

Katarzyna Chruzik, Rafał Wachnik

Monitorowanie czynności utrzymaniowych pojazdów w kolejnictwie – studium przypadku

Rozporządzenie Komisji Europejskiej nr 445/2011 [1] w sprawie systemu certyfikacji podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie (ECM) w zakresie obejmującym wagony towarowe nakłada na te podmioty obowiązek nadzorowania stanu wagonów towarowych, nie precyzując w nim metody ani sposobu nadzoru. W publikacji przedstawiono zagadnienia związane z monitorowaniem czynności utrzymaniowych dla pojazdów kolejowych oraz oparte na normie PN-EN 50126:2002 rozwiązania dedykowane podmiotom odpowiedzialnym za utrzymanie wagonów towarowych wraz z praktycznym zastosowaniem.

Model oceny

W celu spełnienia wymagań Rozporządzenia 445/2012 [1] oraz usprawnienia nadzoru nad pojazdami operatorzy kolejowi poszukiwali gotowych metod w zakresie monitorowania czynności utrzymaniowych. Niestety, brakuje obecnie publikacji opisujących pełen zakres nadzoru w odniesieniu do pojazdów kolejowych. Odpowiadając na potrzeby branży kolejowej, w Katedrze Transportu Szynowego Politechniki Śląskiej, na podstawie normy EN 50126:2002 Zastosowania kolejowe – Specyfikacja niezawodności, dostępności (rozumianej jako gotowości, zgodnie z polskojęzyczną literaturą), podatności utrzymano-

wej i bezpieczeństwa [2], opracowano metodykę służącą do monitorowania czynności utrzymaniowych pojazdów kolejowych. Poniżej przedstawiono wzory matematyczne służące do wyznaczania wartości poszczególnych wskaźników (tab. 1-4). Wzory te zostały opracowane zgodnie z wytycznymi z normy dla poszczególnych zakresów wskaźników.

Do wykonania analizy RAMS oraz obliczenia każdego z wskaźników – które w poniższym przypadku dotyczą tylko eksploatacji pojazdu, a nie całego cyklu życia – niezbędne są dane dotyczące wagonu oraz dane o jego eksploatacji. Są to: typ wagonu, rodzaj czynności wraz z opisem, kod uszkodzenia, rodzaj uszkodzonego systemu, informacja, czy jest to system krytyczny, oszacowany skutek uszkodzenia, warsztat utrzymaniowy wykonujący czynność, data wycofania z użytkowania, data początku czynności utrzymania, data końca czynności utrzymania, data przywrócenia do użytkowania, przebieg. W zależności od rodzaju wskaźnika do wzoru wybierane są odpowiednie informacje.

Należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, iż wskaźniki przedstawione w tabelach 1-4 przedstawiają wartości średnie. W badanej populacji mogą występować natomiast wartości znacznie odbiegające od obliczonej średniej. Niestety, metoda standardowego obliczania powyższych wskaźników nie jest odporna na

Tab. 1. Wskaźniki RAMS – obszar niezawodności

	Wskaźniki	Dane	Sposób wyznaczenia
FPMK	Liczba uszkodzeń na milion kilometrów	n – liczba uszkodzeń D _T – liczba przejechanych kilometrów w analizowanym okresie	$FPMK = \frac{n \cdot 1000000}{D_T} [-]$
MTBF	Średni czas pomiędzy uszkodzeniem (średni czas bez uszkodzenia) dla systemów odnawialnych / naprawialnych	n – liczba uszkodzeń D _{Ai} – data wystąpienia uszkodzenia, i = 1, 2, ...	$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (D_{A_{i+1}} - D_{A_{zi}})}{n-1} [\text{dni}]$
MDBF	Średni dystans pomiędzy uszkodzeniem (liczba kilometrów bez uszkodzenia) dla systemów odnawialnych / naprawialnych	n – liczba uszkodzeń P _{Ai} – stan licznika przy kolejnych uszkodzeniach, i = 1, 2, ...	$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (D_{A_{i+1}} - D_{A_i})}{n-1} [\text{km}]$

Źródło: oprac. własne.

