

Romániai vasútvonal minőségértékelése több országra kiterjedő európai TQI szabványok alapján

Quality assessment of a Romanian railway line using European multi-country TQI standards

Drd. GOCICĂ Marius¹, Dr. ORBÁN Zsolt László², Dr. KÖLLŐ Gábor³

¹Román Állami Vasút (CNCFR SA) – Kolozsvári Vasút-igazgatóság, Kolozsvár, Avram Iancu tér, 17. sz.,

marius.gocica@cfr.ro,

²Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, 400363 Kolozsvár, Observatorului utca, 72-74 sz.,

zsolt.orban@cfdp.utcluj.ro

³Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, 400363 Kolozsvár, Observatorului utca, 72-74 sz.,

gavril.kolló@cfdp.utcluj.ro

Abstract

The Track Quality Index (TQI) is essential for assessing the railway superstructure and guiding maintenance. However, European countries use varying methodologies for TQI calculation, leading to inconsistencies in line quality assessment and maintenance decisions. This paper compares TQI methods in Poland and Romania and the European standard SE EN 13848-6+A1:2021 through a case study of a railway section in Romania. The analysis reveals significant differences in maintenance prioritization, primarily due to Romania's lack of standardized TQI thresholds. The study underscores the need to harmonize TQI methodologies across Europe to enhance rail quality assessments, interoperability, and maintenance strategies.

Keywords: Track Quality Index (TQI), railway superstructure, maintenance strategies, track geometry

Kivonat

A pályaminőségi index (TQI) elengedhetetlen a vasúti felépítmény értékeléséhez és a karbantartás irányításához. Az európai országok azonban különböző módszereket alkalmaznak a TQI kiszámítására, ami következtetlenségekhez vezet a vonal minőségértékelésében és a karbantartási döntésekben. Ez a tanulmány összehasonlítja a lengyelországi és romániai TQI módszereket és az SE EN 13848-6+A1:2021 európai szabványt egy romániai vasúti szakasz esettanulmányán keresztül. Az elemzés jelentős különbségeket tár fel a karbantartási prioritások között, elsősorban a szabványosított TQI-küszöbértékek hiánya miatt. A tanulmány hangsúlyozza, hogy Európa-szerte harmonizálni kell a TQI-módszereket a vasúti minőségértékelés, az átjárhatóság és a karbantartási stratégiák javítása érdekében.

Kulcsszavak: Pályaminőségi index (TQI), vasúti felépítmény, karbantartási stratégiák, vágány geometria

1. BEVEZETÉS

1.1. A vasúti felépítmény minőségi értékelésének fontossága

Jelen időkbén a vasúti közlekedés továbbra is az egyik legfenntarthatóbb és legkörnyezet-barátibb közlekedési mód, mind a tömegközlekedés, mind a kereskedelmi közlekedés számára.

A vasúti infrastruktúra a vasúti közlekedés legfontosabb rendszere. Az optimális gazdasági hatékonyság biztosítása érdekében elengedhetetlen, hogy a vasúti infrastruktúra megfeleljen bizonyos alapvető követelményeknek. Ezek a követelmények szorosan kapcsolódnak a vasúti közlekedés alapjául

szolgáló négy alapelvhez: a biztonsághoz, a kényelemhez, a fenntarthatósághoz és a költséghatékonysághoz [1].

Az infrastruktúra minőségének értékelése alapvető műszaki és stratégiai követelmény a vasúti közlekedési rendszer biztonságának, hatékonyságának és hosszú távú fenntarthatóságának biztosításához.

Napjainkban a vasúti ágazatban a pályahálózat-működtetők költségvetésük jelentős részét karbantartási és felújítási tevékenységekre fordítják, amelyek a vasút teljes életciklus-költségének jelentős részét teszik ki, elérheti a költségek akár 70%-át is [2]. Ezért a pályaminőség pontos értékelése elengedhetetlen a karbantartási munkák rangsorolásához, az erőforrás-elosztás optimalizálásához és a vasúti infrastruktúra eszközeinek életciklusának meghosszabbításához.

A Nemzetközi Vasúti Unió (UIC) által koordinált Európai Unió CORDIS programjának CAPACITY4RAIL (Vasúti hálózatok kapacitásának növelése az infrastruktúra fejlesztésével és az optimalizált üzemeltetéssel) projektje rávilágított a pályaminőség ellenőrzésének és a kondicionált karbantartásnak a hatékony és költséghatékony vasúti üzemeltetés szempontjából növekvő fontosságára. A projekt eredményei azt sugallják, hogy a fejlett megfigyelési stratégiák a vasúti infrastruktúra karbantartási és rehabilitációs folyamatainak hatékonyabb rangsorolásához vezethetnek, illetve jelentős potenciállal csökkenthetik az ezekkel a munkákkal kapcsolatos költségeket [3].

A vasúti minőségi indexet (TQI) a legtöbb európai országban általánosan használják szabványosított mérőszámként a vasúti infrastruktúra állapotának nyomon követésére és a karbantartási stratégiák irányítására. Multinacionális keretrendszerben a TQI-számítási módszerek összehasonlítása segíthet a vasúti irányítási gyakorlatok harmonizálásában, az átjárhatóság előmozdításában és a határokon átnyúló műveletek javításában.

Románia számára a vasút állapotának értékelésére szolgáló nemzeti módszerek európai szabványokkal való összehangolása elengedhetetlen az infrastruktúra korszerűsítéséhez és a transzeurópai közlekedési hálózatba (TEN-T) való integrációhoz. E tekintetben a jelenlegi értékelési módszerek figyelembe veszik az EN 13848-1 szabvány rendelkezéseit, amely a mérési körülmények között előírja, hogy a forgalomban lévő jármű hatásainak reprodukálása érdekében a vágány összes geometriai paraméterét lehetőleg terhelt vágányon kell mérni, és ebben az esetben a vágány mérési pontján kifejtett terhelésnek legalább 2,5 t függőleges kerékterhelésnek kell lennie, 180 kN/mm átlagos merevségű és UIC 60 (60 E1) sínprofilú vágány figyelembevételével [4].

