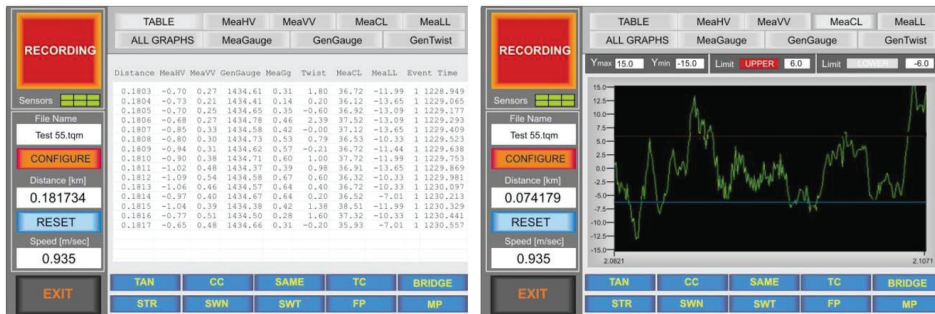
Rys. 4. Track Quality Measurement (TQM) z bazami 3m Hz and 2m VV  
Certyfikaty: Network Rail CEF12737 and PA05/02253, London Underground PE007/1211

Rama wózka posiada siodła oraz podwieszenia dla wymiennych modułów pomiarowych. W jej module serwisu umieszczona jest elektronika, 12 V motor napędowy, hamulec bezpieczeństwa, miejsce na baterię, stacja dokująca komputer oraz skrytka na części montażowe.

Rejestracja danych poprzez kartę DAQ firmy National Instruments do standardowego komputera (Windows) umieszczonego na pokładzie TQM z zainstalowanymi programami zapisu (baza LabView), kalibracji, edycji i opracowań danych.

TQM porusza się ze stałą prędkością pomiarową ok 5 km/h, zapisując dane ze wszystkich swoich kanałów w odstępach 100 mm, mierzone kołem pomiarowym o 500 mm w obwodzie.

Mierzone parametry to: strzałki poziome i pionowe, pochylenie podłużne, przechyłka, odległość, rozstaw i czas. Prezentacja parametrów, tak jak i grafiki w czasie pomiaru, w formie arkusza kalkulacyjnego (wszystkie kanały lub wybiórczo). Kodowanie zdarzeń ciągle, pojedyncze lub też pojedyncze w ciągach np. znak kilometrażu w ciągu wiaduktu (rys. 5)



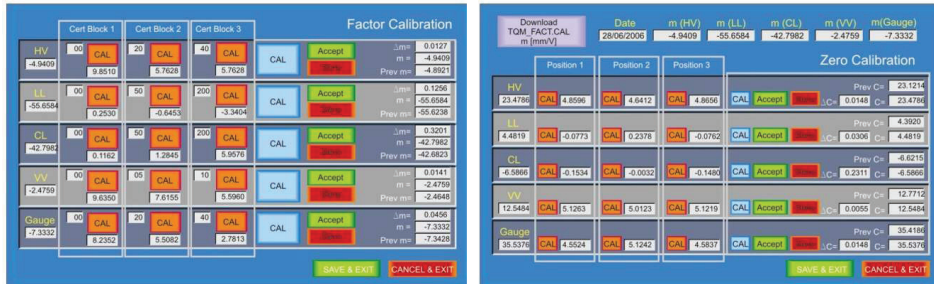
Rys. 5. Zapis danych w formie arkusza kalkulacyjnego lub też grafiki

## Oprogramowanie TQM

TQM posiada następujące oprogramowania:

### 2.2. TQM Calibrator

Odpowiedzialność za kalibrację systemu TQM ponosi jego operator. Poprzez przeprowadzenie kalibracji operator nabiera pewności co do możliwości systemu oraz jakości zapisywanych danych podczas pomiaru rys. 6).



Rys. 6. Kalibracja modułów pomiarowych: współczynnika zamiany i miejsca zera

Kalibracja systemu polega na zamianie napięcia (V) sensorów na milimetry przy użyciu dostarczonych płytek wzorcowych oraz znalezienie ich miejsca zera. Każdej operacji dedykowane jest jedno okno oprogramowania, w którym kalibrowane są wszystkie sensory.

Parametry kalibracji zapisywane są w pliku, który następnie jest kopiowany jako nagłówek pliku zapisywanych danych. Stanowi to kontrolę jakości pomiaru, jak również daje możliwość wykonania kalibracji po pomiarze i powtórny przeliczeniu danych w przypadku stwierdzenia rozbieżności parametrów kalibracji.