Tab. 2. Wskaźniki RAMS – obszar dostępności

	Wskaźniki	Sposób wyznaczenia
A _p	Dostępność ze względu na czynności planowane	$A_p = \frac{MTBM}{MTBM + MTTR} [\%]$
A _N	Dostępność ze względu na czynności nieplanowane	$A_N = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} [\%]$
A ₀	Dostępność operacyjna	$A_0 = 1 - [(1 - A_p) + (1 - A_N)]$
F _A	Dostępność taboru	$F_A = \frac{\text{liczba dostępnego taboru}}{\text{liczba taboru}} [\%]$

Źródło: oprac. własne.

takie przypadki, jednak zastosowanie odpowiedniego sortowania danych czy testu statystycznego eliminującego skrajne wartości może pozwolić na ich wykluczenie przed włączeniem do analizy. Warto jednak zastanowić się nad przyczyną pojawiania się odstających wyników i wdrożyć odpowiednie działania korygujące w przyszłości.

W celu obliczenia wskaźników należących do obszaru bezpieczeństwa należy przeprowadzić szczegółową analizę ryzyka zagrożeń na etapie eksploatacji dla pojazdów kolejowych.

Tab. 3. Wskaźniki RAMS – obszar podatności na utrzymanie

Wskaźniki		Dane	Sposób wyznaczenia
MTTR	Średni czas do przywrócenia	n – liczba wszystkich czynności utrzymania N _{Pi} – data wycofania z eksploatacji, i = 1, 2, ... N _{Zi} – data przywrócenia do eksploatacji, i = 1, 2, ...	$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{Zi} - N_{Pi})}{n} \quad [\text{dni}]$
MTBM	Średni czas pomiędzy planowanymi czynnościami utrzymania	n – liczba planowanych czynności utrzymania U _{Pi} – data początku czynności, i = 1, 2, ... U _{Zi} – data zakończenia czynności, i = 1, 2, ...	$MTBM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (N_{Pi} - N_{Zi-1})}{n-1} \quad [\text{dni}]$
MDBM	Średni dystans pomiędzy planowanymi czynnościami utrzymania	n – liczba planowanych czynności utrzymania P _{Ui} – stan licznika przy kolejnych czynnościach, i = 1, 2, ...	$MDBM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (P_{Ui+1} - P_{Ui})}{n-1} \quad [\text{km}]$
MTTM	Średni czas działań związanych z utrzymaniem	n – liczba wszystkich czynności utrzymania U _{Pi} – data początku czynności, i = 1, 2, ... U _{Zi} – data zakończenia czynności, i = 1, 2, ...	$MTTM = \frac{\sum_{i=1}^n (U_{Zi} - U_{Pi})}{n} \quad [\text{dni}]$

Źródło: oprac. własne.

Tab. 4. Wskaźniki RAMS – obszar bezpieczeństwa

Wskaźniki		Dane	Sposób wyznaczenia
MTBSF	Średni czas pomiędzy uszkodzeniami systemowymi	n – liczba uszkodzeń systemowych D _{A sys i} – data kolejnych uszkodzeń systemowych, i = 1, 2, ... Uszkodzenia systemowe dotyczą: systemów hamulcowych, zestawów kołowych, urządzeń ciągowych, zbiorników i zaworów wagonów towarowych przeznaczonych do przewozu towarów niebezpiecznych	$MTBSF = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (D_{A\ sys\ i+1} - D_{A\ sys\ i})}{n-1} \quad [\text{dni}]$
MTBHF	Średni czas pomiędzy uszkodzeniami stwarzającymi zagrożenie	n – liczba uszkodzeń wywołujących stan zagrożenia D _{AFi} – daty kolejnych uszkodzeń stwarzających zagrożenie (czyli takich, dla których skutek w tablicy FMEA jest większy od przyjętej wartości), i = 1, 2, ...	$MTBHF = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (D_{AFi+1} - D_{AFi})}{n-1} \quad [\text{dni}]$
H	Stopień zagrożenia	L _{AF} – liczba uszkodzeń wywołujących stan zagrożenia (j.w.) T – analizowany okres czasu / liczba lat n – liczba wszystkich uszkodzeń	$H_{(t)} = \frac{L_{AF}}{T} \quad [-]$
			$H_{(na)} = \frac{L_{AF}}{n} \quad [\%]$