1.2. A vasút minőségének értékelésére szolgáló módszerek a Romániában hatályos jogszabályok és irányelvek szerint

A romániai vasút minőségének értékelését a pályamérő kocsik által végzett pályadiagnosztikára vonatkozó 329. utasítás, valamint a 2256/2006.11.27 sz. miniszteri rendelet szerint történik.

A két utasítás egyedi tűréshatárokat határoz meg, illetve a hibákat a pálya minden geometriai paraméterére vonatkozóan a vonalkategória szerint kockázati osztályokba sorolja. Ez az osztályozás azonban nem veszi figyelembe az EM 130 mérőkocsi által valós időben meghatározott minőségi indexeket (TQI). A kockázati osztályokba való besorolás a mért pálya egyes geometriai paramétereire vonatkozó értékek eltéréseinek súlyossága szerint kapott pontszámokon alapul. Minél magasabb a pontszám, annál nagyobb a kockázat a vonal a közlekedésbiztonság szempontjából.

Az eltérések súlyosságától függően a pályakarbantartási szakaszok és körzetek prioritási sorrendben ütemezik munkájukat a vágánygeometria hibáinak eltávolítására, valamint az egyéb pályakarbantartási munkákra [5]. Bár Romániában ez az értékelési rendszer működőképes és jól szabályozott, meg kell jegyezni, hogy inkább a korrekciós karbantartásra irányul, és kevésbé a prediktív karbantartásra.

1.3. Célkitűzés és tanulmány felépítése

A tanulmány célja, hogy a mért geometriai paraméterek alapján összehasonlítsa a vágány állapotának értékelésére szolgáló három módszert. Ez az értékelés a Lengyelországban és Romániában alkalmazandó pályaminőségi indexek (TQI) kiszámítására szolgáló módszert, valamint az SR EN 13848-6+A1:2021 szabványban leírt módszert veszi figyelembe.

Fontos megjegyezni, hogy a jelenlegi romániai iránymutatások nem írnak elő konkrét határértékeket a TQI-értékekre vonatkozóan. Ezért az ismertetett esettanulmány célja egy vasúti szakasz értékelése a lengyel szabványok és az SR EN 13848-6+A1:2021 szabvány szerint, ahol ezek a határértékek jól meghatározottak, és az értékelést összehasonlítják a román utasítások alapján készült értékeléssel, amely az egyes geometriai

paraméterek megengedett tűrésektől való eltéréseinek elemzésével kiszámítja az útvonal minden kilométerére vonatkozó pontszámokat.

A következőkben minden esetben megfelelően meghatározzuk a pálya ezen minőségi mutatóinak számítási módját, ismertetjük az esettanulmány alapjául szolgáló módszertant, bemutatjuk a TQI számításból kapott eredményeket, és összehasonlítjuk a kapott eredményeket.

2. PÁLYAMINŐSÉGI INDEXEK (TQI)

A biztonságos és költséghatékony vasúti forgalom lehetővé tétele érdekében szabványosítani kell a vágány és a jármű geometriájának minősége értékelésének módját [6]. Az elmúlt években a vasúti pálya minőségi romlására összpontosító kutatások jelentős figyelmet kaptak. Különböző megközelítéseket és módszereket dolgoztak ki a pálya romlásának értékelésére és a vonalkarbantartás optimalizálására. Ezek, az egyszerű modellektől, egy komponensre összpontosító metodológiáktól kezdődően egészen átfogóbb modellekig terjednek, amelyek figyelembe veszik a vágány romlásához hozzájáruló összes fő tényezőt [2]. A meglévő szakirodalom szerint ezeket prediktív modelleknek nevezzük és két kulcsfontosságú szempont alapján osztályozhatóak (Sadeghi, J. & Askarinejad):

- A pálya szerkezeti szempontból vizsgált romlása által
- Geometriai szempontból figyelembe vett vágány-tönkremenetel.

A fent említett második szempontra összpontosító vágány-tönkremenetel geometriai paramétereket használnak fő kritériumként a pálya állapotának értékeléséhez. Ebben a megközelítésben a pályát több rövid szakaszra kell felosztani (általában 200 m hosszú szakaszokra), és minden szakaszra geometriai statisztikákat számítanak. Ezeket a statisztikákat ezután összesítik, hogy átfogó mérést nyújtsanak a vonalszakaszok minőségéről, amelyet általában pályaminőségi indexnek neveznek (TQI).

A vasút minőségének legátfogóbb értékelése különböző pályaminőségi mutatók kidolgozásához vezetett [10]. Ezek közül, ebben a tanulmányban, figyelembe vesszük a lengyel vasutak *J szintetikus együttható* modelljét, az EN 13848-6 szabvány által leírt TQI modellt és a romániai modellt.

Bár ezeknek a számítási módszereknek ugyanaz a célja – a pálya minőségének felmérése –, a számítási és értelmezési módok közötti különbségek nagyban befolyásolhatják a szükséges beavatkozások típusát, a karbantartási munkák gyakoriságát és a kapcsolódó költségeket.

2.1. J SZINTETIKUS EGYÜTTHATÓ

A J együtthatót a pályaminőség mutatójaként használják a lengyel vasutak által kidolgozott szórásszámítás alapján. Ennek az együtthatónak a kiszámításához a pálya négy geometriai paraméterét veszik figyelembe: hosszirányú szint, irány, torzió és nyomtáv. A számítási összefüggés a következő:

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,5 \cdot S_e}{3,5} \quad (1)$$

Ahol S_z , S_y , S_w és S_e a hosszirányú szint, irány, torzió és nyomtáv szórását jelenti. Az egyes geometriai paraméterek szórását a következő relációval számítjuk ki:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Ahol n a mért paraméterre vonatkozóan az elemzett szakaszon rögzített adatok számát jelöli, x_i a geometriai paraméter értékét jelenti a pálya egy bizonyos szakaszán, és az $\bar{x}$ a teljes szakaszon rögzített adatok átlagát jelenti.

