

Jan Targosz

Analiza i badanie właściwości fizykomechanicznych ustrojów elastomerowych minimalizujących dynamiczne oddziaływanie podtorza kolejowego na otoczenie

W artykule przedstawiono metodologię określenia właściwości mechanicznych (tłumienie względne, relaksacja względna) elementów gumowych na podstawie badań dostarczonych próbek pobranych z czterech płyt wibroizolujących (dywaniki gumowe) po 3 komplety grubości 20 i 40 mm, przez różnych producentów (łącznie) ponad 120 próbek.

Zakres badań w każdym przypadku obejmował pomiary geometryczne próbek, obliczenie powierzchni nominalnej S_0 , objętości, twardości gum, modułu statycznego i dynamicznego Younga, sztywności oraz oszacowanie tłumienia zastępczego i relaksacji względnej tych elementów w temperaturach -15°C do $+20^{\circ}\text{C}$. Dolna ujemna temperatura była funkcją zastosowania danego elementu elastomerowego w praktyce, tzn. czy pracował będzie w warunkach zewnętrznych (należy uwzględnić temperaturę przemarzania), czy w pomieszczeniach zamkniętych. Przedstawiono badania próbek o średniej grubości 20 i 40 mm w temperaturach -10°C do $+20^{\circ}\text{C}$.

Badania właściwości mechanicznych elementów gumowych

Badania służące do określenia i aktualizacji własności fizykomechanicznych elastomerowych płyt wibroizolacyjnych wykonano na podstawie następujących norm:

- PN-93/C-04205: *Guma. Oznaczenie właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu*
- PN-82/C-04216: *Guma. Oznaczenie odporności na przyspieszone starzenie w powietrzu o podwyższonej temperaturze*
- PN-80/C-04238: *Guma. Oznaczenie twardości według metody Shore'a*
- PN-79/C-04237/01: *Metody badań gumy w niskiej temperaturze. Oznaczenie temperatury kruchości metodą uderzeniową*
- PN-79/C-04237/02: *Metody badań gumy w niskiej temperaturze. Oznaczenie współczynnika naprężeń rozciągających w zależności od temperatury*
- PN-79/C-04237/03: *Metody badań gumy w niskiej temperaturze. Oznaczenie współczynnika odkształcenia liniowego w warunkach naprężeń rozciągających w zależności od temperatury*
- PN-79/C-04237/04: *Metody badań gumy w niskiej temperaturze. Oznaczenie współczynnika elastycznego powrotu w warunkach naprężeń ściskających w zależności od temperatury*

- PN-79/C-04237/05: *Metody badań gumy w niskiej temperaturze. Oznaczenie sztywności (test Gehmana)*
 - PN-86/C-04254: *Guma. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie*
 - PN-88/C-04255: *Guma. Oznaczenie elastyczności metodą Schoba*
 - PN-80/C-04290: *Guma. Oznaczenie trwałego odkształcenia przy ściskaniu*
 - PN-75/C-94099: *Wyroby gumowe. Wytyczne przechowywania*
 - ISO-34-1:1998: *Guma i kauczuk termoplastyczny. Oznaczenie wytrzymałości na rozdieranie*
 - ISO-37:1998: *Guma i kauczuk termoplastyczny. Oznaczenie własności wytrzymałościowych przy rozciąganiu*
- Badania swoim zakresem obejmowały:
- pomiar twardości Shore'a,
 - wyznaczenie gęstości pozornej,
 - wyznaczenie statycznego modułu Younga,
 - wyznaczenie dynamicznego modułu Younga,
 - współczynnika sztywności statycznej,
 - współczynnika sztywności dynamicznej,
 - wyznaczenie współczynnika tłumienia.
 - wyznaczenie współczynnika relaksacji względnej.

Otrzymane wyniki badań własności mechanicznych są podstawą do projektowania oraz technologii wytwarzania elementów wibroizolujących, takich jak: wibroizolatory, podkładki gumowe, płyty wibroizolujące.

Badania modułu sprężystości podłużnej E oraz tłumienności gum wykonano w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów w Krakowie, posiadającym uprawnienia Urzędu Dozoru Technicznego oraz National Institute of Standards and Technology USA w zakresie wytrzymałości materiałów konstrukcyjnych i wdrożony system jakości laboratorium badawczego.

