

Stan i możliwości szerszego stosowania elastomerów jako elementów sprężystych w kolejowych urządzeniach pociągowo – zderznych

W artykule przedstawiono aktualny stan w zakresie stosowania urządzeń pociągowo-zderznych z elementami sprężystymi z elastomeru stałego, problemy dotyczące charakterystyki amortyzatora tych urządzeń w temperaturze pokojowej i w temperaturach skrajnych oraz przewidywany dalszy rozwój tych elementów i możliwości ich szerszego zastosowania.

1. Wprowadzenie

Do kolejowych urządzeń pociągowo-zderznych należą:

- zderzaki boczne,
- urządzenie pociągowe (z hakiem),
- amortyzatory o dużym skoku, montowane w środku wagonu,
- sprzęg samoczynny.

Najważniejszym zespołem każdego z wymienionych urządzeń jest amortyzator, którego zadaniem jest łagodzenie działania sił wzdłużnych, występujących w pojeździe podczas eksploatacji, a tym samym ochrona przewożonego ładunku i samego pojazdu.

Aby ochrona ta była wystarczająca, urządzenia pociągowo-zderzne muszą spełniać określone przez Międzynarodowy Związek Kolei (UIC) podstawowe wymagania tj.

- posiadać zdolność przejmowania i pochłaniania określonej energii, wytwarzanej przez siły wzdłużne,
- zapewnić stabilność pracy (parametrów) w określonym okresie eksploatacji (np. 6 lat),
- wykazać małą zmianę parametrów urządzenia pod wpływem zmiany temperatury.

Ponadto w każdych warunkach eksploatacyjnych (silne mrozy i upały) amortyzator musi zapewnić wyczerpanie skoku roboczego oraz powrót do stanu wyjściowego.

Wymiary gabarytowe amortyzatora są przez UIC ograniczone.

W zależności od sposobu amortyzacji, w urządzeniach pociągowo-zderznych pojazdów szynowych stosowane są amortyzatory:

- hydrauliczne, (zwane również: hydrodynamiczne) np. typu OLEO,
- hydrostatyczne (elastomer płynny) np. typu JARRET, KAMAX,
- pierścieniowe stalowe np. typu RINGFEDER,
- z pierścieniami gumowymi różnego kształtu np. SPENCER - MOULTON, PAULSTRA, PIRELLI, SEMPERIT, STOMIL,
- z elementami sprężystymi z elastomeru stałego (tworzywa sztuczne) np. MINER, KEYSTONE,

- specjalne do sprzęgów samoczynnych (cierne, cierne z elementami sprężystymi z tworzywa sztucznego),
- kombinowane z wymienionych elementów np. OLEO – RINGFEDER, ETH.

Poszczególne rodzaje amortyzatora różnią się parametrami (charakterystyką) i ceną.

Każdy z wymienionych rodzajów amortyzatora posiada swoje zalety i wady dla porównywalnej pojemności energetycznej i z tego względu oraz z uwagi na cenę Zarządy Kolejowe poszczególnych krajów preferują stosowanie u siebie określonych rodzajów amortyzatora.

Artykuł dotyczy amortyzatorów z elementami sprężystymi z elastomeru stałego.

2. Wymagania UIC dotyczące urządzeń pociągowo-zderznych

Wymagania UIC dotyczące m.in. amortyzatorów z elastomerowymi elementami sprężystymi dla urządzeń pociągowo-zderznych, w zakresie budowy, charakterystyki oraz badań zawarte są w następujących przepisach (kartach) UIC:

- | | |
|---|--|
| a) UIC 520
6 wydanie
nakład
z 1.07.1995 | Wagony towarowe, wagony pasażerskie i wagony bagażowe. Części urządzenia ciągnikowego. Normalizacja. |
| b) UIC 524
1 wydanie
z 1.01.1978
zm. 6 z 1.01.1986 | Wagony towarowe.
Warunki techniczne, jakim muszą odpowiadać aparaty sprężynowe dla wagonów towarowych ze sprzęgiem samoczynnym kolei członków UIC i OSŻD. |
| c) UIC 526-1
1 wydanie
z 1.01.1981
zm. 5 z 1.01.1994 | Wagony towarowe. Zderzaki o skoku 105 mm. |

d) UIC 526-3 Wagony towarowe. Zderzaki o skoku
1 wydanie 130 i 150 mm.
z 1.07.1992
zm. 1 z 01.01.1994

e) UIC 528 Urządzenia zderzakowe dla wagonów
7 wydanie pasażerskich.
z 1.01.1991
zm. 1 z 1.07.1995

f) UIC 529 Wagony towarowe. Amortyzatory
1 wydanie hydrodynamiczne o dużym skoku.
z 01.01.1978 Warunki techniczne.

g) UIC 827-1 Warunki techniczne na dostawę
2 wydanie elementów z elastomerów dla urządzeń
z 01.01.1990 pociągowo-zderznych.

Wymagania dotyczące podstawowych parametrów amortyzatorów podano w tabeli 1.

Podstawowe parametry amortyzatora w temperaturze 15°C

Tabela 1

L.p.	Nr Karty UIC	Dotyczy	PARAMETR					
			We ^{*)} kJ		F _D	$\frac{W_a}{W_e}$	F _o	Skok
			dyn.	stat.	kN	%	kN	mm
1.	520	Urządzenia pociągowego	brak wymag.	≥ 8 ≥ 20 ¹⁾	≥ 550	≥ 30	≥ 20	50 ÷ 60
2.	524	Sprzęgu samocz. - ściskanie Grupa I Grupa II Grupa III	≥ 60 ≥ 95 ≥ 120	} ≥ 45 ≥ 60	dyn. ≤ 1200 ≤ 1600 ≤ 1850	stat. ≥ 60	min. 30 max. 130	110
		- rozciąganie			stat. min. 550 max. 1000	≥ 60		≥ 70
3.	526-1	Zderzaka wag. towarowego: Kat. A B C	≥ 30 ≥ 50 ≥ 70	≥ 12,5	dyn. ≤ 1500 min 350 stat. ≤ 1500 max 1000 ≤ 1300	dyn. ≥ 60 stat. ≥ 50	min. 10 max. 50	105
4.	526-3	Zderzaka wag. towarowego o wydł. skoku : • 130 • 150		≥ 13,0 ≥ 18,0	stat. ≤ 600 ≤ 880	stat. ≥ 50	min. 35 max. 90	130 150
5.	528	Zderzaka wago- nu osobowego	brak wy- magań	≥ 10	stat. min. 300 max. 1000	≥ 50	min. 7,5 max. 50	110
6.	529	Urządzenia zde- rznego o dużym skoku	110 do 150		dyn. ≤ 800	dyn. ≥ 60		600 do 700
7.	827-1	Warunków techn. na dosta- wę elastomeru	nie zawiera ww. parametrów, zawiera wymagania dotyczące próbek materiału i badań stosów amortyzatora.					