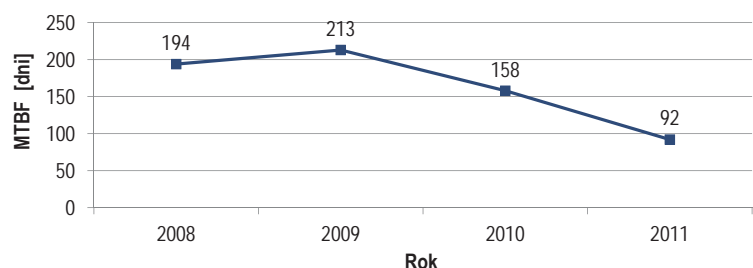
Źródło: oprac. własne.

Analiza RAMS

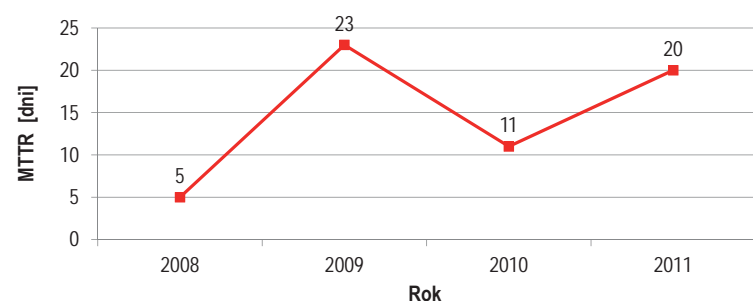
Analiza RAMS, której wyniki prezentowane są w niniejszym rozdziale, została wykonana dla sześciu typów wagonów towarowych (441V, 441Va, 436V, 412Z, 440V, 412W), należących do dużego przewoźnika towarowego. Analiza ta obejmuje lata 2008–2011. Podczas wykonywania obliczeń uwzględniona została liczebność danego typu wagonu w każdym roku jego eksploatacji.

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki analizy RAMS dla badanych typów wagonów – rys. 1–6 – oraz zestawienie wszystkich wartości poszczególnych wskaźników (pełen okres analizy, wszystkie typy wagonów – rys. 7–15). Dodatkowo przeprowadzono analizę rodzajów występujących uszkodzeń; 178 zidentyfikowanych awarii podzielono na 12 kategorii:

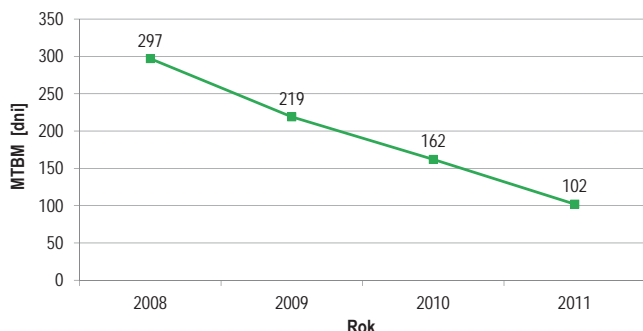
- 1) nadwozie pojazdu,
- 2) ostoje, ramy, wózki,
- 3) układ hamulcowy,
- 4) układ napędowy (z wyłączeniem zestawu kołowego),
- 5) układ sterowania,
- 6) układ zasilania,
- 7) urządzenia ciągowe i zderzne,
- 8) usprężynowanie,