Próbki do badań dostarczono wycięte przez zleceniodawcę badań. Wycięto cztery komplety próbek grubości 20 i 40 mm:

- obejmujące pełną grubość dywanika (bez wytłoczeń) w celu zobrazowania właściwości materiałowych zastosowanych mieszanek gum,
 - będące pojedynczym modułem dywanika (z centralnym wytłoczeniem) w celu zobrazowania właściwości postaciowych wyrobu.
- Na tak przygotowanych próbkach wykonano badania wstępne:
- pomiary geometryczne próbek,
 - badanie gęstości pozornej ρ mieszanek gumy,

- pomiary twardości Shore'a dwoma metodami: dynamiczną, jako miara sprężystości powierzchni i statyczną, jako miara zdolności do penetracji (odpowiednik próby Rockwella).

Zasadnicze badania gum wykonano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej statyczno-dynamicznej Instron 1273 z napędem hydraulicznym i sterowaniem elektronicznym. Maszyna umożliwia wykonywanie badań zarówno w warunkach quasistatycznych obciążeń przy skoku tłoka ± 50 mm i maksymalnej sile 100 kN, jak i szybkozmiennych obciążeń dynamicznych o częstotliwościach do 100 Hz. Maszyna ma aktualne Świadectwo Uwierzytelnienia Okręgowego Urzędu Miar w Krakowie w klasie I.

Badania gum wykonano w zakresie ściskania, w cyklach odzerowego obciążenia i odciążenia z wykorzystaniem przegubu kulistego w celu wyeliminowania ewentualnych nierównoległości powierzchni próbek i uzyskania równomiernego pola naprężeń w badanych próbkach, stosując następujące parametry próby:

- zakres pomiarowy siłomierza F_{max} : 5,0 lub 10,0 kN,
- powiększenie skali odkształceń: 50 razy,
- wielkość odkształcenia bezwzględnego próbek (= skok tłoka maszyny): 2 mm,
- prędkość odkształcania próbek:
 - quasistatyczna: 01,mm/s;
 - dynamiczna: 1,0 mm/s i 3,3 mm/s.

W trakcie prób dokonywano rejestracji przebiegu ustabilizowanej pętli histerezy pracy mechanicznej, z której wyznaczono w sposób zgodny z normami wielkości modułu E z fragmentu pętli histerezy odpowiadającego odzerowemu obciążeniu próbki siłą ściskającą oraz tłumienności gum z obu fragmentów pętli: obciążenia i odciążenia. W niektórych przypadkach zachodziła konieczność graficznego uśrednienia przebiegu zbieżającego przy wyznaczaniu modułu E wobec wystąpienia niewielkich nieliniowości na obu końcach pętli histerezy.

Przekrój poprzeczny badanych próbek przedstawiono na rysunku 1, a ich podstawowe wymiary w tabeli 1. Badania prowadzono w kierunku normalnym, zaznaczonym na rysunku 1.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny próbek

Tabela 1

Próbka I – grubość 21,5–25,5 mm (podawane są wielkości średnie dla trzech próbek)

Próbka II – grubość 41,5–42,5 mm (podawane są wielkości średnie dla trzech próbek)

Próbka z elementu wibroizolującego, temperatura -10°C , $+20^{\circ}\text{C}$

	Próbka I		Próbka II	
Pole przekroju poprzecznego S_0 [m ²]	9,9·10 ⁻³	1,011·10 ⁻³	9,98·10 ⁻³	9,89·10 ⁻³
Wysokość próbki L_0 [m]	0,0215	0,0255	0,0415	0,0425
Masa próbki m [kg]	0,253	0,267	0,478	0,410
Objętość V_0 [m ³]	2,13·10 ⁻⁴	2,297·10 ⁻⁴	4,135·10 ⁻⁴	3,479·10 ⁻⁴

Kolejnym etapem było wyznaczenie tzw. gęstości pozornej. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Wielkości gęstości pozornej

Gęstość pozorna ρ [kg/m ³] próbek z elementów gumowych, temperatura -10°C , $+20^{\circ}\text{C}$	
próbka I	próbka II
1161-1166	1158-1180