*) oznaczenia jak na rys. 1

¹⁾ dla ciężkich pociągów

W artykule pominięto zderzaki o skoku 75 mm wg UIC 526-2, gdyż PKP nie przewidują ich dalszego stosowania (będą wymieniane w ramach modernizacji taboru na zderzaki o skoku 105 mm).

Ponadto w pracach projektowo-badawczych i rozwojowych nad ulepszeniem amortyzatorów należy uwzględnić jako wymagania uzupełniające wnioski z badań, przeprowadzonych w ostatnich latach w ramach UIC i zawartych w raportach ERRI B36/RP 28 i RP32 oraz zwłaszcza w B51/RP27 [6], chociaż wnioski te nie są jeszcze zawarte w formie wymagań w kartach UIC.

3. Stosowane elementy sprężyste z elastomeru stałego

Aktualnie elastomerowe elementy sprężyste produkowane są przez 2 firmy amerykańskie:

– MINER, typu TecsPak, stosowane wg prospektu firmy:

- do zderzaków kategorii A, B i C wagonów towarowych,
- do zderzaków wagonów osobowych,
- do urządzenia cięgiowego.

Przykładową charakterystykę statyczną zderzaka kat. A pokazano na rys. 2 (E105).

– Keystone Industries, stosowane wg prospektu firmy:

- do urządzenia cięgiowego,
- do zderzaków wszystkich rodzajów,
- do amerykańskiego sprzęgu samoczynnego.

Każda z tych firm stosuje opracowane przez siebie i opatentowane tworzywo.

Wyroby te są w Polsce znane głównie z katalogów i prospektów.

Producenci podają, że ich wyroby spełniają wszystkie wymagania UIC, w tym dotyczące niskich temperatur.

W Europie elementy tych firm są dotychczas stosowane w zderzakach i urządzeniach pociągowych w stosunkowo niewielkiej liczbie pojazdów m. in. ze względu:

- na brak do niedawna odpowiednich certyfikatów na elementy sprężyste,
- w krajach europejskich nie uruchomiono jeszcze na większą skalę produkcji tworzywa i niektóre Zarządy Kolejowe mają obawy, że będą skazani na ciągły import z USA,
- niektóre Zarządy Kolejowe nie nabrały jeszcze przekonania, że wyroby tych firm spełniają w pełni wymagania UIC, zwłaszcza w zakresie niskich temperatur,
- szereg Zarządów Kolejowych preferuje rodzimą produkcję urządzeń pociągowo – zderznych z różnych względów.

Na PKP elementy sprężyste ww. firm nie są dotychczas stosowane w urządzeniach pociągowo-zderznych. Nie ma również elementów sprężystych z tworzywa krajowego.

W Rosji prowadzone są prace nad modernizacją sprzęgu SA3 i próbowane są różne amortyzatory, m. in. z użyciem elastomerowych elementów sprężystych, ale wymagania temperaturowe są tam ostrzejsze ($\pm 60^{\circ}\text{C}$). Ulepszone sprzęgi samoczynne nie są jeszcze stosowane na szeroką skalę.

Należy podkreślić, że UIC nie stawia żadnych wymagań odnośnie do składu chemicznego, technologii wykonania i pochodzenia elastomeru, stosowanego na elementy sprężyste. Ocena przydatności danego tworzywa na potrzeby kolejnictwa dokonywana jest na podstawie badania amortyzatora (homologacja), przy czym badania temperaturowe i trwałości stanowią podstawowe kryterium oceny.

4. Problemy związane z charakterystyką amortyzatora

Pakiet elementów sprężystych (amortyzator) musi spełniać następujące zasadnicze wymagania UIC:

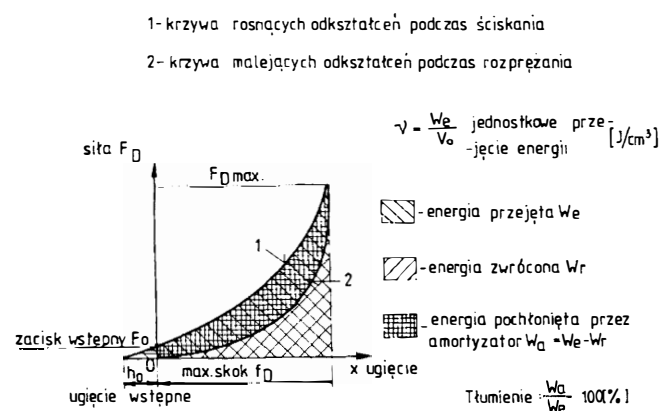
1. posiadać określoną charakterystykę w temperaturze otoczenia (pokojoyej):
 - statyczną, zbadaną na stanowisku,
 - dynamiczną, zbadaną podczas nabiegania wagonów,
2. posiadać określoną charakterystykę w temperaturach skrajnych (-40°C i $+50^{\circ}\text{C}$), potwierdzoną badaniami,
3. posiadać określoną trwałość, zbadaną na stanowisku (przyspieszone badania).

Własności energetyczne amortyzatora urządzeń pociągowo-zderznych ocenia się wg następujących kryteriów:

- a) przebieg charakterystyki siłowej,
- b) pojemność energetyczna (energia przejęta przy maksymalnym skoku),
- c) tłumienie,
- d) stabilność charakterystyki w funkcji czasu podczas eksploatacji,
- e) wrażliwość tj. zdolność szybkiego powrotu do stanu wyjściowego po zdjęciu obciążenia.

Wszystkie wymienione kryteria dają się ujmować w sposób liczbowy.

