

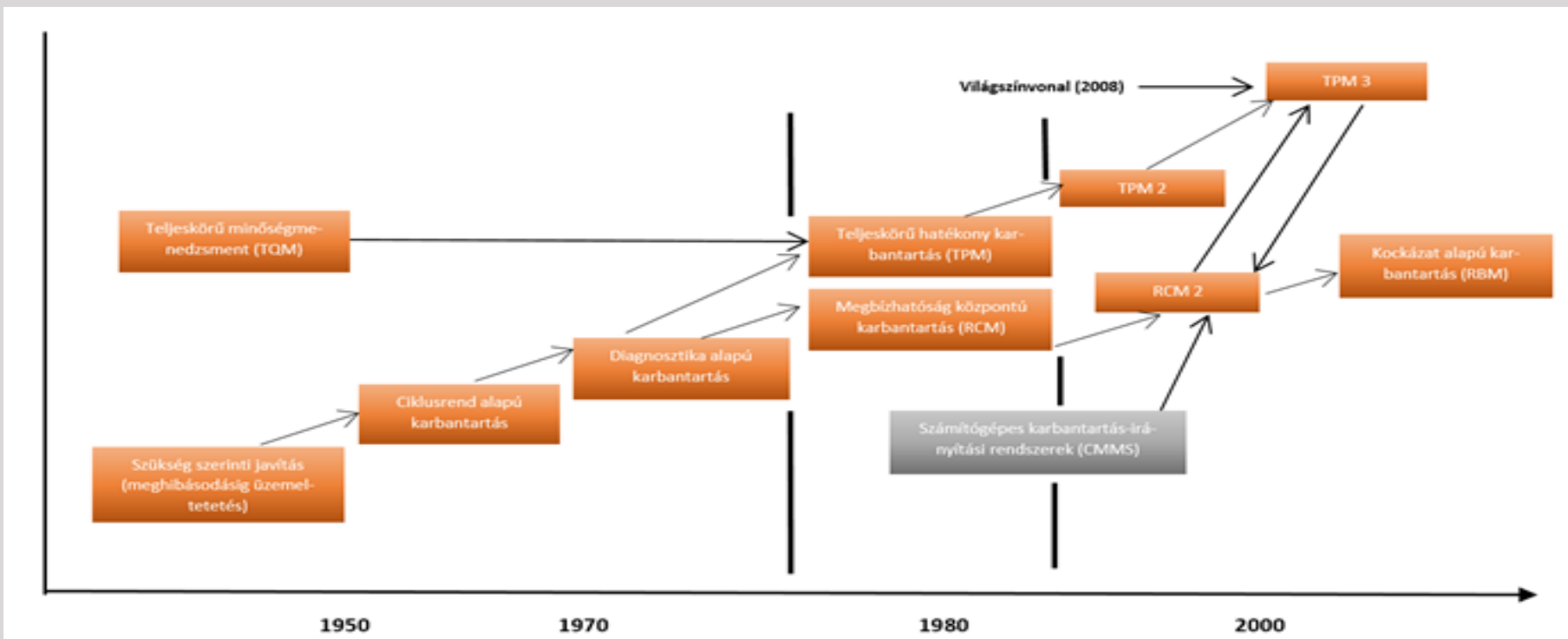
Karbantartási stratégiák szerepe a vasúti járművek karbantartásában – fókuszban a biztonság

Bevezetés

- A XIX. században az ipari forradalom eredményeként megjelenő valódi, az ember munkáját kiváltó gépek, berendezések elterjedésével egyre nagyobb teret kaptak az olyan üzemek, amelyekben számos gép kapott helyet, valamint a közlekedés területén is teret nyert a gőzgép és megépítették az első vasutat.
- A modern kor ideológiája szerint a gép nem csupán arra való, hogy az embert helyettesítse a nehéz fizikai munka területén, hanem egyre inkább kiterjessze az ember képességeit és segítse a mindennapokban.
- A gépesítés elterjedése nem csupán a termelés fellendülését eredményezte, hanem számos új igényt is megfogalmazott az ipar szereplői felé. Konkrétan felmerült az igény a termelő egységek, gépek, berendezés karbantartási, javítási feladatainak megszervezésére, elvégzésére.
- Ezt az időszakot tekinthetjük a „karbantartás” mint rendszerelem kialakulásának kezdő korszakának.
- **A modern karbantartási stratégiák kulcsfontosságú eleme a biztonság és nincs olyan tényező, amely ennek prioritását felülírná.**