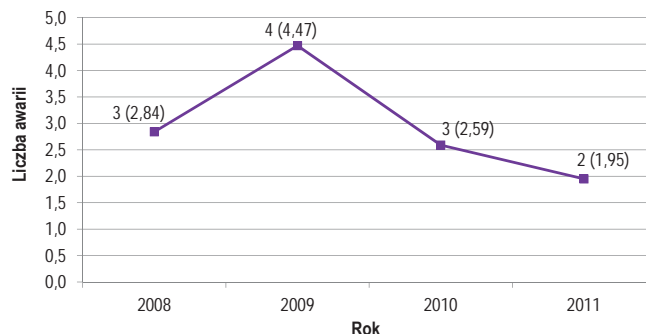
Rys. 1. Średni czas pomiędzy uszkodzeniami (MTBF) dla wagonu typu 441V
Źródło: oprac. własne.



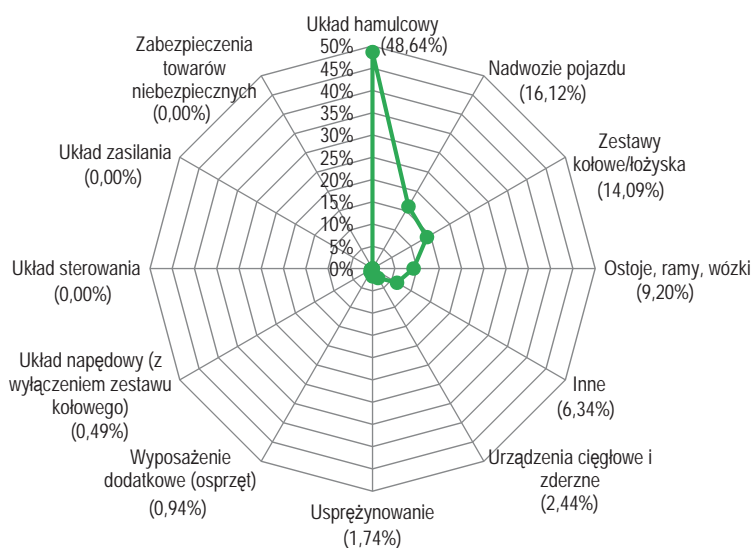
Rys. 2. Typ 441V – średni czas przywrócenia do użytkowania – MTTR – naprawy awaryjne i planowe
Źródło: oprac. własne.



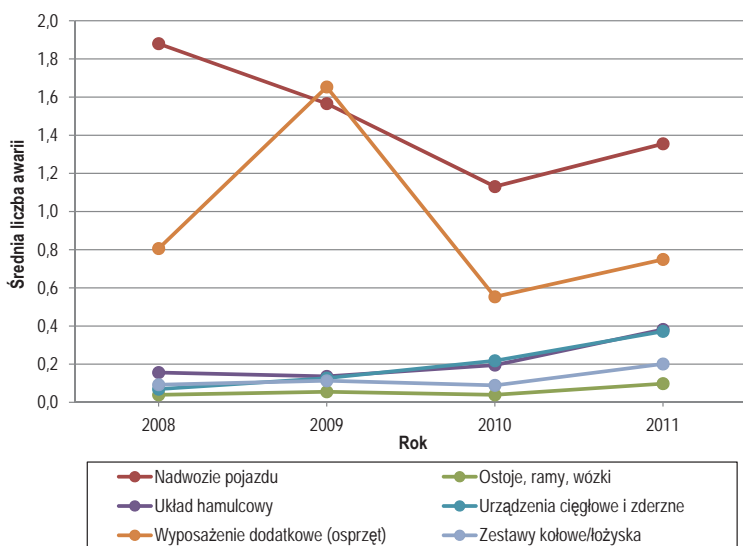
Rys. 3. Średni czas pomiędzy planowymi czynnościami utrzymania (MTBM) dla wagonu typu 441Va
Źródło: oprac. własne.



Rys. 4. Średnia liczebność uszkodzeń przypadająca na jeden wagon dla wagonu typu 436V
Źródło: oprac. własne.



Rys. 5. Procentowy udział uszkodzeń przypadających na poszczególne kategorie dla wagonu typu 412Z
Źródło: oprac. własne.