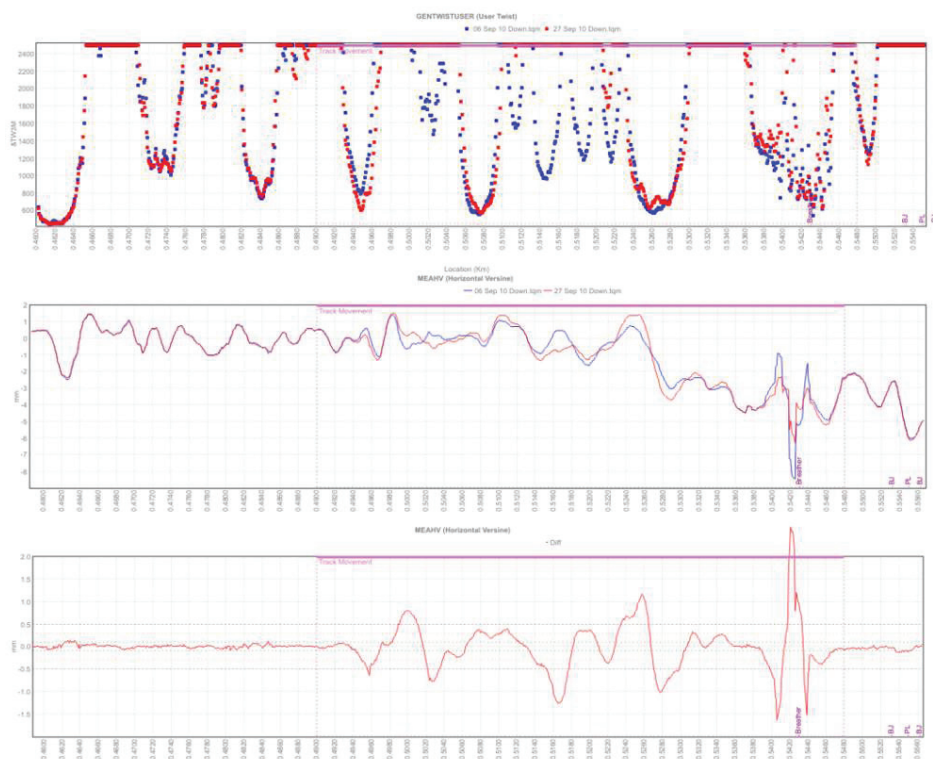


### 2.3. TQM Recorder

Oprogramowanie TQM Recorder przedstawione zostało w pkt 3 (rys. 5).

### 2.4. TQM Editor

Przy użyciu tego oprogramowania możliwym jest przeprowadzenie szerokiej gamy kontrolowanej edycji danych pomiarowych takich jak: przeprowadzenie kalibracji popomiarowej, interpolacji danych, przesunięcia miejsc zera, wprowadzenie opisów na graficznej prezentacji wyników, odwracanie porządku danych w celu ich porównania (np tam i z powrotem lub też porównanie danych historycznych przy pomiarach monitorujących ruchy toków szynowych), rozdzielanie plików i wiele innych. Przykład porównania danych historycznych wichrowatości i strzałki poziomej pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Porównanie danych historycznych monitoringu: Wichrowatości, Strzałki Poziomej wraz z jej różnicą przesunięć (Oprogramowanie TQM Editor)

### 2.5. TQM Viewer

Wyniki opracowania oprogramowaniem TQM Viewer przedstawione zostały w pkt. 2 (rys. 1).

TQM Viewer kompiluje profile szyn (Alignment i Top) oraz filtruje je przy pomocy filtru Butterworth falami o długościach 35 i 70 m. Z przefiltrowanych profili wyliczane są błędy średnie, które są następnie porównywane z kryteriami Network Rail i drukowane w kolorach na generowanych raportach.

#### *Przykłady zastosowań w Wielkiej Brytanii*

- ocena stanu jakości torów kolejowych, rozjazdów i skrzyżowań,
- do walidacji systemu PALAS,
- do określenia dokładności punktów stałych (total station na pokładzie),
- do monitorowania ruchów torów na nasypach, w tunelach, mostach,
- do oceny stanu jakości powypadkowej torów kolejowych.

#### *Możliwości rozbudowy systemu TQM*

Dzięki wszechstronności systemu TQM, możliwa jest budowa zintegrowanego systemu do kompleksowego pomiaru torów kolejowych poprzez umieszczenie dodatkowych instrumentów pomiarowych takich jak: Georadar, Skaner oraz GPS.

#### **Literatura**

- [1] Len E., Przybliżenie oceny stanu jakości torów kolejowych w Wielkiej Brytanii. Gdańsk, Jurata, Maj 2004, Szóste seminarium diagnostyki nawierzchni szynowych, PG.
- [2] Hewig A., Consideration of the dynamic effect of increased train loads for the fatigue examination of concrete bridges. Zurich, August 2006.
- [3] Christiansen L.E, True H., On the dynamics of railway vehicles on track with lateral irregularities. Technical University of Denmark, Budapest, Nov.2010.
- [4] Hehenberger W., Fahrzeug-Fahrweg-Dynamik bei hohen Geschwindigkeiten aus der Sicht der Gleisstandhaltung. Archiv für Eisenbahntechnik, 42, Hestra Verlag, Darmstadt, 1988, p 35-51 (In German).
- [5] Hehenberger W., Gleisdiagnose für den Hochgeschwindigkeitsverkehr, Eisenbahntechnische Rundschau. 41, 6, 1992, p 399-404.