A J együttható értékeinek konkrét határértékei a vonal sebességétől függően az 1. táblázatban láthatók.

J együttható határértékei

1. táblázat

Sebesség [km/h]	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
J Együttható [mm]	7.0	6.2	5.5	4.9	4.0	3.5	2.8	2.3	2.0	1.7	1.6	1.5	1.4

2.2. SZÓRÁS SZÁMÍTÁSA AZ EN 13848-6 EURÓPAI SZABVÁNY SZERINT

A TQI 13848-6+A1:2021 európai szabvány szerinti számítása szintén a szórás (SD – Standard Deviation) alapul, amely egy adat szórását jelenti egy adott vágányszakaszon az összes adatok átlagos értékéhez viszonyítva a vizsgált szakaszon. A számítási összefüggés a következő:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

A (3) képletben szereplő jelölések jelentése megegyezik az (1) képletével. A szórás általában a pálya torziójára, valamint a vízszintes és függőleges síkban elfoglalt helyzetére számítják ki, de kiszámítható a nyomtávra és a túlemelésre is.

Ha a vágánygeometria minőségét az egyes geometriai paraméterek (SD) súlyozott szórásainak (CoSD) kombinációjával szeretnénk értékelni, akkor a következő összefüggést kell alkalmazni:

$$CoSD = \sqrt{w_{\overline{AL}} \cdot SD_{\overline{AL}}^2 + w_G \cdot SD_G^2 + w_{CL} \cdot SD_{CL}^2 + w_{\overline{LL}} \cdot SD_{\overline{LL}}^2} \quad (4)$$

Ahol: w – az egyes geometriai paraméterek súlyozási tényezője – az értékeket az egyes infrastruktúra-igazgatóságok határozzák meg
SD – Az egyes geometriai paraméterek szórása

Indexek: $\overline{AL}$ – a pálya helyzete vízszintes és függőleges síkban, a bal és a jobb sín átlaga, G – nyomtáv, CL – túlemelés, $\overline{LL}$ – pálya-torzió, a bal és a jobb sín átlaga.

2.3. SZÓRÁS SZÁMÍTÁSA A ROMÁNIAI ELŐÍRÁSOK SZERINT

A 2256 / 2006. sz. minisztériumi rendelet, amely tartalmazza az EM 130 mérőkocsival végzett vasút diagnosztizálására vonatkozó utasításokat, a TQI számítási módszerét is tartalmazza a mért vágány minden egyes geometriai paraméterének szórási képlete alapján, a következő összefüggés szerint:

$$AS = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \left[\sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \right]} \quad (4)$$

A TQI-index vagy szórás (AS) értékét egy olyan számmal fejezzük ki, amely a mért pályageometriai paraméterek értéke közötti átlagos négyzetes eltérés nagyságát jelenti az egyedi mért értéktől a 25 cm-re elhelyezkedő egymást követő pontokon. Ugyanakkor a TQI érték a pálya állapotának objektív és globális értékelését jelenti a paraméterek elemzésének hossza mentén.

Ha a TQI indexet egyetlen paraméterre számítjuk ki, akkor az értelmezhető úgy, mint a mért paraméter értékeinek az átlagos négyzetértéktől való teljes eltérése, és ha a TQI-t több paraméterre vegyesen számítjuk ki, akkor az a pálya elhelyezkedési eltéréseként értelmezhető az ideális útvonaltól azon a pálya-hosszon, ahol a TQI indexeket kiszámítják [11].

3. METODOLÓGIA

Ez a tanulmány egy strukturált metodológia által mutatja be a román nemzeti szabvány (OMT 2256/2006) által meghatározott vasúti pályageometria minőségértékelésének, az EN 13848 szabványsorozat lengyel megvalósításának és az EN 13848-6 közvetlen alkalmazásának összehasonlítását. A cél a számítási módszerek, az osztályozási küszöbértékek és az egyes megközelítések érzékenységeinek értékelése a pályageometria hibáinak azonosításában.

A módszertan magában foglalja a kiválasztott vágányszakas minőségi összehasonlítását az EM 130 vágánydiagnosztikai vasúti kocsival által gyűjtött pályageometriai adatok felhasználásával. A folyamat a fent említett módszereken alapuló vasúti minőségi index (TQI) értékelésével kezdődik, amely a vizsgált geometriai paraméterek egyedi szórásainak vagy a 200 méteres vágányszakaszokon számított szórások kombinációjának alkalmazását hangsúlyozza. A vizsgált paraméterek közé tartozik az irány, a torzió, a túlemelés és a nyomtáv. Az adatgyűjtési gyakoriság 0,25 m volt, az EN 13848 szabványsorozat előírásainak megfelelően.

Az összehasonlíthatóság biztosítása érdekében minden számításimódszer alkalmazásával ugyanazt a valós mérésekből nyert adatkészletet dolgozzák fel. Az adatokat az egyes szabványokban meghatározott egyedi eljárásoknak megfelelően kell elemezni. Az eredményül kapott értékeket, például a standard paramétereltéréseket és a kombinált TQI-pontszámokat összehasonlítják az útvonal minőségének értékeléséhez. Érdemes megemlíteni, hogy a román szabvány nem szab korlátokat a pálya minőségének értékelésére a számított TQI értékek alapján. Ebben az esetben az értékelési módszert a jelenleg használt módszer elve szerint volt alkalmazva, miszerint minden mért pálya-geometria paraméter szerinti meghibásodás egy súlyossági osztályba lett sorolva, ennek alapján egy bizonyos pontszámot ért el, utólag pedig ez a pontszám összegzése minden egyes mért kilométerre adja meg a pálya minőségét előírt korlátok szerint.