Karbantartási stratégiák



- meghibásodásig történő üzemeltetés, szükség szerinti hibajavítás,
- ciklusrend alapú karbantartás, tervszerű megelőző karbantartás,
- üzemidő alapú, vagy teljesítmény szerinti karbantartás,
- állapotfüggő-, vagy prediktív karbantartás, diagnosztika bevezetése,
- tudás alapú karbantartás, mért adatok alapján meghozott döntés szerint végzett karbantartás, (Knowledge-Based Maintenance)
- megbízhatóság központú karbantartás (Reliability Centred Maintenance, RCM),
- teljes körű, hatékony karbantartás (Total Productive Maintenance, TPM), TPM 2, TPM 3,
- kockázat alapú karbantartás (Risk Based Maintenance, RBM).



Karbantartási stratégiák jellemzői



Felelősség a karbantartásért

Vasúti járműkarbantartás jogi keretrendszere

EU-rendeletek



Részletezik a karbantartási szervezetek tanúsítási rendszerét

Műhelyek jóváhagyása

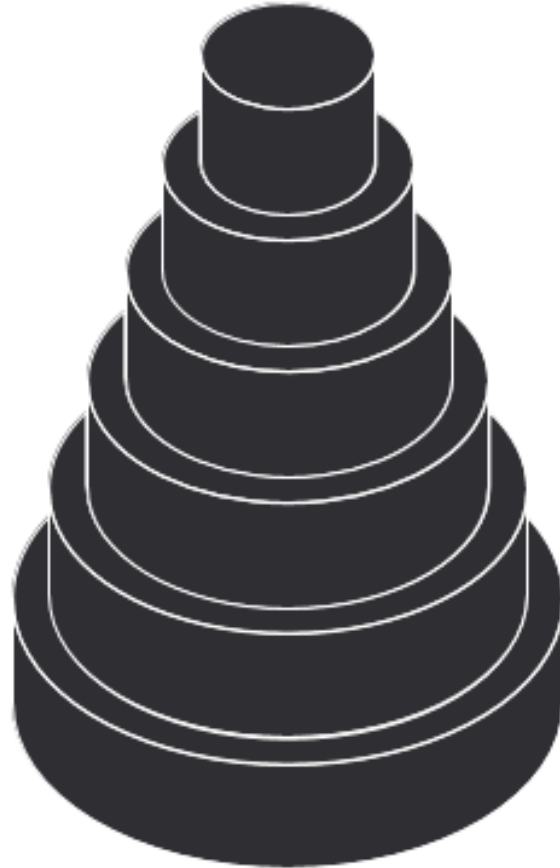


Szabályozza a vasúti járművek karbantartását végző műhelyokat

Megfelelőségértékelés



Biztosítja a vasúti építmények és járművek biztonságát



EU-irányelvek

Alapvető kötelezettségeket és tanúsítást határoznak meg



ECM-kötelezettségek

Rögzíti a karbantartásért felelős szervezetek követelményeit



Vasúti törvény

Meghatározza a vasúti rendszer szereplőinek felelősségét



Karbantartásért felelős szervezet – ECM –

A vasúti közlekedésben a járművek biztonságos műszaki állapotáért és rendszeres szervizeléséért a **karbantartásért felelős szervezet – ECM** (*Entity in Charge of Maintenance*) – felel.

A karbantartásért felelős szervezet a karbantartási rendszere révén biztosítja, hogy az általa karbantartott járművek biztonságos üzemi állapotban legyenek.



Biztonságkritikus alkatrészek

„A biztonsági szempontból kritikus részegységek különös figyelmet és prioritást igényelnek a karbantartási műveletek során. Az egyes részegységek kritikus vonatkozásai mindazonáltal a jármű konkrét kialakításához és a részegység konkrét funkcióihoz kapcsolódnak. Ezért nem lehetséges a biztonsági szempontból kritikus részegységeket kimerítően felsorolni. A biztonsági szempontból kritikus részegységek alapvető elemeit kell meghatározni”