Następnie wyznaczono twardość statyczną Shore'a za pomocą twardościomierza typu HIRTEPRÜER DIN53505, ISO 80068, wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Twardość statyczna Shore'a

Twardość Shore'a [°Sh], skala AIN, temperatura $+20^{\circ}\text{C}$			
próbka I		próbka II	
średnia 61,1	średnia 61,30	średnia 61,5	średnia 61,4

Kolejnym etapem było wyznaczenie za pomocą twardościomierza typu Short Hardnest H12720 twardości dynamicznej według skali Shore'a w zakresie $0-140^{\circ}$ na kierunku normalnym. W celu uniknięcia błędów pomiar ten był wykonany wielokrotnie dla każdej z próbek. Uśrednione wyniki z 9 pomiarów dla poszczególnych próbek przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Twardość Shore'a [Sh], skala $0-140^{\circ}$ (dynamiczna)			
próbka I		próbka II	
59,00	57,06	55,6	63,46

Kolejnym etapem badań było wyznaczenie statycznego i dynamicznego modułu Younga. Badania te prowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu INSTRON 1273. W pierwszym etapie przeprowadzono badania statyczne modułu Younga E_{stat} . Wyznaczano go w próbie statycznej jako sieczną pętli histerezy obciążenia w następujących warunkach:

- zakres pomiarowy siłomierza 5,0–10,0 kN
 - ugięcie wstępne $\Delta l = 0,002$ m, $\epsilon = 10\%$
 - powiększenie skali wydłużenia dla powierzchni $\alpha = 50$ razy
 - prędkość odkształcania statycznego próbki $v = 0,1$ mm/s
- Wyniki badań E_{stat} przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Wyniki badań modułu Younga

Moduł Younga E_{stat} [Mpa], temperatura $+20^{\circ}\text{C}$			
próbka I		próbka II	
8,8	5,49	6,05	5,12
Moduł Younga E_{stat} [Mpa], temperatura -10°C			
próbka I		próbka II	
14,35	8,78	9,11	6,62

Następnie przeprowadzono badania dynamiczne modułu Younga E_{dyn} . Wyznaczano go przy identycznych założeniach, jak w próbie statycznej jako sieczną pętli histerezy obciążenia – odciążenia przy zmienionym jednym warunkiem, tzn. prędkości odkształcania:

- prędkość odkształcania dynamicznego dla próbki:
 - $v = 1,0$ mm/s
 - $v = 3,3$ mm/s

- badania prowadzono w kierunku normalnym.
Wyniki badań zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6

Badania dynamiczne modułu Younga

	Moduł Younga E_{dyn} [Mpa], temperatura +20°C			
	próbka I		próbka II	
$v = 1,0$ mm/s	9,75	6,66	6,67	5,50
$v = 3,3$ mm/s	11,10	7,26	7,10	5,62
	Moduł Younga E_{dyn} [Mpa], temperatura -10°C			
	próbka I		próbka II	
$v = 1,0$ mm/s	18,00	10,10	10,08	7,73
$v = 3,3$ mm/s	19,50	11,00	11,70	8,20

Kolejnym etapem pracy było wyznaczenie zastępczego współczynnika sprężystości, który o wyznaczone moduły Younga można wyliczyć ze wzoru:

$$k_z = \frac{EF}{l}$$

gdzie:

E – wyznaczony moduł Younga (statyczny lub dynamiczny), [MPa],

F – pole powierzchni próbki , $F = 1,05 \cdot 10^{-2}$ [m²],

F – pole powierzchni próbki , $F = 0,99 \cdot 10^{-2}$ [m²],

l – wysokość próbki, $l = 0,0235$ [m].

Wyniki obliczeń zastępczego współczynnika sztywności dla modułów statycznych zestawiono w tabeli 7, a dla modułów dynamicznych w tabeli 8.