Ez a módszertan lehetővé teszi azt az összehasonlítást, hogy a román megközelítés hogyan igazodik a modern európai szabványokhoz. Azonosítja az EN 13848 szabványon alapuló keretrendszerre való áttérés lehetséges előnyeit és korlátait is. Emellett ajánlásokat fogalmaz meg a nemzeti gyakorlatok és az egész EU-ra kiterjedő infrastruktúra-minőség-ellenőrzési stratégiák összehangolására.

4. ESETTANULMÁNY

A vonal minőségének értékelésére szolgáló három módszer alkalmazásának és összehasonlító következményeinek bemutatása érdekében egy esettanulmány volt készítve a román vasúthálózat egy adott szakaszáról. A vizsgált vasúti szakasz a 300-as fővonal 1-es vonalán található, a 101+600 km és 103+600 km között. A forgalmi sebesség ezen a szakaszon 95 km/h.

A vasúti szakasz egyenes részekből és két azonos irányú ívből áll, amelyek harmadfokú parabola típusú progresszív csatlakozásokkal kapcsolódnak az íveket megelőző és követő egyenesekhez. A két pályáiv a következő jellemzőkkel rendelkezik:

1. Pályáiv

- Körív sugara $R_1 = 765,00$ m
- Túlemelés körívben $h_{e1} = 70$ mm
- Elméleti húrmagasság körívben $f_{t1} = 65$ mm
- Bemeneti átmenetív hossz $L_{R1} = 75$ m, kimeneti átmenetív hossz $L_{Re1} = 80$ m
- Körív hossz: $L_{CC1} = 200$ m

2. Pályáiv

- Körív sugara $R_2 = 565,00$ m
- Túlemelés körívben $h_{e2} = 120$ mm
- Elméleti húrmagasság körívben $f_{t2} = 90$ mm
- Bemeneti átmenetív hossz $L_{R2} = 85$ m, kimeneti átmenetív hossz $L_{Re2} = 90$ m
- Körív hossz: $L_{CC2} = 45$ m

A két pályáiv közötti egyenes hossza $L_A = 870$ m.

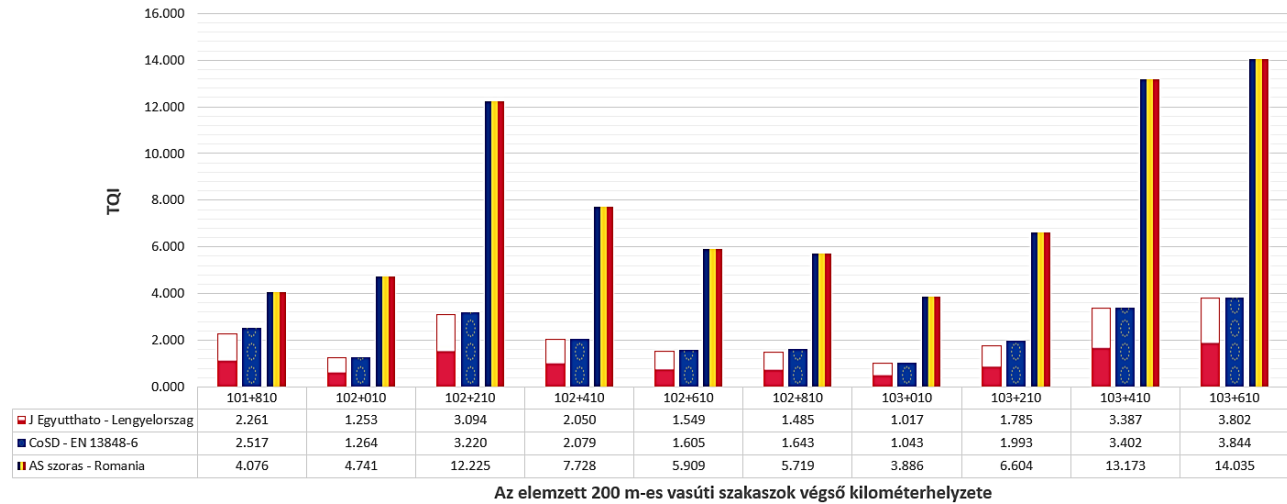
A méréseket az EM 130 vágánydiagnosztikai mérőkocsival végeztük a következő időszakokban: 2020. szeptemberében, 2021. júniusában, illetve 2024. októberében. A vizsgálat során figyelembe vett geometriai paraméterek az irány, a túlemelés, a torzió és a nyomtáv voltak, 0,25 m-es adatgyűjtési gyakorisággal. Minden kilométer 200 m-es szakaszokra volt osztva, amelyekre ki lett számítva az egyes pályageometriai paraméterek szórása, valamint a pályaminőségi index (TQI) súlyozott szórások kombinációjával.

A kombinált szórás kiszámításához az SR EN 13848-6 európai szabvány előírja, hogy az egyes geometriai paraméterek súlyozási tényezőinek értékeit az egyes infrastruktúra-adminisztrációk külön-külön határozzák meg. A romániai nemzeti normák nem írják elő a súlyozási tényezők értékeit, ráadásul a pálya minőségi indexét, amely figyelembe veszi az összes geometriai paramétert, az MT 2256 / 2006. sz. rendelete szerint számítják ki az egyes geometriai paraméterek szórásának összegeként. Ekképpen, a jelen esettanulmányban, egy egységes 0,25-ös súlyozási tényezőt vettünk figyelembe a kombinált szórás kiszámításához az SR EN 13848-6 szerint. Ez az egyenlő súlyozás a pálya minőségének értékelésének kiegyensúlyozott megközelítését tükrözi, biztosítva, hogy egyetlen paraméter se befolyásolja aránytalanul a TQI értékét.