Najważniejszą cechą amortyzatora jest jego charakterystyka siłowa, czyli zależność między siłą obciążającą amortyzator a jego ugięciem (skokiem), przedstawiona na rys. 1.



Rys.1 Charakterystyka siłowa amortyzatora

Podstawowymi parametrami technicznymi charakterystyki amortyzatora są:

1. energia przejęta W_c , [J],
 3. energia pochłonięta W_a [J],
 3. tłumienie (W_a/W_c),
 4. siła końcowa F_D , [kN],
 5. zacisk wstępny F_0 , [kN],
 6. skok [mm].
- } określa się oddzielnie statycznie i dynamicznie

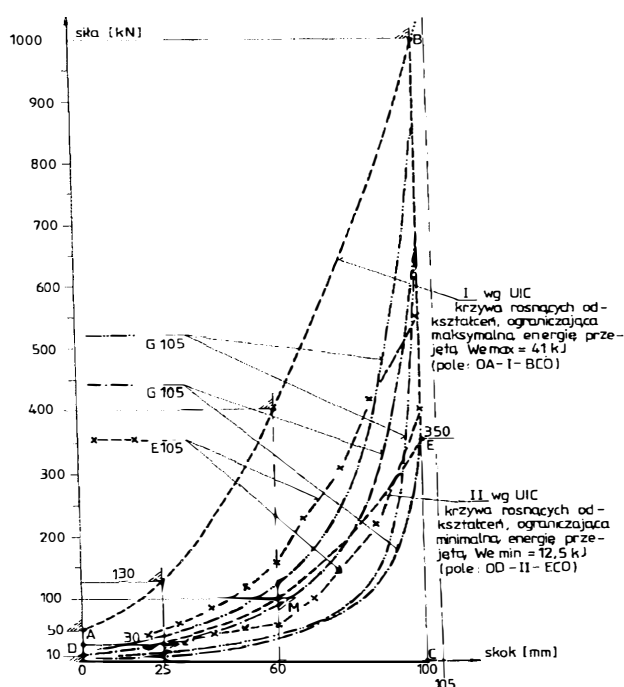
Przykładowo na rys. 2 pokazano charakterystyki statyczne niektórych eksploatowanych zderzaków do wagonów towarowych na tle wymagań karty UIC 526-1.

Na rysunku tym oznaczono:

G105 - zderzak z amortyzatorem gumowym o skoku 105 mm,

E105 - zderzak z amortyzatorem z elementami z tworzywa sztucznego o skoku 105 mm.

Maksymalnie możliwa energia przejęta statycznie może wynosić ok. 41kJ (krzywa I), a minimalna musi wynosić 12,5 kJ (krzywa II).



Rys. 2 Charakterystyki statyczne niektórych zderzaków na tle wymagań UIC

Na przebieg charakterystyki amortyzatora przy zastosowaniu elastomerowych elementów sprężystych mają wpływ następujące czynniki:

- materiał (tworzywo) w 60 ÷ 65%,
- kształt elementu w 25 ÷ 35%,
- sposób podparcia (osadzenia) elementu w 5 ÷ 15 %.

Można powiedzieć, że dobór odpowiedniego materiału decyduje o charakterystyce amortyzatora.

Byłoby dobrze, gdyby można było chociaż charakterystykę statyczną amortyzatora ustalić w miarę dokładnie w sposób obliczeniowy, w oparciu o publikowane dane materiałowe dotyczące tworzyw sztucznych. Jednak aktualnie brak w li-

teraturze sprawdzonych metod takich obliczeń, a w prospektach tworzyw brak potrzebnych danych, dotyczących ich własności energetycznych.

Ogólnie stosowany wzór na obliczenie siły F obciążającej element sprężysty jest następujący:

$$F = G \cdot A_0 \cdot (\lambda^2 - \lambda) \cdot \beta(k_0) \cdot \gamma(m) \quad (1)$$

gdzie:

G – moduł sprężystości poprzecznej tworzywa,
 A_0 – powierzchnia oparcia w stanie swobodnym,

λ – stopień ugięcia $\lambda = \frac{h}{h_0}$ przy czym:

h_0 - wysokość swobodna (lub montażowa),

h - wysokość po obciążeniu siłą F ,

$\beta(k_0)$ – współczynnik zależny od współczynnika kształtu elementu k_0 , przy czym:

$$k_0 = \frac{\text{powierzchnia naciskana}}{\text{powierzchnia swobodnego wypływu}}$$

np. dla krążka o wymiarach D/dxh_0 (z otworem)

$$k_0 = \frac{D - d}{4 \cdot h_0} \quad (2)$$

Liczni autorzy podają odmienne wzory na obliczenie współczynnika $\beta(k_0)$ a przykładowo wartości tego współczynnika dla $k_0 = 1,2$ wynoszą:

$$\beta(k_0) = 1 + k_0 + k_0^2 \quad \text{Batterman i Köhler [1]} = 3,64$$

$$= 1 + 2,25 \cdot k_0^2 \quad \text{Göbel [2]} = 4,24$$

$$= 1 + 4,67 \cdot k_0 \quad \text{Grigoriev [3]} = 6,6$$

$$= 0,667 + 2 \cdot k_0^2 \quad \text{Lavendel [4]} = 3,55$$

$$= 1 + a \cdot k_0^2 \quad \text{Payne [5]} = 1 + 1,44a,$$

gdzie $a = f(H)$,
(twardości)

$\gamma(m)$ – współczynnik zależny od innych własności materiału np.: masy cząsteczkowej segmentów sztywnych i giętkich, gęstości sieciowania, relaksacji, własności ciernych itp. ustalany empirycznie.

Z podanego przykładu wynika, że rozrzut wartości $\beta(k_0)$, a co za tym idzie i siły F , jest duży.