Karbantartási stratégiák alkalmazásának hatása a vasúti biztonságra

Stratégia	Szükséges gyári/mérnöki input	Karbantartás során keletkező műszaki dokumentumok	Megbízhatósági/Biztonsági szint	Fő előny	Fő hátrány
Szükség szerinti javítás (meghibásodásig üzemeltetés)	Alapvető alkatrész-katalógusok, szerelési útmutatók.	Hibafeltáró lap, cserealkatrész-lista, javítási munkalap.	Kifejezetten alacsony	Maximális alkatrész-kihasználás	Kritikus és veszélyes üzemzavarok
Ciklusrend alapú karbantartás / TMK	Gyári szervizkönyv, ciklus táblázatok, csereperiódus-előírások.	Karbantartási utasítások, ellenőrzőlapok, műszaki megfelelőségi igazolás.	Közepes	Jól tervezhető leállások	Alul-, vagy túlkarbantartás, magas költségek
Üzemidő / Teljesítmény alapú	Gyártói üzemóra-/kilométer-határértékek, kenési táblázatok.	Futás teljes ítmény-jegyzőkönyv, időszakos műszaki vizsgálati lapok.	Biztonságos	Valós terheléshez igazodik	Nem látja a rejtett anyaghibákat
Diagnosztika alapú - állapotfüggő - karbantartás	Diagnosztikai bázis adatok, töréshatárok, kalibrációs görbék.	Rezgésdiagnosztikai diagramok, olajlabor-elemzések, hőkamerás felvételek.	Nagyon magas	Pontos hibaelőrejelzés	Drága diagnosztikai eszközök
Tudás alapú karbantartás (KBM)	Gyári telemetriai protokollok, hibakód-adatbázisok.	CAN-busz logfájlok, trendanalízis-riportok, MI által generált előrejelzések.	Kiváló	Adatvezérelt, intelligens döntések	Komplex IT- és adatinfrastruktúra
Megbízhatóság központi karbantartás (RCM)	Funkcionális leírások, tervrajzok, anyagfáradási modellek.	FMEA/FMECA jegyzőkönyv, hibaág-elemzések (FTA), logikai döntési fák.	Maximális	Funkcionális biztonságra fókuszál	Rendkívül időigényes bevezetés
Teljes körű (TPM 1-2-3) hatékony karbantartás	Vizuális gépkönyvek, kenési térképek.	Autonóm karbantartási csatlakozók, gépnapló, OEE (hatékonysági) lapok.	Magas és fenntartható	Minimális emberi mulasztás	Teljes vállalati kultúraváltást követel
Kockázat alapú karbantartás (RBM)	Szerkezeti integritási adatok, valószínűségi zámítási modellek.	Műszaki kockázati mátrix, kritikus alkatrészek kiemelt vizsgálati terve.	Költség-hatékonyan magas	Erőforrások optimális elosztása	Alacsony kockázattal elemek elhanyagolása

- az egyes karbantartási stratégiák bevezetése vagy alkalmazása során a karbantartásért felelős szervezetnek figyelembe kell vennie az elvárt megbízhatósági szintet, a közlekedésbiztonsági célok, valamint a vonatkozó jogszabályokban meghatározott követelmények teljesítése érdekében.