Rys. 6. Średnia liczebność uszkodzeń przypadających na poszczególne kategorie z podziałem na lata dla wagonu typu 440V
Źródło: oprac. własne.

- 9) wyposażenie dodatkowe (osprzęt),
- 10) zabezpieczenia towarów niebezpiecznych,
- 11) zestawy kołowe / łożyska,
- 12) inne.

Dla każdego typu wagonu towarowego wygenerowano raport zawierający wartości wskaźników, które mogą zostać porównane z wartościami założonymi w Dokumentacji Systemu Utrzymania (DSU), co pozwoli zapoznać się z osiągniętymi rezultatami działań przedsiębiorstwa.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza RAMS została wykonana dla sześciu typów wagonów towarowych należących do dużego przewoźnika towarowego. Analiza ta dotyczy lat 2008–2011. Podczas wykonywania obliczeń uwzględniona została liczebność danego typu wagonu, pojedynczo dla każdego roku jego eksploatacji.

Wszystkie wartości wskaźników obliczono z uwzględnieniem liczebności poszczególnych typów wagonów towarowych – tab. 5.

Wyznaczone wartości wskaźników RAMS dla poszczególnych typów wagonów pokazane są na rysunkach 7–15. Wyniki przedstawiają wartości średnie przypadające na jeden wagon.

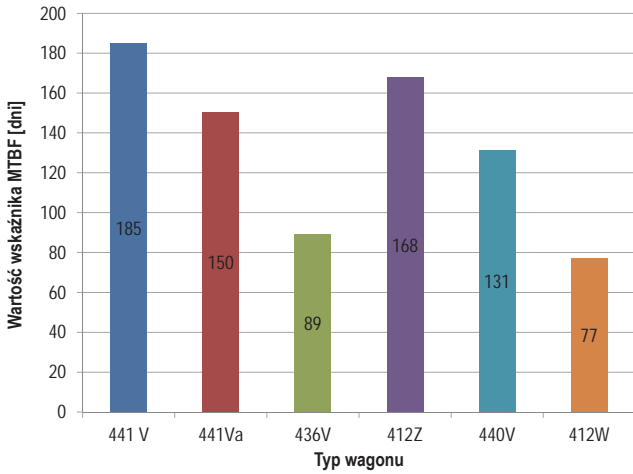
Analizując wskaźniki opisane na rysunkach 7–15, można zauważyć, że:

- najczęstszym uszkodzeniem ulega typ 412W oraz 436V;
- średni czas przywrócenia do użytkowania jest najniższy dla typu 441Va, zaś najdłuższy dla 412Z;
- typ 412Z charakteryzuje również najdłuższy okres pomiędzy planowanymi czynnościami utrzymania;
- średni czas pomiędzy uszkodzeniami systemowymi lub uszkodzeniami wywołującymi stan zagrożenia jest najniższy dla typu 436V, jednak dla pozostałych typów wartość tego okresu jest zbliżona;
- dostępność operacyjna jest najwyższa dla typu 441Va, najniższa – wynosząca tylko 64% – dla 440V.

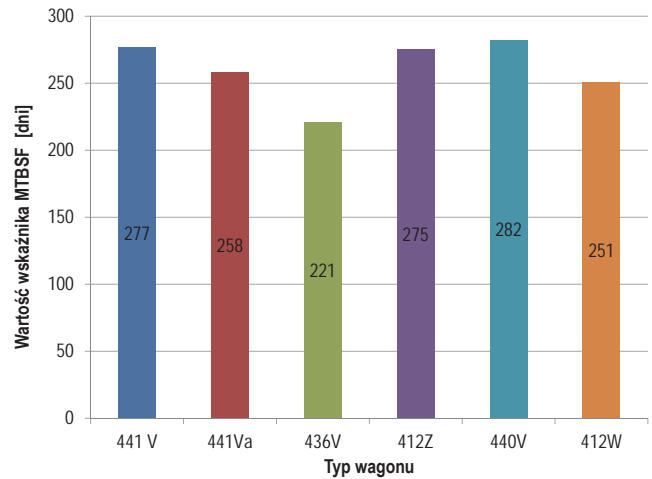
Tab. 5. Liczebność typów wagonów towarowych