Na ogół dotychczas wyniki obliczeń nie pokrywają się z wynikami badań z następujących względów:

- stosowane elementy sprężyste są ściskane 35 ÷ 50% ich wysokości swobodnej ($\epsilon = \lambda^{-1} - 1 = 0,35 \div 0,5$), co powoduje nieliniowość charakterystyki,
- w trakcie obciążania zmienia się nieliniowo nacisk jednostkowy, przy czym siła końcowa przy ugięciu amortyzatora o skok roboczy może wynosić chwilowo do 1000 kN i nacisk do 500 daN/cm² (następuje ca

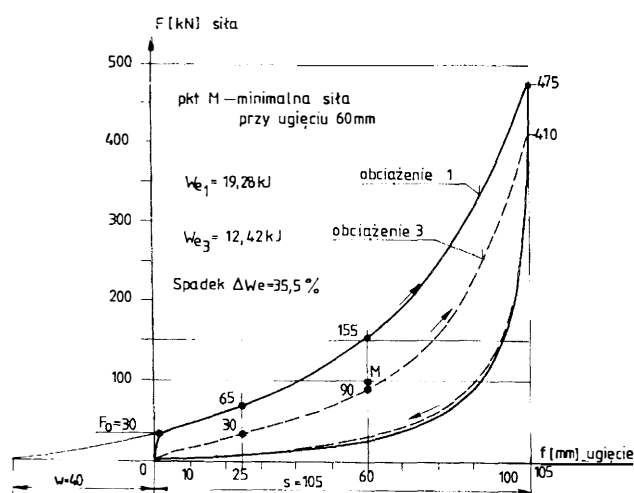
- 25 - krotny wzrost nacisku jednostkowego a powierzchnia oparcia pierścienia wzrasta o ok. 50 ÷ 60%),
- zmienia się współczynnik k_0 w trakcie obciążania,
- zmieniają się własności tworzywa wskutek relaksacji,
- zmieniają się warunki tarcia zewnętrznego (na powierzchni oparcia),
- wpływ mają inne własności materiału, jak tarcie wewnętrzne, ilość i rodzaj segmentów sztywnych i giętkich itp.

Jedynym sposobem rzeczywistej oceny parametrów amortyzatora są badania.

Do najważniejszych zjawisk negatywnych, występujących podczas badania elastomerowych elementów sprężystych, należą:

- tzw. efekt Mullinsa,
- relaksacja i pełzanie.

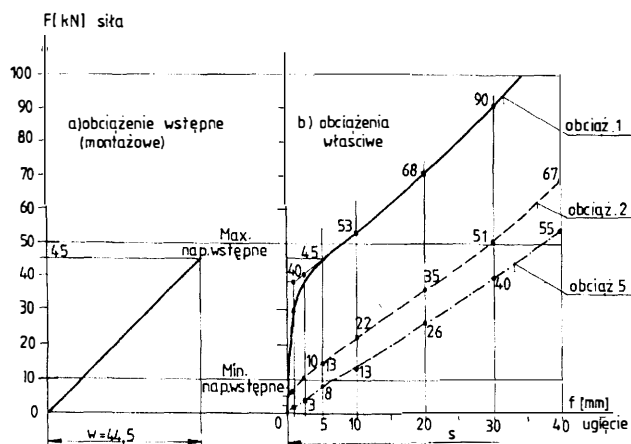
Efekt Mullinsa polega na tym, że dla pierwszego obciążenia nowego elementu uzyskuje się dość duże przejście energii, natomiast dla drugiego i trzeciego obciążenia wartości mniej-sze. Po 5-tym obciążeniu parametry w miarę się stabilizują. Przykładową zmianę charakterystyki statycznej pokazano na rys. 3.



Rys.3 Wpływ efektu Mullinsa na charakterystykę stosu amortyzatora

Zjawisko można znacznie ograniczyć przez 2 ÷ 3 krotne ściśnięcie stosu amortyzatora przed zamontowaniem do zderzaka. Jest to jednak dodatkowy kosztowny zabieg i trzeba deklarować parametry charakterystyki amortyzatora uzyskane po tym zabiegu.

Relaksacja (i również pełzanie) elementu polega na tym, że z upływem czasu następuje utrata własności sprężystych tworzywa. Dotyczy to głównie napięcia wstępnego. Przykład zmiany w tym zakresie pokazano na rys. 4.



Rys.4 Wpływ relaksacji tworzywa na charakterystykę stosu amortyzatora

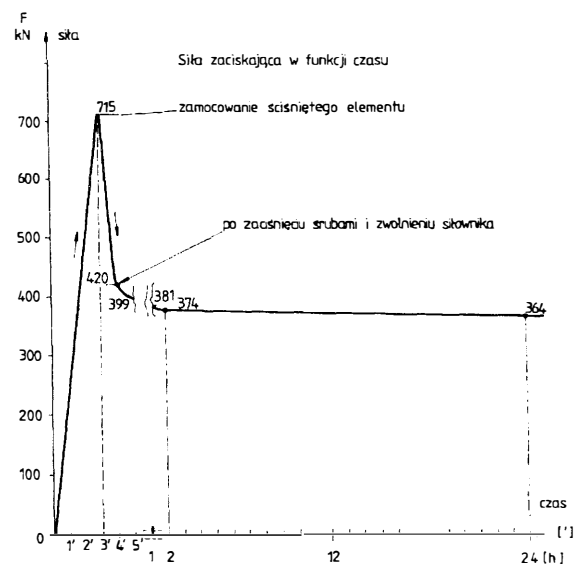
Jest to zjawisko bardzo niekorzystne, gdyż powoduje brak stabilności pracy amortyzatora. Dochodzi do tego, że podczas wielokrotnych obciążeń następuje powolny zanik napięcia wstępnego, a zaczyna się to podczas odciążania.

Przeciwdziałać temu można w zasadzie przez odpowiedni dobór tworzywa (zmniejszenie odkształcenia trwałego), chociaż należy przebadać również inne sposoby zmniejszenia relaksacji np.:

- przepiężanie elementów,
- hartowanie elementów w wysokiej lub niskiej temperaturze.

Przepiężanie elementów sprężystych polega na ich obciążeniu siłą większą od spodziewanej siły końcowej i utrzymaniu elementu w stanie ściśniętym przez określony czas. W wyniku tego zabiegu następuje odkształcenie trwałe elementu. Zabieg ten jest kłopotliwy i kosztowny, ale wpływa korzystnie na parametry amortyzatora, gdyż montuje się pierścienie o ustabilizowanych wymiarach (posiadające już odkształcenie trwałe) i dalsze odkształcanie trwałe następuje bardzo wolno. Efektem tego zabiegu jest większa stabilność charakterystyki amortyzatora, zwłaszcza przy wielokrotnym obciążaniu.