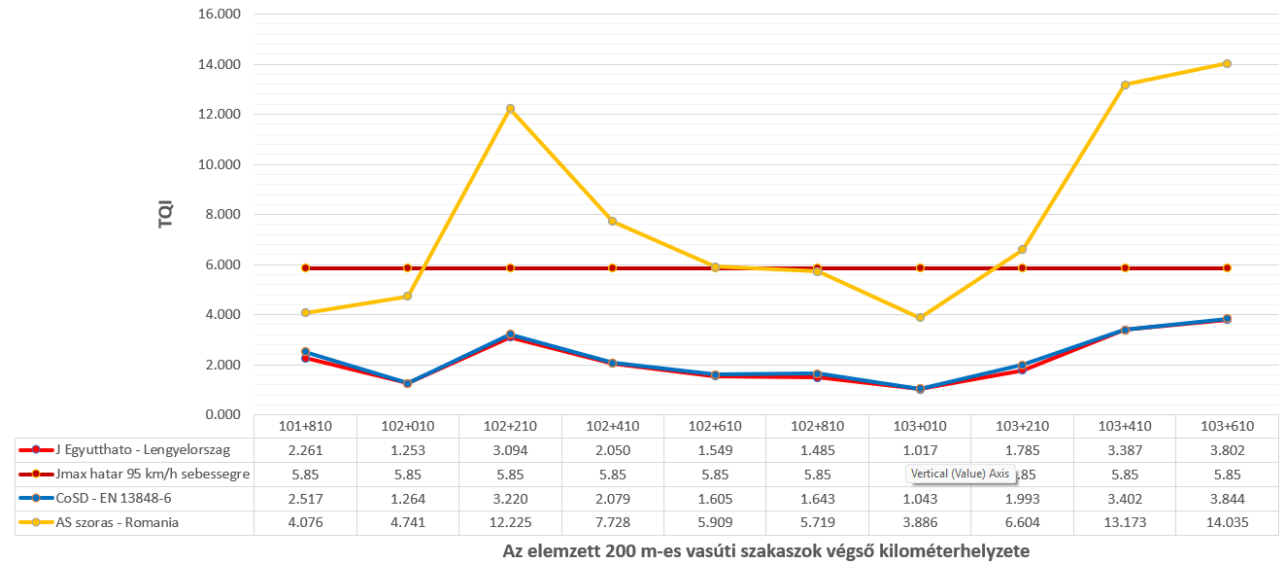
A három megközelítés alapján kapott minőségi mutatókat elemeztük és hasonlítottuk össze. Megvizsgáltuk a vasúti szakasz módszertani értékelését, a rossz minőségű szakaszok azonosításában mutatkozó különbségeket, valamint a lokalizált hibákra való esetleges érzékenységet.

5. EREDMÉNYEK ÉRTELMEZÉSE

A 200 m hosszú pályaszakaszokon végzett számításokat követően az alábbi ábrákon láthatók a három módszertan szerinti pályaminőségi mutatók értékei, mindhárom évben mért adatok alapján számítva.

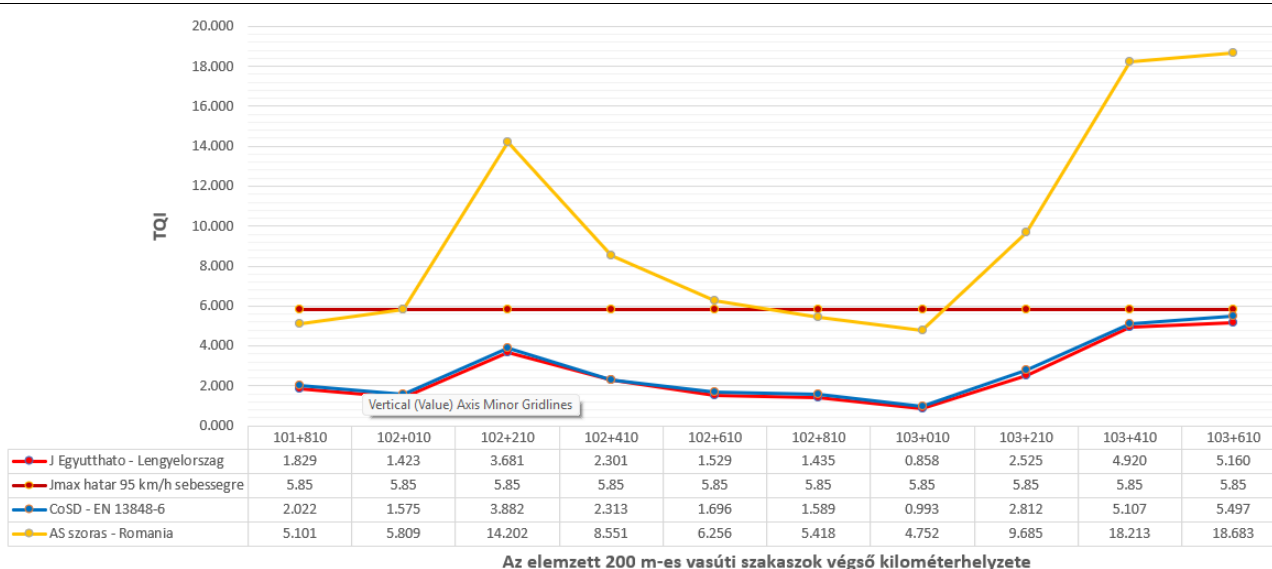


1. ábra – Pálya-minőségi Index (TQI) értékei három módszer által számítva - 2020-ban mért pályageometria adatok szerint