Tabela 7

Wyniki obliczeń zastępczego współczynnika sztywności dla modułów statycznych

	Sztywność statyczna k_z [kN/m], temperatura +20°C			
	próbka I		próbka II	
	3931,91	2452,97	2548,26	2156,54
	Sztywność statyczna k_z [kN/m], temperatura -10°C			
	próbka I		próbka II	
	6411,58	3922,90	3837,13	2788,34

Tabela 8

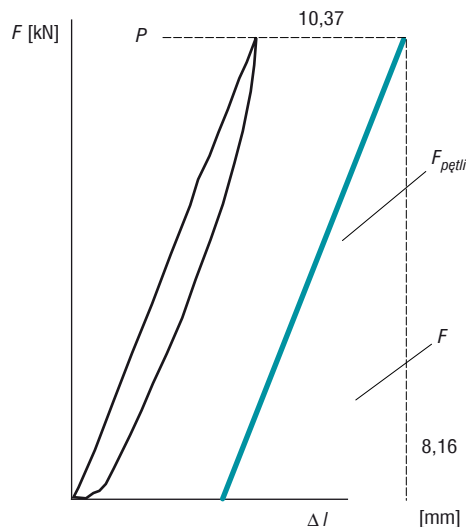
Wyniki obliczeń zastępczego współczynnika sztywności dla modułów dynamicznych

	Sztywność dynamiczna k_z [kN/m], temperatura +20°C			
	próbka I		próbka II	
$v = 1,0$ mm/s	4356,3	2975,68	2809,40	2316,60
$v = 3,3$ mm/s	4959,48	3243,76	2990,52	2367,14
	Sztywność dynamiczna k_z [kN/m], temperatura +10°C			
	próbka I		próbka II	
$v = 1$ mm/s	8042,40	4512,68	4548,96	3255,87
$v = 3,3$ mm/s	8712,60	4914,80	4928,04	3453,84

Najbardziej oczywistą miarą tłumienia dla danego materiału jest współczynnik rozproszenia – jest to iloraz energii rozproszonej podczas jednego okresu drgań F_{petli} do maksymalnej energii potencjalnej w tym okresie:

$$\psi = \frac{F_{petli}}{F}$$

Zależność między siłą a przemieszczeniem tworzy w przypadku ustalonych drgań okresowych pętlę histerezy (rys. 2). Pole przedstawia energię rozproszoną F_{petli} . Pole pod krzywą określającą odwracalny proces drgań układu (bez rozproszenia energii) przedstawia maksymalną potencjalną energię układu F . Wyniki obliczeń współczynnika rozproszenia energii przedstawiono w tabelicy 10. Wcześniej jednak należy wyznaczyć pole powierzchni. W tym celu za pomocą tabletu graficznego PENTAGRAM XXL zapisywano wektorowo pliki wykresów w AutoCAD, a następnie za pomocą funkcji pomocniczej wyznaczano pola powierzchni pętli histerezy. Na rysunku 2 przedstawiono dla przykładu pętlę histerezy próbki II przy prędkości odkształcenia 3,3 mm/s.



Rys. 2. Pętla histerezy próbki II na kierunku normalnym po obróbce w AutoCAD, pole powierzchni $F_{petli} = 12,072 \cdot 10^{-3}$ [m²]

Tabela 10

Wyniki obliczeń współczynnika rozproszenia energii

	Współczynnik rozproszenia energii ψ , temperatura +20°C			
	próbka I		próbka II	
$v = 1,0$ mm/s	0,63	0,39	0,39	0,29
$v = 3,3$ mm/s	0,69	0,42	0,40	0,31
	Współczynnik rozproszenia energii ψ , temperatura -10°C			
	próbka I		próbka II	
$v = 1,0$ mm/s	0,49	0,39	0,33	0,32
$v = 3,3$ mm/s	0,47	0,44	0,38	0,34

Kolejnym etapem badań było wyznaczenie modułu relaksacyjnego. Należy on do podstawowych, w określonym sensie umownych, aczkolwiek bardzo poglądowych wielkości charakteryzujących cechy reologiczne materiałów, badanych przy obciążeniach prostych. Jest on zdefiniowany przez zależność:

$$E_r = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon}$$

gdzie:

$\sigma = P/F$ – napężenie

$\varepsilon = \Delta/l$ – wydłużenie względne

F – pole powierzchni próbki,

na podstawie której wyznaczono wielkości modułu relaksacyjnego, a wyniki przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11