Na rys. 5 pokazano przykładowo przebieg przepiężania stosu elementów elastomerowych zderzaka.



Rys.5 Przebieg przepiężania elementów amortyzatora zderzaka

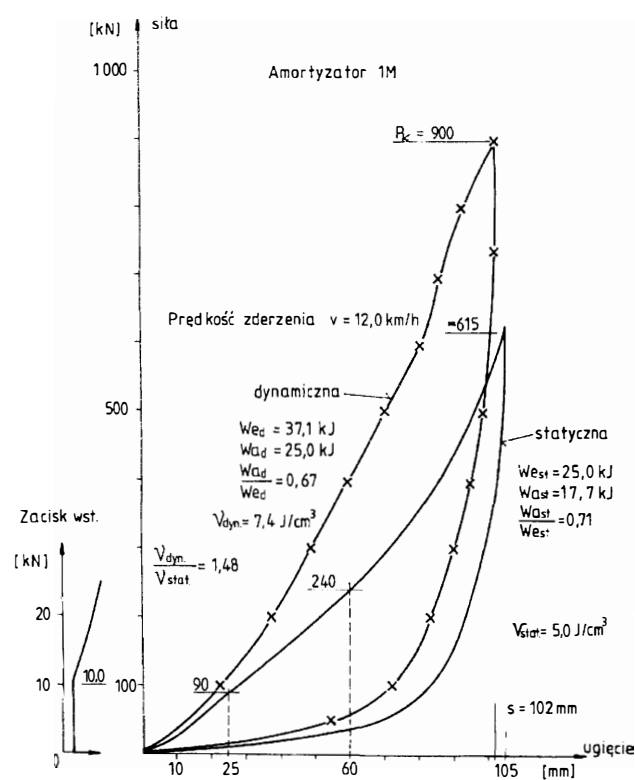
Proces przepiężania wymaga dalszych badań rozpoznawczych, a zwłaszcza ustalenia optymalnych parametrów przepiężania.

Zauważono również, że na stabilność charakterystyki wpływa hartowanie elementów sprężystych tzn. przetrzymywanie ich przez określony czas w wysokiej lub w niskiej temperaturze. Proces hartowania wymaga również dalszych badań rozpoznawczych.

Odpowiednie karty UIC podają wymagania dotyczące charakterystyki statycznej (prędkość obciążania i odciążania od 0.01 do 0,05^m/s) i dynamicznej (nabieganie wagonów).

Dla elastomerowych elementów sprężystych kształt charakterystyki dynamicznej jest podobny do statycznej, ale wartości siły i przejętej energii są większe ok. 25 ÷ 40%, w zależności od własności tworzywa.

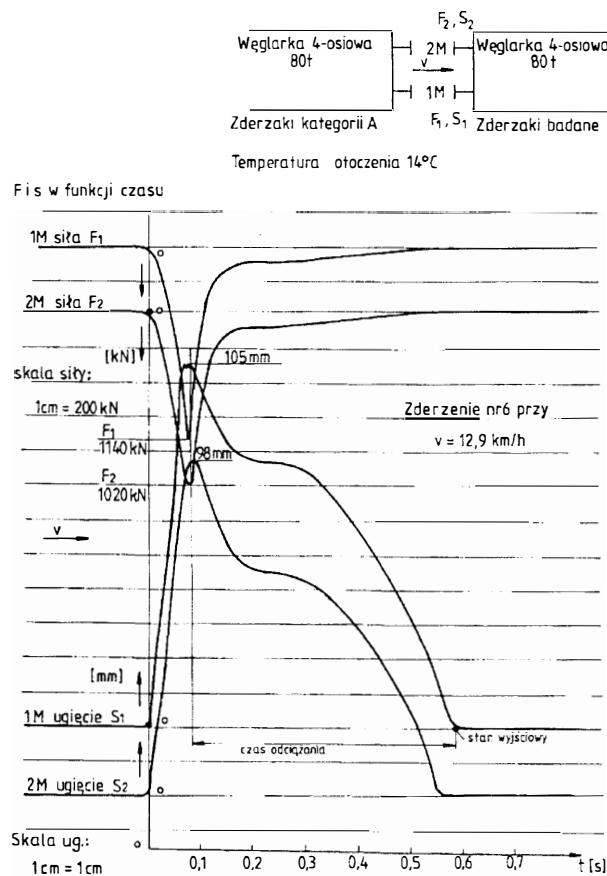
Przykładowy przebieg charakterystyki statycznej i dynamicznej amortyzatora zderzaka pokazano na rys. 6.



Rys.6 Przebieg charakterystyki statycznej i dynamicznej amortyzatora zderzaka

Czas pracy amortyzatora podczas zderzenia jest bardzo krótki i wynosi ok. 0,1 ÷ 0,3 s.

Przykładowy oscylogram przebiegu zderzenia 2 wagonów pokazano na rys. 7.



Rys.7 Przebieg zderzenia dwóch wagonów

Na podstawie przeprowadzonych licznych badań elementów sprężystych z różnych tworzyw można uznać, że zarówno zderzaki jak i urządzenia cięglowe mogą w pełni spełniać wymagania UIC w zakresie charakterystyki siłowej, jeżeli:

- tworzywo będzie posiadało odpowiednie własności,
- nastąpi dobór właściwego kształtu,
- wykorzysta się inne możliwości przeciwdziałania zjawiskom negatywnym.

Wnioski te wyznaczają kierunki prac rozwojowych.

Istotnym parametrem jest *stabilność charakterystyki* podczas całego okresu eksploatacji tj. 6 do 10 lat, w zależności od rodzaju urządzenia. Dla sprawdzenia tego parametru przeprowadza się *badania trwałościowe*. Są to na ogół badania dynamiczne, przeprowadzane bądź na odpowiednich stanowiskach badawczych lub przez próby nabiegania.

Badaniu podlega całe urządzenie np. zderzak lub sam amortyzator. Najnowsze wymagania UIC dla urządzeń cięglowo-zderznych, dotyczące badań trwałości, zostały opracowane na podstawie widma obciążeń tych urządzeń w składach pociągów w normalnych warunkach eksploatacyjnych na kolejach DB.