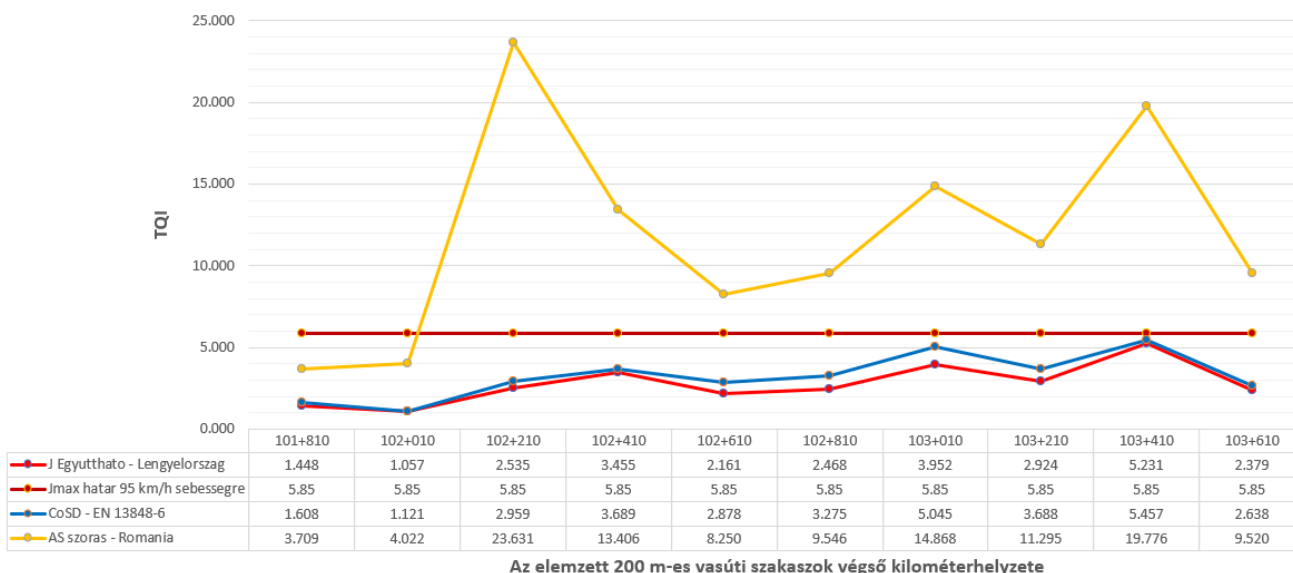


2. ábra – Pálya-minőségi Index (TQI) összehasonlító diagramm - 2020-ban mért pályageometria adatok szerint

Az alábbiakban a három módszer szerint számított TQI-értékek összehasonlító diagramjai láthatók a 2021-es és 2024-es adatokkal.



3. ábra – Pálya-minőségi Index (TQI) összehasonlító diagramm - 2021-ben mért pályageometria adatok szerint

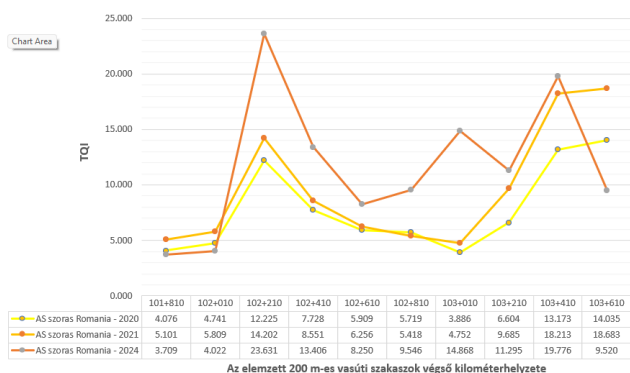


4. ábra – Pálya-minőségi Index (TQI) összehasonlító diagramm - 2024-ben mért pályageometria adatok szerint

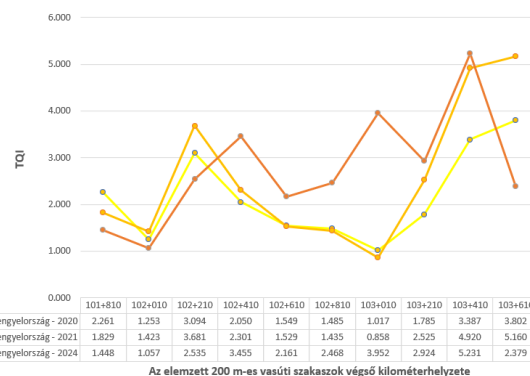
A 2., 3. és 4. ábrán látható diagramok elemzéséből látható, hogy a lengyel módszerrel és az EN 13848-6 szabvány módszerével számított TQI index értékei nagyon közel állnak egymáshoz, a diagramok szinte átfedik egymást. Érdekes megjegyezni, hogy a román előírások szerint számított TQI index értékei a másik kettőhöz hasonló, csak egy bizonyos eltolással jelenik meg a másik kettőhöz képest.

A lengyel szabályok szerint számított J együttható értékeinek a megadott referenciaértékekkel való összehasonlítása érdekében, a sebesség függvényében, az együttható legnagyobb megengedett értékét az 1. táblázat értékeinek interpolálásával mind a három ábrán ábrázoltuk. Eszerint, a vizsgált szakasz 95 km/h-s forgalmi sebessége esetén ez az érték 5,85, amelyet mindhárom diagramon egy vízszintes határ-vonallal jelöltük. Látható, hogy a J együttható értékei 2021-ben, valamint 2024-ben is közel kerülnek ehhez a határértékhez, ami a vizsgált pályaszakaszon a 102+410 km-től növekvő irányban mutatja a pálya romlását.

Ugyanakkor a 4. ábrán látható diagramokon a vizsgált szakasz utolsó szakaszán (103+410 km – 103+610) a TQI értékek csökkenése figyelhető meg, ami azt jelzi, hogy a vágány helyzetének javítására irányuló munkálatok a 2024-ben végzett mérések előtt történtek. Ezen állítás alátámasztására az alábbiakban összehasonlító elemzéseket mutatunk be a romániai (5-A. ábra) és a lengyelországi (5-B. ábra) előírások szerint számított TQI-indexek értékeivel.