Wielkości modułu relaksacyjnego

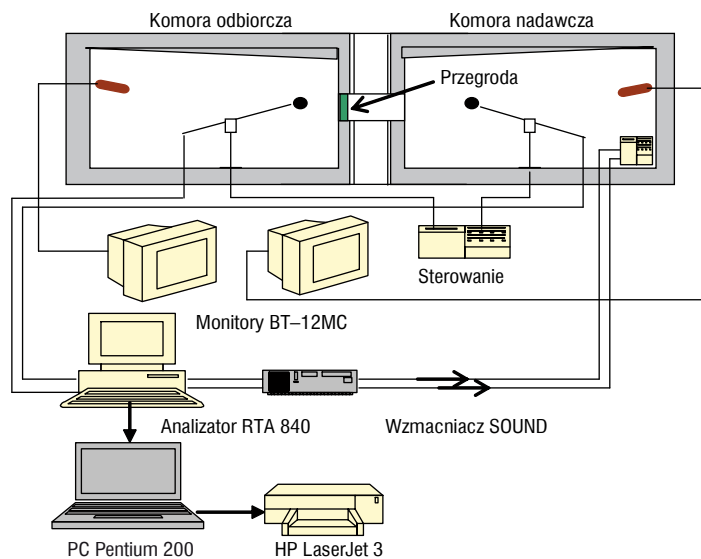
Współczynnik relaksacji E_r [N/m ²]			
próbka I		próbka II	
7,56*106	7,41*107	1,4*107	1,4*107

Badania własności dźwiękoizolacyjnych materiału elastomerowego

Pomiary izolacyjności akustycznej właściwej R elementów gumowych przejazdu kolejowego przeprowadzono na zmodernizowanym stanowisku laboratoryjnym – otworze pomiarowym, znajdującym się w zestawie dwóch komór pogłosowych. Badania wykonano zgodnie z wymogami polskiej normy PN-83/B-02154.03 oraz normami związanymi PN-83/B-02154.01 i PN-83/B-02154.02.

Układ pomiarowy zastosowany do wyznaczenia izolacyjności akustycznej elastomerowych elementów gumowych mających zastosowanie w wibroizolacji maszyn i urządzeń przedstawiono na rysunku 3. Złożony jest on z następujących układów: nagłośnienia komory nadawczej, toru pomiarowo-analizującego, monitorowania przebiegu badań. W systemie tym użyto następującej aparatury:

- analizator dwukanałowy firmy NORSONIC RT A840, z wewnętrznym generatorem szumu
- wzmacniacz mocy typ SOUND KRAK 200 VA
- zestaw dwóch głośników 2×150 V A firmy GBL, zainstalowanych w szafie głośnikowej
- dwa mikrofony pomiarowe G.R.A.S. typ 40 AF
- dwa przedwzmacniacze mikrofonowe NORSONIC 1201



Rys. 3. Stanowisko laboratoryjne do badania izolacyjności właściwej

- dwa automatyczne ramiona obrotowe (uchwyty mikrofonów) ze sterownikami PAN TITL
- kamery przemysłowe mC-385/12 z obiektywem Yamano Y1304M
- monitory monochromatyczne BT-12 MC
- mikrokomputer PC Pentium 200 MMX
- drukarka laserowa HP LaserJet 3.

Pomieszczenie nadawcze pobudzano szumem szerokopasmowym (biały szum) generowanym przez generator szumu analizatora NORSONIC RTA 840, poprzez wzmacniacz mocy i zestaw głośnikowy o wysokiej efektywności (ok. 103 dB). Pozwoliło to na uzyskanie poziomu dźwięku w komorze nadawczej ok. 113 dB. Sygnały z obu pomieszczeń podawano jednocześnie na analizator dwukanałowy i uśredniano je liniowo w czasie 32 s dla każdego punktu pomiarowego. Łącznie wykonano pomiary ciśnienia akustycznego w pięciu punktach zarówno w komorze nadawczej, jak i odbiorczej. Ustalenie położenia mikrofonów pomiarowych było automatyczne i kontrolowane poprzez ciągły monitoring pomiarów kamerami przemysłowymi. Zapamiętane widma tercjowe i oktafowe wprowadzano do mikrokomputera PC Pentium 200. Po wyznaczeniu wielkości średnich z pięciu widm wyliczono izolacyjność akustyczną właściwą R w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 100 Hz do 3.15 kHz. Obliczenia izolacyjności R przeprowadzono zgodnie z normami PN-83/B-02154.03 i PN-83/B-02154.01. Badania prowadzono według procedury B5, w ramach której jest wyznaczenie metodą pomiarową izolacyjności akustycznej właściwej w warunkach komór pogłosowych, według PN-83/B-02154.03 (ISO 140/111-178), PN-83/B-02154.02 (ISO 140/11-1978).