Przyjmuje się roczny przebieg wagonu 100000 km i dla takiego przebiegu urządzenia pociągowo-zderzne powinny być poddane ok. 31000 obciążen z różnymi siłami i ugięciami. Dla 6-letniej eksploatacji stanowi to ok. 186000 obciążeń. Dotychczas w karcie UIC 827-1 przewiduje się tylko 10000 obciążeń rocznie, ale jest to niewystarczające dla oceny trwałości tworzywa.

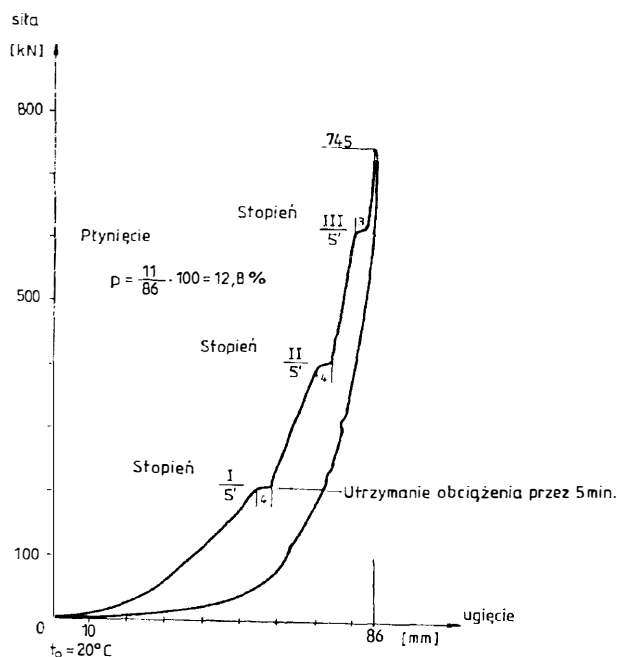
W niektórych przypadkach liczba obciążeń podczas badań trwałości jest znacznie większa.

Przykładowo zderzaki wagonów osobowych wg UIC 528 podlegają następującemu układowi badań trwałości:

- 15 następujących po sobie nabiegań z prędkością min. 10 km/h.
- 30 cykli badań pulsacyjnych, przy czym każdy cykl zawiera od kilkadziesiąt do kilkaset tysięcy obciążeń przy różnym skoku, co w sumie daje ok. 914 tys. obciążeń dla 6-letniej eksploatacji; prędkość naciskania wynosi 3 m/s.
- 15 następujących po sobie nabiegań z prędkością min. 10 km/h.

Zderzak wykazuje dostateczną trwałość, jeżeli parametry charakterystyki, uzyskane po badaniach trwałości, wykazują odchylenie nie większe niż 20 % w stosunku do parametrów uzyskanych przed badaniami.

Stabilność charakterystyki można wstępnie oszacować, przeprowadzając próbę z obciążeniami stopniowanymi. Jest to próba statyczna i wykonuje się 15 obciążeń, przy czym obciążenia 5 i 10 są stopniowane. Polega ono na tym, że siłę końcową dzieli się na 3 do 5 stopni np. co 150 kN. Obciąża się do I stopnia i utrzymuje obciążenie przez określony czas np. 5 min. Jeżeli nie będzie „płynięcia” tworzywa na poszczególnych stopniach, to charakterystyka będzie w miarę stabilna, jeżeli zaś wystąpi płynięcie, to prawdopodobnie próby trwałości będą negatywne. Przykład charakterystyki stopniowanej pokazano na rys. 8



Rys.8 Charakterystyka statyczna przy obciążeniach stopniowanych

5. Wpływ skrajnych temperatur na charakterystykę amortyzatora

Wymagania UIC, dotyczące parametrów pomierzonych w temperaturach skrajnych (dodatnich i ujemnych) przedstawiono poniżej:

- a) UIC 520 narazie nie podaje wymagań w skrajnych temperaturach (będzie aktualizowana),
- b) UIC 524 przy -40°C i $+50^{\circ}\text{C}$ charakterystyki mogą się odchyłać na tyle, aby były zachowane wartości graniczne, podane w wymaganiach (np. dla We statycznie odchylenie może wynosić ok. 20%),
- c) UIC 526-1 przy -40°C i $+50^{\circ}\text{C}$ charakterystyki mogą się odchyłać nie więcej niż o 20% w stosunku do parametrów uzyskanych w temperaturze pokojowej,
- d) UIC 526-3 przy -25°C i $+50^{\circ}\text{C}$ jak dla c)
- e) UIC 528 przy -40°C i $+50^{\circ}\text{C}$ jak dla c)
- f) UIC 529 przy -40°C i $+50^{\circ}\text{C}$ siła napięcia wstępnego i energia przejęta nie mogą się odchyłać więcej niż 30% od oznaczonych charakterystyk przy 15°C a nadto, wewnątrz zakresu skrajnych temperatur ruch powrotny amortyzatora musi być zagwarantowany w 3,5 s po dowolnym ugięciu sprężyn,
- g) UIC 827-1 podaje wymagania tylko dla próbek (tablica 1):
odkształcenie trwałe po ściśnięciu o 25% w czasie 24 h może wynosić:

	zderzaki	urządzenia ciąglowe
przy $+70^{\circ}\text{C}$	$\leq 30\%$	$\leq 25\%$
przy -30°C	$\leq 55\%$	$\leq 35\%$
przy -40°C	brak wymagań	brak wymagań

Należy podkreślić, że wymagania UIC dotyczące skrajnych temperatur nie dotyczą bezpośrednio samego tworzywa, a odnoszą się do wyrobu (np. amortyzatora). Znane są przypadki, że badane w niskich temperaturach próbki danego tworzywa spełniały wymagania UIC, a gotowy wyrób nie spełniał.

Ze wszystkich wymagań UIC, wymagania dotyczące skrajnych ujemnych temperatur są najtrudniejsze do spełnienia przez elastomerowe elementy sprężyste.

Jeżeli odchylenia parametrów niewiele przekraczają wartości dopuszczalne, to niekiedy miarą oceny przydatności tworzywa może być wyczerpanie przez amortyzator skoku robocze-

go oraz szybki powrót do stanu wyjściowego pod warunkiem, że nie nastąpiła utrata zacisku wstępnego przez amortyzator.