Typ	441V	441Va	436V	412Z	440V	412W
Liczebność	270	501	598	618	2 446	15 239

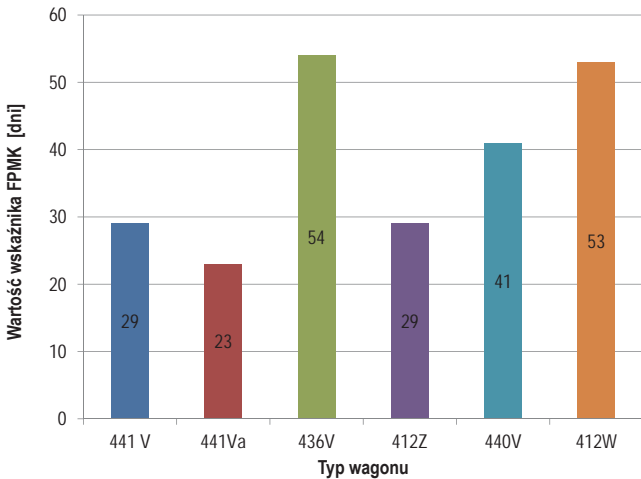
Źródło: oprac. własne.



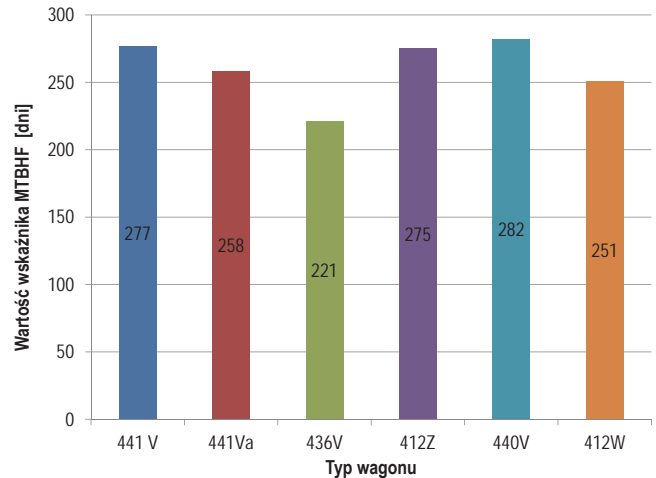
Rys. 7. Średni czas pomiędzy uszkodzeniami – MTBF w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.



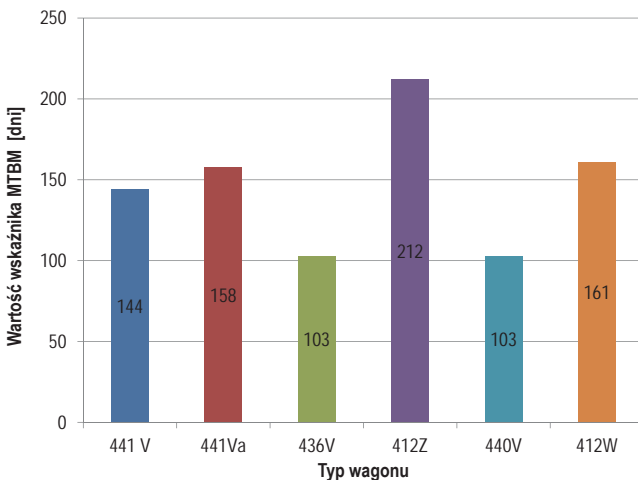
Rys. 8. Średni czas pomiędzy uszkodzeniami systemowymi – MTBSF w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.