Przedmiotem badań były elastomerowe elementy gumowe, mające zastosowanie w podtorzach transportu szynowego, jak również w minimalizacji oddziaływań na środowisko innych urządzeń, o wymiarach 500×600×20 mm i 1000×900×20 mm. Badanie izolacyjności R realizowano w pasmach 1/3 lub 1/1 oktafowych w zakresie częstotliwości od 100 Hz do 4 kHz. Procedurę stosowano do badań prowadzonych w zespole komór pogłosowych nadawczej i odbiorczej. Próbkę, z wybranego do zastosowania do wibroizolacji torowiska materiału elastomerowego, mocowano kolejno w otworze pomiarowym między komorami pogłosowymi: nadawczą i odbiorczą.

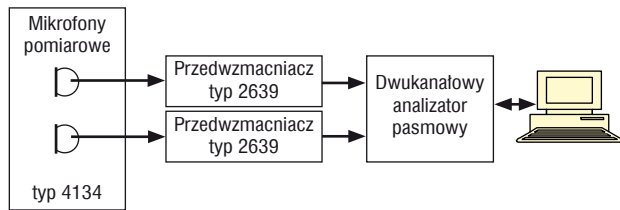
Ograniczenia wynikały ze sposobu mocowania (uszczelnienia) próbki w oknie pomiarowym.

W przypadku elastomerowych elementów gumowych, mających zastosowanie w podtorzach transportu szynowego, jak również w minimalizacji oddziaływań na środowisko innych urządzeń, konieczne było zastosowanie dodatkowych ram umożliwiających szczelne zamocowanie badanej próbki. Do wykonania badań zastosowano następującą aparaturę pomiarową firmy Bruel&Kjaer:

- dwa mikrofony pomiarowe typ 4134,4133
- dwa przedwzmacniacze mikrofonowe typ 2639
- analizator dwukanałowy typ 2133
- kalibrator typ 4230
- komputer klasy PC oraz drukarka laserowa
- zestaw nagłaśniający: generator białego szumu, typ 1405
- wzmacniacz mocy 200 VA typ W-200 oraz dwa zestawy głośników o łącznej mocy 300 V A firmy GBL.

Po analizie sposobu mocowania elastomerowych elementów gumowych w oknie pomiarowym oraz zakresu i szerokości pasm częstotliwości (1/1 i 1/3 oktafowe), wykonano pomiar tempera-

tury 18°C oraz wilgotności 40% w pomieszczeniach badawczych. Wielkości te były zgodne z wymaganiami. Sprawdzone dwukrotnie parametry akustyczne komory oraz tor pomiarowy (rys. 4), a następnie umieszczono próbki w oknie pomiarowym, uszczelniając uszczelkami na bazie kauczuku naturalnego.



Rys. 4. Schemat blokowy układu pomiarowego

Po wykonaniu kalibracji obu kanałów pomiarowych (zgodnie z instrukcją obsługi przyrządów pomiarowych) stosując wzorcowe źródło dźwięku (kalibrator typ 4230) i wprowadzając nastawy czułości mikrofonów pomiarowych w analizatorze 2133 (zgodnie z instrukcją producenta) przeprowadzono pomiar, który realizowano w pięciu punktach pomiarowych w obu komorach: nadawczej i odbiorczej. Punkty rozmieszczone były równomiernie na całej powierzchni komory, z uwzględnieniem zasady, że minimalna odległość od najbliższej powierzchni nie mogła być mniejsza niż 0,7 m. Poziomy dźwięków zakłócających, pochodzących od otoczenia, zwłaszcza w zakresie niskich częstotliwości, były określane drogą pomiaru tła akustycznego w pełnym paśmie akustycznym przed każdą serią pomiarową. Gdy różnica ΔL między zmierzonymi poziomami ciśnienia akustycznego mierzonego a poziomem ciśnienia akustycznego dźwięków zakłócających była większa niż 10 dB, pomiar był realizowany. Dotyczyło to każdego pasma częstotliwości. W przypadku niespełnienia tego warunku, pomiarów nie wykonywano.