Biztonságkritikus alkatrészek kezelése

Biztonság szempontjából releváns részegységek	Biztonságkritikus alkatrészek	Kockázati szint	Alkalmazott karbantartási stratégia a kockázat csökkentésére	Hogyan csökkenti a kockázatot?
Futónai	Kerékpárok és tengelyek	Nagyon magas	Idő-/Futásteljesítmény-alapú megelőző + Állapot alapú	Szigorú kilométer-határonkénti ultrahangos és mágneses repedésvizsgálat a rejtett anyaghibák kiszűrésére.
Futónai	Tengelyágak és csapágyak	Nagyon magas	Prediktív (Monitorozás) + Állapot alapú	Szigorú kilométer-határonkénti vizsgálat, illetve fedélzeti hőmérséklet-érzékelők a folyamatos felügyeletre.
Fékberendezések	Kormányzelvek, fékhengerek	Nagyon magas	Idő alapú megelőző karbantartás	Rendszeres, naptári naphoz kötött működésellenőrzés, időszaki próbapadi kalibrálás, tömítéscserék és nyomáspróbák a működés garantálására.
Fékberendezések	Féktárcsák és fékbetétek	Magas	Állapot alapú karbantartás	A betétek vastagságának és a tárcsák kopásának/hajszálrepedéseinek vizuális és műszeres ellenőrzése ciklus és futásteljesítmény alapján.
Fékberendezések	Csúszásátló rendszer (WSP)	Közepes	Megelőző karbantartás + Elektronikus önteszt	A járművezérlő számítógép folyamatosan figyeli a kerékfordulat-érzékelők jeleit és hiba esetén azonnal jelez a műszerfalon, automatikus beavatkozás.
Vonatbefolyásoló rendszerek	ETCS / EVM fedélzeti egységek	Nagyon magas	Idő alapú megelőző karbantartás + Elektronikus öntesztelés	Minden szolgáltatáskezdéskor kötelező automatikus szoftveres/hardveres funkcióteszt és rendszeres hatósági felülvizsgálat.
Vonó- és ütközőkészülékek	Csavarkapocs, vonóhorog	Magas	Idő alapú megelőző + Állapot alapú	Rendszeres szemrevételezés, kenés, valamint meghatározott időközönkénti mágnesporos repedésvizsgálat a szerkezeti fáradás ellen.
Vonó- és ütközőkészülékek	Ütközők, energiaelnyelők	Alacsony	Idő alapú megelőző karbantartás	Időszakos szétszerelés, a belső rugalmas/hidraulikus elemek csillapítási képességének ellenőrzése és zsírozása.
Járműszerkezet	Forgóvázközet	Magas	Idő alapú megelőző (Nagyjavítás)	Főműhelyi revíziók során a festék eltávolítása utáni teljes szerkezeti hegesztési varratvizsgálat (ultrahang/röntgen) és geometriai kimérés.
Áramellátás	Áramszedő	Közepes	Állapot alapú + Prediktív Karbantartás	A széncsúszók kopásának mérése, valamint az automatikus leeresztő rendszer pneumatikus figyelése törés esetére. Működési paraméterek ciklus szerinti ellenőrzése.

- felépítésben követtük azt az elvet, hogy először a biztonság szempontjából kritikus részegységeket, majd azon belül az alkatrészeket azonosítottuk,
- részegységeken belüli sorrendet már a kockázati szint súlya alapján állítottuk össze, csökkenő sorrendben
- azonosított alkatrészek tekintetében minden esetben meg kell határozni a bevezetett karbantartási stratégián belül azt az eljárásrendet, amely biztosítja a rendkívüli üzemállapot bekövetkezésének elkerülését, ezzel csökkentve a baleset kockázatát
- fontos kiemelni, hogy a biztonságkritikus alkatrészek esetébe a megelőzésen van a hangsúly, tehát a meghibásodásig történő üzemeltetés szóba sem jöhet



Konklúzió

- ❑ A vasúti járművek műszaki megfelelőségének biztosítását a jogszabályok a Karbantartásért felelős szervezet feladatkörébe utalja, és előírja, hogy minden járműnek rendelkeznie kell ECM szervezettel.
- ❑ A karbantartásért felelős szervezet fontos feladata, hogy a megfelelő karbantartási stratégia alkalmazásával azonosítsa a jármű üzeme során megjelenő műszaki nem megfelelőségre visszavezethető kockázatokat.
- ❑ Rámutattunk, hogy a biztonság szempontjából kritikus alkatrészek azonosításának már a jármű gyártásakor meg kell történni, és annak folyamatos felügyeletét az ECM-nek kell ellátni.
- ❑ A biztonságos vasúti közlekedés a kockázatot csökkentő és a lehetséges meghibásodások előfordulását megelőző proaktív intézkedésekkel érhető el, ahelyett, hogy a vasúti balesetek utáni különféle hibákra és nemmegfelelőségekre – amelyek nagyon súlyos következményekkel járhatnak – reagálnánk.
- ❑ Ebben a feladatban nyújthat gyakorlati segítséget cikkünk a járműkarbantartási feladatokat ellátó felelős szervezetek számára.