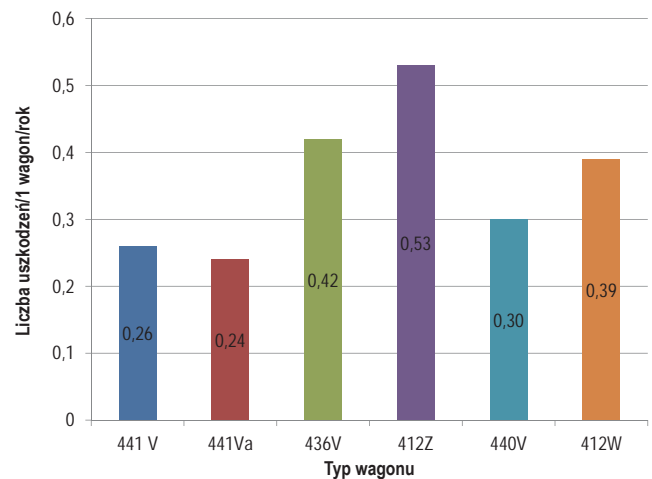
Rys. 9. Średnia liczba uszkodzeń na milion kilometrów (FPMK) w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.



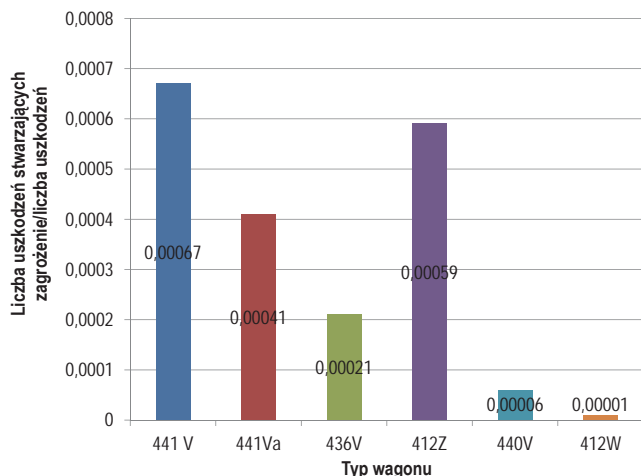
Rys. 10. Średni czas pomiędzy uszkodzeniami stwarzającymi zagrożenie – MTBHF w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.



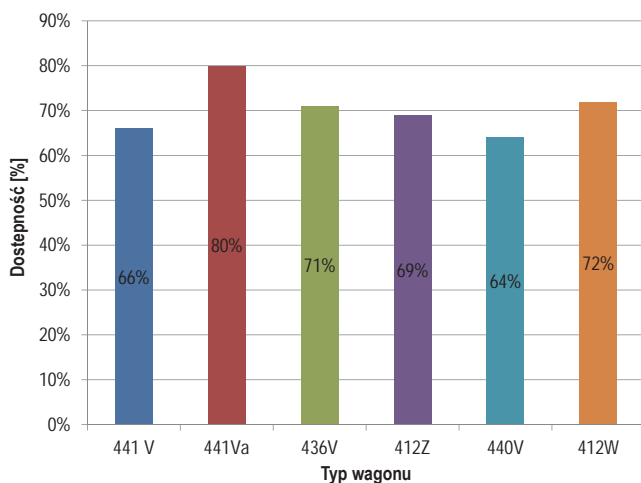
Rys. 11. Średni czas pomiędzy planowanymi czynnościami utrzymania – MTBM w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.



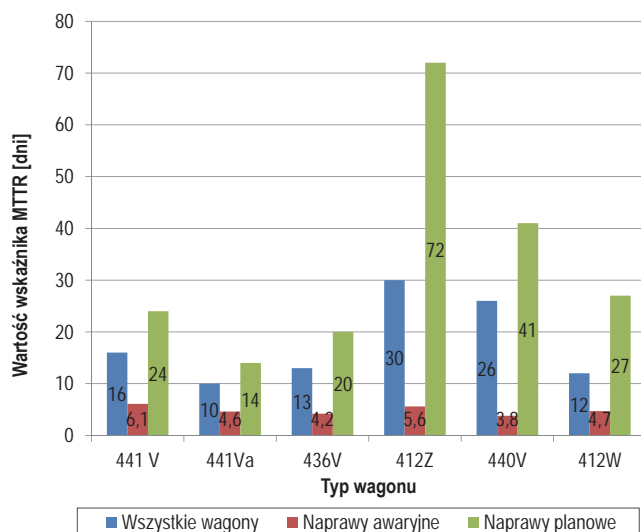
Rys. 12. Średni stopień zagrożenia – $H(t)$ w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.