Ogólna metodyka badań temperaturowych jest następująca:

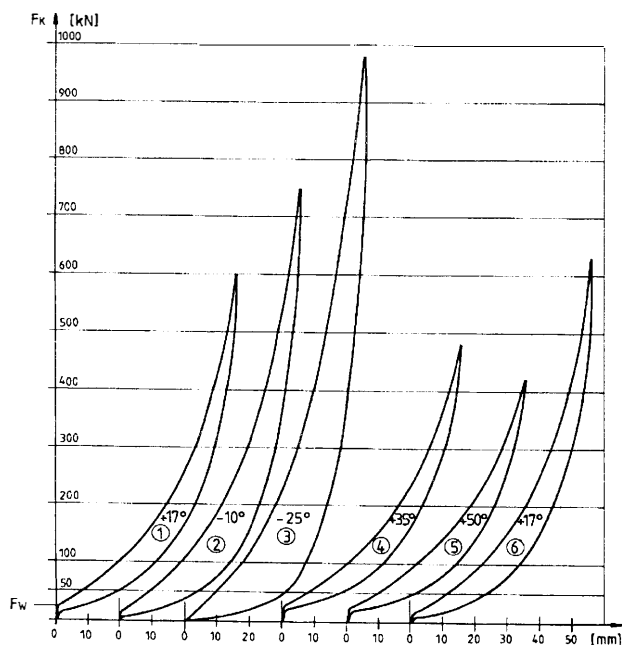
- sprawdzenie charakterystyki w temperaturze otoczenia pokojowej (jest to tzw. charakterystyka bazowa),
- amortyzator oziębia się lub ogrzewa do wymaganej temperatury i przetrzymuje w niej 24 h,
- amortyzator obciąża się dwukrotnie o skok roboczy i rejestruje parametry dla drugiego obciążenia.

Jest w zasadzie obojętne, czy najpierw się oziębia i potem ogrzewa amortyzator, czy postępuje się odwrotnie.

Niekiedy dochodzi się stopniowo do skrajnej temperatury, np. oziębiając co 10°C (-10°C, -20°C, -30°C i -40°C), co pozwala na ustalenie, przy jakiej temperaturze amortyzator spełnia jeszcze wymagania UIC.

Wpływ temperatury, zwłaszcza ujemnej, na charakterystykę amortyzatora z elastomero-wymi elementami sprężystymi jest znaczący.

Przykładowo na rys. 9 przedstawiono charakterystyki statyczne z badań temperaturowych, przeprowadzonych w naszym Ośrodku w latach 1994/95 dla amortyzatora urządzenia ciągowego z elementami sprężystymi wykonanymi z elastomeru stałego.



Rys. 9 Charakterystyki siłowe amortyzatora elastomerowego w różnych temperaturach

Przeprowadzone badania potwierdzają istotny wpływ temperatury na charakterystykę amortyzatora, a mianowicie:

- temperatura ujemna powoduje znaczny wzrost sztywności elementu sprężystego i równocześnie powoduje zmniejszenie siły zacisku wstępnego,

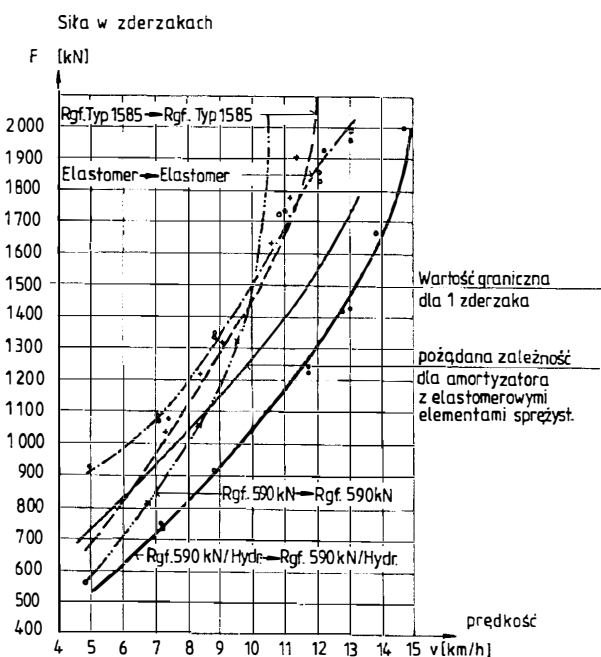
- temperatura dodatnia powoduje spadek sztywności elementu sprężystego, ale utrzymuje się siła zacisku wstępnego,
- fakt oziębienia i ogrzania tworzywa powoduje minimalną zmianę parametrów amortyzatora, ale po badaniach temperaturowych obserwuje się spadek siły zacisku wstępnego.

6. Przewidywany rozwój i zastosowanie elastomero-wych elementów sprężystych

Biorąc pod uwagę główne kierunki rozwoju kolei w najbliższych 20 latach a m.in.:

- zwiększenie prędkości w ruchu pasażerskim do 200 km/h i w ruchu towarowym do 140 km/h,
- zwiększenie masy wagonów towarowych brutto do 90 t,
- usprawnienie pracy przetokowej m.in. przez zwiększenie manewrowej prędkości nabiegania i przyszłościowe wprowadzenie sprzęgu samoczynnego,

urządzenia pociągowo – zderzne będą musiały przejąć i rozprzyszczyć większą energię kinetyczną niż dotychczas ($E = m \cdot v^2$). Należy więc dla granicznej wielkości siły przejmowanej przez zderzaki (granica wytrzymałości pojazdu) zwiększyć prędkości nabiegania. Zależność tę pokazano na rys. 10. Manewrowa prędkość nabiegania oznacza, że z prędkościami poniżej tej prędkości wykonuje się 85 ÷ 95% prac manewrowych, a tylko 5 ÷ 15% z prędkościami wyższymi. Aktualnie manewrowa prędkość nabiegania w różnych Zarządach Kolejowych wynosi 5,5 ÷ 8,5 km/h w zależności od stosowanych zderzaków, a należałoby ją zwiększyć do 8,5 ÷ 11,5 km/h. Dla wagonów starszych typów manewrowa prędkość nabiegania jest ograniczona i np. w Polsce wynosi 5,5 km/h.