Komora nadawcza nagłaśniana była białym szumem za pomocą układu wzmacniającego, zapewniającego poziom dźwięku A 113 dB. Pomiary wykonywano jednocześnie w dwóch punktach: (1) komorze nadawczej i (2) komorze odbiorczej. Realizowano pięć serii pomiarowych w pięciu różnych punktach. Taka liczba serii pomiarowych pozwalała na uzyskanie powtarzalności wyników wymaganej przez normę PN-83/B-02154.02. Obliczenia izolacyjności akustycznej właściwej R dokonano za pomocą komputera, zgodnie z procedurami obliczeniowymi zawartymi w normach PN-83/B-02154.03 i PN-87/B-02152/01. Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci graficznej i tabelarycznej na rysunku 5.

Podsumowanie

Badania elementów gumowych obejmowały:

- pomiar twardości Shore'a
- wyznaczenie gęstości pozornej
- wyznaczenie statycznego modułu Younga
- wyznaczenie dynamicznego modułu Younga
- współczynnika sztywności statycznej
- współczynnika sztywności dynamicznej
- wyznaczenie współczynnika tłumienia
- wyznaczenie bezwymiarowego współczynnika tłumienia
- wyznaczenie modułu relaksacyjnego.

Wyniki badań zestawiono w tabelach.

Wszystkie własności fizykomechaniczne określono na podstawie norm, przedstawionych na początku artykułu i zestawiono w tabeli 12.

Wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej

Opis badanej próbki: grubość $g = 20$ i 40 mm

Data pomiarów: 2001.09.12

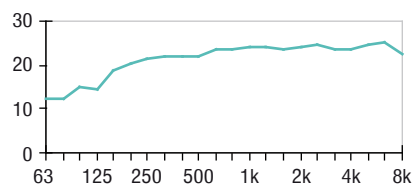
Pasma tercjowe

f [Hz]	R [dB]
63	12,5
80	12,5
100	15,2
125	14,3
160	18,7
200	20,1
250	21,3
315	21,8
400	22,1
500	22,2
630	23,4
800	24,2
1k	24,2
1,25k	24,1
1,6k	23,8
2k	24,3
2,5k	24,5
3,15k	23,5
4k	23,8
5k	24,8
6,3k	25,1
8k	22,7
R_{sr}	21,3

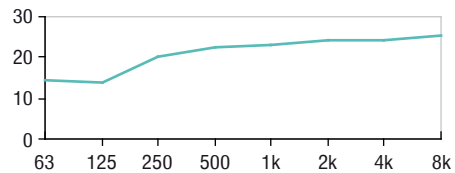
Pasma oktafowe

f [Hz]	R [dB]
63	14,3
125	13,9
250	20,4
500	22,3
1k	23,1
2k	24,2
4k	24,1
8k	25,3
R_{sr}	20,95

Częstotliwości środkowe pasm 1/3-oktafowych [Hz]



Częstotliwości środkowe pasm oktafowych [Hz]



Rys. 5. Wykres izolacyjności R_{sr} elastomerowych elementów gumowych

Tabela 12

Badany parametr	Metoda badań
Wytrzymałość na rozciąganie	PN-93/C-04205
Wydłużenie w chwili zerwania	PN-93/C-04205
Wydłużenie ostateczne	PN-93/C-04205
Wytrzymałość na rozciąganie	PN-86/C-04254
Odształcenie trwałe po ścisnaniu w ciągu 240 h w temp. 40°C przy 25% zgnioście	PN-80/C-04290
Tłumienie względne	—
Odporność na przyspieszone starzenie cieplne w powietrzu w temp. 70°C po 144 h	
– zmiana twardości	PN-82/C-04216
– zmiana elastyczności	
– zmiana wytrzymałości	
Relaksacja względna, nie mniej niż	—
Elastyczność Shoba, minimum	PN-88/C-04255
Temperatura kruchości	PN-79/C-04237
Współczynnik wibroizolacji	—

Autor

dr inż. Jan Targosz

Katedra Robotyki i Mechatroniki Akademii Górniczo-Hutniczej