Rys. 13. Średni stopień zagrożenia – $H(na)$ w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.



Rys. 14. Dostępność (gotowość operacyjna) – A_o w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.



Rys. 15. Średni czas przywrócenia do użytkowania (MTTR) w latach 2008–2011
Źródło: oprac. własne.

Dzięki przeprowadzonej analizie można stwierdzić, że na największe uszkodzenia we wszystkich typach wagonów narażone są układ hamulcowy oraz nadwozie pojazdu. Należy zwrócić uwagę, że uszkodzenia związane z układem hamulcowym mogą stwarzać i stwarzają w praktyce największe stany zagrożenia w transporcie kolejowym.

Wartości większości wskaźników pogarszają się w miarę upływu lat, co jest ściśle związane ze starzeniem pojazdów.

Analizując rysunki 7–15, nie można jednoznacznie stwierdzić, który wagon posiada najlepsze wartości dla całej grupy wskaźników. Najczęściej jednak korzystniejsze wartości uzyskują wagony typu 441Va, 412W i 4402.

Główne wnioski z przeprowadzonej analizy RAMS dotyczą samego procesu uzyskiwania i obróbki danych. Można zauważyć nieścisłości w zapisie informacji, a w szczególności w zakresie dat wycofania i przywrócenia do eksploatacji. Przykładem może być wycofywanie tego samego wagonu i przywracanie do użytkowania dzień po dniu czy prawie natychmiastowe ponowne wycofanie. Prawdopodobnie właśnie takie działania, w przypadku których trudno o stwierdzenie jednoznacznych nieprawidłowości w zapisach, mogą powodować generowanie błędnych wyników analizy RAMS, np. skrócenie średniego czasu pomiędzy uszkodzeniami czy naprawami. Być może wprowadzenie jednego systemu informatycznego dla całego przedsiębiorstwa, ujednoczenie sposobu zapisu danych czy poprawa procedur dotyczących przekazywania wagonów do naprawy pozwolą na wykluczenie tych błędów. Można również dodać, że na podstawie otrzymanych danych niemożliwe było wyznaczenie wskaźnika dotyczącego średniego czasu potrzebnego na czynności utrzymania, tzw. MTTM, którego opracowany wzór znajduje się w tabeli 3. Istnieje również możliwość powstania dodatkowego niewidocznego błędu – zmiany numerów wagonów, która ma miejsce na przestrzeni ostatnich kilku lat w wyniku modernizacji pojazdów. Wdrażane nowe standardy w zakresie środków technicznych zmuszają do stopniowej ich modernizacji, natomiast brak oznaczenia, że dany wagon występuje w badanym okresie czasu pod dwoma numerami identyfikacyjnymi, powoduje, że wskazana liczebność wagonów (w tym liczebność w każdym roku użytkowania) będzie błędna.

Warto zwrócić uwagę, że analiza RAMS jest stosowana w przypadku polskich przewoźników kolejowych od niedawna. Wykluczenie błędów na etapie wdrażania monitorowania procesu utrzymania pojazdów kolejowych pozwoli na uzyskanie rzetelnych wyników służących poprawie bezpieczeństwa procesu utrzymania pojazdów kolejowych i obniżeniu jego koszty.

Bibliografia:

1. EN 50126:2002: Zastosowania kolejowe – Specyfikacja niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa.
2. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 445/2011 z dnia 10 maja 2011 r. w sprawie systemu certyfikacji podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie w zakresie obejmującym wagony towarowe oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 653/2007.

Autorzy:

dr inż. **Katarzyna Chrużik** – Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Transportu Szynowego
mgr **Rafał Wachnik** – Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Transportu Szynowego