A)

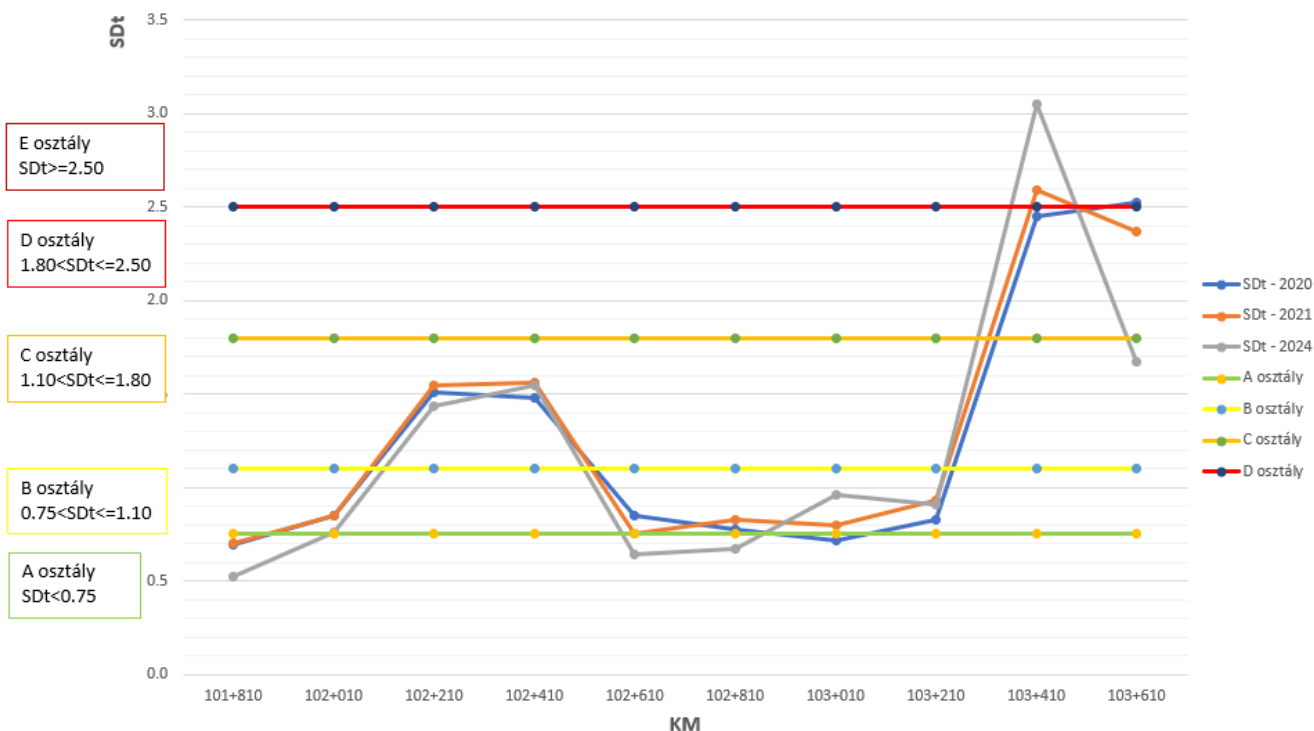


B)

5. ábra - J együttható és AS szórás összehasonlítása különböző évekbeli számítások szerint (2020, 2021 és 2024)

Az 5-A ábrán, a 2024-es évre vonatkozóan, a romániai előírások szerint számított TQI index növekedése figyelhető meg a km 102+010 -km 102+210 közötti szakaszon a lengyel normák szerint számított TQI-indexhez képest. Sőt, a számítás alapjául szolgáló adatokat elemezve, arra a következtetésre jutottak, hogy ez a növekedés az adott szakaszon fellépő nyomtáv-meghibásodásoknak köszönhető. Ugyanakkor észrevehető, hogy a TQI érték emelkedő tendenciája nem figyelhető meg az 5-B ábrán – a lengyel módszeren. Ez annak a ténynek köszönhető, hogy a lengyelországi módszer a J kombinált együttható számításában, a nyomtáv szórását csak 50% arányban veszi figyelembe.

Az EN 13848-6 szabvány öt minőségi osztályt határoz meg, amelyekre vonatkozóan meghatározza, sebességtől függően, a torzióra és a pálya vízszintes és függőleges helyzetére számított szórások határértékeit. A 6. ábrán látható az EN 13848-6 szabvány szerint a torziós szórás változása a három év mérései alapján kiszámítva.



6. ábra – EN 13848-6 szerinti SD_t szórás összehasonlítása különböző évekbeli számítások szerint (2020, 2021 és 2024)

Az ábrán látható, hogy a vizsgált vonalszakasz az utolsó 400 m kivételével a B és C minőségi osztályban helyezkedik el, ahol az osztályok jelentése a következő:

- A osztály – 10% legjobb minőségű elosztás az európai vonalakon

- B osztály – az európai vonalak minőségi eloszlásának 10–30%-a
- C osztály – az európai vonalak minőségi eloszlásának 30–70%-a
- D osztály – az európai vonalak minőségi eloszlásának 70–90%-a
- E osztály – az európai vonalak minőségi eloszlásának több mint 90%-a, ami a legkedvezőtlenebb 10% eloszlást jelenti [6]

Az MT 2256 / 2006. sz. rendelet szempontjából, a vizsgált szakaszt, a vonalkilométerek besorolása szempontjából az 1. - "Nagyon jó" minőségi osztályba sorolták. Ez az 1-től 6-ig terjedő minőségi osztályokba való besorolás a mért pályageometria egyes paramétereirekhez észlelt hibákhoz rendelt "büntetőpontok" száma alapján történik, amint a 2. táblázatban látható.

A vasút minőségi értékelése az MT 2256 / 2006 szerint

2. táblázat

Minőségi pontszám / km vagy átlagos pontszám		Minőségi osztály	Jelző
0	60	1	Nagyon jó
61	200	2	Jó 1
201	500	3	Jó 1
501	900	4	Megfelelő 1
901	1500	5	Megfelelő 1
1501	-	6	Nem megfelelő

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS AJÁNLÁSOK

A tanulmányban végzett elemzés jelentős különbségeket tár fel a román, lengyel és európai (EN 13848-6) vasúti pályaminőség értékelési módszertana között. Míg a román módszer egyedi szórásokon alapul, és hiányzik a paraméterek súlyozása, a lengyel megközelítés jelentős mértékben tükrözi az európai szabvány rendelkezéseit. Mindazonáltal a román módszer által generált kombinált TQI-profilok hasonló tendenciákat mutatnak, mint a lengyel és az európai módszerek – bár az eredmények enyhe eltolódásával.