Rys. 10 Zależność sił w zderzakach od prędkości nabiegania przy masie wagonów po 80 t

Zwiększenie prędkości nabiegania może nastąpić przez:

- zwiększenie pojemności energetycznej zderzaków oraz,
- zwiększenie tłumienia amortyzatora,

i w tych kierunkach są głównie prowadzone prace nad modernizacją urządzeń pociągowo-zderznych.

Amortyzatory z elastomerowymi elementami sprężystymi można jeszcze ulepszyć przez dobór innego tworzywa, ale bez stosowania dodatkowych wkładów olejowych. Oczywiście jest pewna granica, której przekroczyć się nie da. Granica ta może być wyznaczona w wyniku prac rozwojowych.

Ulepszenie oznacza:

- modyfikację tworzywa celem uzyskania jednostkowego przejęcia energii $v \geq 8 \text{ J/cm}^3$ statycznie i $v \geq 10 \text{ J/cm}^3$ dynamicznie (docelowo nawet więcej),
- zwiększenie tłumienia amortyzatora (W_a/W_c) do $\geq 0,6$ statycznie i $\geq 0,7$ dynamicznie,
- zwiększenie wytrzymałości na nacisk jednostkowy,
- dobór właściwych kształtów elementów,
- wyeliminowanie wad dotychczas stosowanych tworzyw (zmniejszenie sztywności elementów w niskich temperaturach, utrzymanie siły zacisku wstępnego i inne),
- zapewnienie stabilności parametrów w każdych warunkach eksploatacji kolei (mroźna zima, gorące lato) przez okres min. 8 lat, a więc mała wrażliwość na wielokrotne obciążenia.

Dalszy rozwój amortyzatorów z elastomerowymi elementami sprężystymi powinien być prowadzony wielokierunkowo w następujących 4 grupach zagadnień:

1. synteza tworzywa i opracowanie danych materiałowych jak:
 - struktura tworzywa pod kątem maksymalnego przejmowania energii i tłumienia,
 - zmniejszenie relaksacji i odkształcenia trwałego,
 - ustalenie zależności między przejmowaniem energii (statycznie i dynamicznie) a składnikami i własnościami tworzywa,
 - ustalenie wskaźników własności energetycznych (np. v [J/cm^3]) i temperaturowych (zmiana wskaźników w funkcji temperatury),
 - ustalenie różnych zależności dla tworzywa np. G od v , G od T , G od twardości, G od relaksacji, G od ciężaru cząsteczkowego M_c , G od ugięcia itp.,
2. metody obliczenia charakterystyki (statycznej i dynamicznej) projektowanego amortyzatora przy wykorzystaniu nowych wskaźników tworzywa oraz z uwzględnieniem niektórych procesów technologicznych np. przepiężania (jakie własności materiału przyjmować do obliczeń, jak uwzględniać wpływ relaksacji tworzywa i temperatury itp.),
3. dobór kształtu elementu i jego podparcia dla wybranego materiału; o ile metody obliczeń okażą się trudne do opracowania lub niedoskonałe, kształt należy ustalić w oparciu o planowany eksperyment i optymalizować pod kątem maksymalnego przejęcia energii.

4. technologia wykonania (wtrysk, prasowanie, odlewanie odśrodkowe itp., wpływ przepiężania, hartowania itp.).

Jeżeli w wyniku prac rozwojowych uda się ulepszyć tworzywo i spełnić w pełni wymagania, to ze względu na prostszą konstrukcję i tańszy wyrób, istnieją realne możliwości zastosowania ulepszonych elastomerowych elementów sprężystych w urządzeniach pociągowo-zderznych:

A. Dla nowych pojazdów szynowych:

- zderzaki wagonów towarowych (kat. A i B),
- zderzaki wagonów osobowych,
- zderzaki wagonów towarowych kat. C z wkładem hydrodynamicznym lub hydrostatycznym i elementami sprężystymi jako elementy wspomagające,
- jako elementy wspomagające w zderzakach o skoku 130 i 150 mm i o dużym skoku do wagonów towarowych,
- przyszłościowy europejski sprzęg samoczynny (jako elementy główne lub wspomagające),
- elementy sprzęgu samoczynnego kolei rosyjskich.

B. Modernizacja istniejących urządzeń w wagonach:

- wymiana amortyzatorów w istniejących korpusach zderzaków; w grę wchodzi tu wszystkie zderzaki z amortyzatorem gumowym,
- wymiana amortyzatorów w istniejących urządzeniach pociągowych na lepsze przy niewielkich przeróbkach tych urządzeń.

Zakłada się, że cena amortyzatorów z elastomerowymi ulepszonymi elementami sprężystymi będzie znacząco niższa od ceny amortyzatorów innych typów, przy porównywalnych parametrach charakterystyki i trwałości.

Trzeba tu uwzględnić fakt, że największe potrzeby dotyczą zderzaków kat. A do wagonów towarowych, których ilostan w różnych Zarządach Kolejowych wynosi szacunkowo ok. 90% wszystkich wagonów. Np. w Polsce wg danych statystycznych z 1996 r. ilostan czynnych wagonów wynosi ok. 80 tys. sztuk, z czego ok. 90% to wagony towarowe co oznacza, że w eksploatacji na PKP znajduje się ok. 288 tys. zderzaków i ok. 144 tys. urządzeń cięgowych różnego typu. Jest to więc problem dużej wagi.

Literatura:

- [1] Battermann W., Köhler R. - *Elastomere Federung. Elastische Lagerungen*. 1982.
- [2] Göbel E.F. - *Gummifedern. Berechnung und Gestaltung*. 3 Auflage, 1969.
- [3] Grigorev E.T. - *Rascot i konstruirowanije rezinowych amortizatorow*. M. Masgiz. 1960.
- [4] Lavendel E.E. i inni - *Experimentelle Untersuchung der Veränderung des Gummivolumens bei Druck und Zug. Probleme der Dynamik und der Festigkeit. Heft 37/1979*.
- [5] Payne A.R. i inni - *Engineering design with rubber*. New York, Intersci Publ., 1960.
- [6] ERRI B51/RP 27 Zug - und Stosseinrichtungen. *Auslegung und Prüfung von neuen Zugeinrichtungen für Güterwagen*. Utrecht, Juli 1995.