Felhasznált irodalom

- [1] <http://hdl.handle.net/10890/17377> Dr. Pokorádi László Karbantartás elmélet (2026.03.11.)
- [2] Vermes P. A karbantartás mint a termelésmenedzsment támogatója. Multidiszciplináris Tudományok 1.1 (2011): 55-68.
- [3] Baksai G., Csete L. B., Nagy I., Pap N., Kertay N.: Állapotfüggő-és kockázatalapú karbantartást segítő rendszer felépítése. Delta-3N, Paks, 2006
- [4] Kosztyán Zs. T., Pribojszki-Németh A., Kovács Z.: Karbantartási projektek mátrix alapú tervezése. Alkalmazott matematikai lapok 33 (2016): 27-56.
- [5] Pokorádi L.: Modellek a karbantartásban. Gép 60.2009/4 (2009): 84-88.
- [6] Rostás S.: A karbantartási tevékenység digitális átalakításához szükséges képzési igények vizsgálata. Soproni Egyetem, Tanulmánykötet 2025: 102-111.
- [7] Böhm J. F.: A fenntartható közlekedés időszerű innovációja-az Állapotfüggő Karbantartás (ÁK) alkalmazása az üzemeltetésben. Dr Péter Tamás PhD (szerk.): Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia (IFFK 2013):- Budapest, Magyarország (2013): 28-2013.
- [8] Pokorádi L., Ágoston G.: Közlekedési karbantartó szakemberek véleményeinek összehasonlítása. IFFK 2017, Budapest aug.30 – szept. 1.
- [9] Gyüre F.: A negyedik ipari forradalom digitális újításai – Állapotfigyelő-karbantartó rendszerek hatása a termelékenységre. Külügyi Műhely 2021/1. 85-118.
- [10] Árva G., Bognár F., Erdeai J., Kövesi J.: Kockázat és megbízhatóság a menedzsmentben. Vezetéstudomány/Budapest Management Review 51 (2020): 70-84.
- [11] Malatinszky, S.: A jármű-karbantartási rendszer korszerűsítésének lehetőségei. Vasútgépészet, 2004/4 37- 43.
- [12] Bohlin, M., Forsgren, M., Holst, A., Levin, B., Aronsson, M., & Steinert, R. (2008, June). Reducing vehicle maintenance using condition monitoring and dynamic planning. In 2008 4th IET International Conference on Railway Condition Monitoring (pp. 1-6). IET..
- [13] Pfaff, R., Shahidi, P., & Enning, M. (2017, July). Connected freight rail rolling stock: a modular approach integrating sensors, actors and cyber physical systems for operational advantages and condition based maintenance. In PHM Society Asia-Pacific Conference (Vol. 1, No. 1).
- [14] Chen, F., Shang, D., Zhou, G., Ye, K., & Ren, F. (2024). Mileage-aware for vehicle maintenance demand prediction. Applied Sciences, 14(16), 7341.
- [15] Kistelek M., Csiba J., Sábitz L., Szigeti D.: Vasúti járművek üzeme és diagnosztikája, BME 2012.



Felhasznált irodalom

- [16] Eichstaedt, D., Gorzelanczyk, P. (2025) "Changes in the Use of Passenger Rail Transport in Poland due to the COVID-19 Pandemic", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 53(4), pp. 420–430. <https://doi.org/10.3311/PPtr.37645>
- [17] Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2016/798/oj/eng>
- [18] Gawlak, K. (2022). Safety critical components (SCC) in the maintenance management system for railway vehicle. Diagnostyka, 23. <http://www.diagnotyka.net.pl/Safety-critical-components-SCC-in-the-maintenance-management-system-for-railway-vehicle,156166,0,2.html>
- [19] Commission Implementing Regulation (EU) 2019/779 of 16 May 2019 laying down detailed provisions on a system of certification of entities in charge of maintenance of vehicles pursuant to Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulation (EU) No 445/2011.
- [20] Commission Implementing Regulation (EU) 2019/776 of 16 May 2019 amending Commission Regulations (EU) No 321/2013, (EU) No 1299/2014, (EU) No 1301/2014, (EU) No 1302/2014, (EU) No 1303/2014 and (EU) 2016/919 and Commission Implementing Decision 2011/665/EU as regards the alignment with Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council and the implementation of specific objectives set out in Commission Delegated Decision (EU) 2017/1474.
- [21] Commission Delegated Regulation (EU) 2018/762 of 8 March 2018 establishing common safety methods on safety management system requirements pursuant to Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EU) No 1158/2010 and (EU) No 1169/2010.
- [22] 24/2016. (VII. 18.) NFM rendelet a vasúti járművek karbantartását, javítását és időszakos vizsgálatát végző műhelyekről <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600024.nfm>
- [23] 44/2020. (XI. 19.) ITM rendelet a vasúti járművek karbantartási rendszeréről és a karbantartásért felelős szervezetekről <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2020-44-20-7Q>
- [24] CEN/TR 17696:2021 <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/877db36d-8114-4570-85de-80cfd1f4ec54/cen-tr-17696-2021>





Köszönöm a figyelmet!