Ez a következtetés arra utal, hogy a román vasúti hálózat keretében meg lehet határozni az EN 13848-6 szabványban előírt öt minőségi szint (A-tól E-ig) osztályozására vonatkozó küszöbértékeket. Ez a nyomvonal azonban csak akkor érhető el, ha kiterjedt vizsgálatokat végeznek a különböző vágányszakaszokon, különböző működési és geometriai feltételek mellett.

A harmonizált értékelési megközelítés kialakításának fontos tényezője a megfelelő súlyozási tényezők kiválasztása a kombinált pályaminőségi index (TQI) kiszámításához. Ezeknek a tényezőknek pontosan tükrözniük kell, hogy az egyes vágánygeometriai paraméterek – például a hosszanti szint, a nyomvonal és a torzió – hogyan befolyásolják a vágány tényleges helyzetét az ideális nyomvonalhoz és geometriához képest.

Az elemzett szakasz megfelel az európai szabványokat követő J együttható által meghatározott üzemi sebességhatárolásoknak. Az EN 13848-6 szabvány szerint az elemzett vasútvonal általános minőségi besorolása azonban, például a B osztály. Mindkét módszer jellemzően figyelembe veszi a teljes minőségi index (TQI) eloszlását a teljes útvonalon. Ezzel szemben a román megközelítés inkább a helyi geometriai hibákra összpontosít, és nem veszi figyelembe a pálya általános állapotát a teljes hosszában. Ez a korlátozás akadályozza a karbantartási vagy felújítási erőfeszítések hosszú távú teljesítménymutatókon alapuló kezelését és rangsorolását.

Az alábbi ajánlások célja a romániai vasúti minőségértékelések következtetésségének, összehasonlíthatóságának és működési relevanciájának javítása, összhangban a fejlődő európai szabványokkal.

Figyelembe véve a romániai vasúthálózat jelenlegi állapotát, amely meglehetősen kiterjedt, de részben leromlott, elengedhetetlen a pályaminőségi index (TQI) kiszámításának és értelmezésének fokozatos

összehangolása az európai szabványokkal. Ez a folyamat, a korlátozott pénzügyi és emberi erőforrások ellenére is fontos, mivel rendelkezésre áll a modern mérési technológia.

Ebben az összefüggésben a vágány minőségének értékeléséhez elengedhetetlen a következő vágánygeometriai paraméterek figyelembevétele, amelyek magukban foglalják a nyomtávot, az irányt, a hosszanti szintet és a torziót.

A pályaminőségi index (TQI) kiszámítására és értelmezésére vonatkozó hazai módszer összehangolása az európai normákkal számos előnnyel jár hazánk számára. Ezek az előnyök magukban foglalják a vasúti beavatkozások hatékonyabb rangsorolását eseteként a digitális döntéshozatali rendszerek integrálásával, a fokozott közlekedésbiztonságot, a jobb utaskényelmet és nem utolsósorban a csökkent karbantartási költségeket is.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a romániai CFR SA Nemzeti Vasúttársaságnak a kutatáshoz való értékes hozzájárulásukért. A minőségértékelési módszertanok elemzéséhez és összehasonlításához elengedhetetlen volt az EM 130 diagnosztikai mérőkocsival, a vizsgált vasútszakaszon, nyert vágánygeometriai mérési adatok rendelkezésre bocsátása. Ez a támogatás nagymértékben növelte a tanulmány megállapításainak pontosságát és relevanciáját.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Sándor H., Orban Zs.L., Szántó Z., IoT și Calea Ferată – Infrastructura Viitorului?, Today Software Magazine, Nr.143, mai 2024, ISSN 2284 – 6352, p.20-23.
- [2] Abdur Rohim Boy Berawi et al., Evaluating Track Geometrical Quality Through Different Methodologies, International Journal of Technology (2010) 1: 38-47, ISSN 2086-9614
- [3] CORDIS – EU research results, Final Report Summary – CAPACITY4RAIL (Increasing Capacity 4 Rail networks through enhanced infrastructure and optimized operations),
<https://cordis.europa.eu/project/id/605650/reporting>
- [4] SR EN 13848-1 + A1:2011, Aplicații feroviare. Cale. Calitatea geometriei căii. Partea 1: Caracterizarea geometriei căii, Cap.5: Condiții de măsurare.
- [5] Ministerul Transporturilor - Ordinul Ministrului Nr. 2256/27.11.2006 – Instrucțiuni pentru diagnoza căii și a liniei de contact efectuată cu automotorul TMC, Ed. Feroviară, 2007, ISBN 978-973-8923-01-1, România, Ministerul Transporturilor.
- [6] SR EN 13848-6 + A1:2021, Aplicații feroviare. Cale. Calitatea geometriei căii. Partea 6: Caracterizarea calității geometriei căii.
- [7] Sadeghi, J. & Askarinejad, H., Influences of track structure, geometry, and traffic parameters on railway deterioration. International Journal of Engineering, 2007, Volume 20, No. 3.
- [8] Sadeghi, J. & Askarinejad, H., Development of Improved Railway Track Degradation Models. International Journal of Structure and Infrastructure Engineering, 2008, Volume 3, Issue 4.
- [9] Sadeghi, J. & Askarinejad, H., Investigation on the effect of track structural conditions on railway track geometry deviations. Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part F, Journal of rail and rapid transit, 2009.
- [10] Stefan Offenbacher, Johannes Neuhold, Peter Veit, Matthias Landgraf, Analyzing Major Track Quality Indices and Introducing a Universally Applicable TQI, Applied Sciences - November 2020, DOI: 10.3390/app10238490.
- [11] Instrucțiuni pentru diagnoza căii și a liniei de contact efectuată cu automotorul TMC, Ministerul Transporturilor, Compania Națională de Căi Ferate "CFR" SA, Ordinul Min. nr. 2256/2006, Ed. Feroviară, 2007, ISBN 978-973-8923-01-1.
- [12]