

Piotr WÓJCIK¹
Paweł SKONIECKI²

METODYKA PROJEKTOWANIA DROGOWEGO AMORTYZATORA UDERZEŃ TMA 80

Przedstawiono metodę projektowania struktury rozpraszającej energię w amortyzatorach drogowych TMA (Truck Mounted Attenuator) w odniesieniu do Raportu Amerykańskiego Ministerstwa Transportu „NCHRP 350”. Przedstawiono kolejne kroki począwszy od opisu wymagań, poprzez obliczenia analityczne, kończąc na doborze elementów zgniatanych na podstawie zadanego przebiegu siły zgniatającej. W celu doboru tej charakterystyki posłużono się programem MSC Adams. Dokonano podziału dla każdej sekcji poduszek pod względem ilości energii, jaka miała zostać rozproszona. Do doboru elementów posłużono się wynikami statycznych prób zgniatania poduszek firmy Nissen Polska Sp. z o.o.

METHODOLOGY FOR THE DESIGN OF TRUCK MOUNTED ATTENUATOR TMA 80

A method of designing the structure of energy dissipating dampers TMA (Truck Mounted Attenuator), in relation to the U.S. Department of Transportation Report "NCHRP 350", is shown. The paper presents the designing steps, starting with the description of requirements, through analytical calculations, ending with the selection of elements based on assumed characteristics of crushing force. Program MSC Adams was used to determine these characteristics. Attenuator was divided into sections In terms of quantity of energy that had to be dispersed. For the selection of elements, the results of static tests crushing of attenuators made by Nissen Poland Sp. z o. o.

1. WSTĘP

Praca pod tytułem „Metodyka projektowania drogowego amortyzatora uderzeń TMA 80” porusza zagadnienia dotyczące rozpraszania energii, w tzw. strefach kontrolowanego zgniotu urządzeń zabezpieczających służby drogowe pracujące na drogach niewyłączonych z ruchu. TMA jest mobilnym urządzeniem zainstalowanym z tyłu ciężarówki, po dojechaniu na miejsce robót drogowych pojazd zatrzymuje się odpowiednio daleko przed wyznaczonym miejscem i opuszcza absorber. Pracownicy znajdujący się

¹ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, 03-301 Warszawa ul. Jagiellońska 55, e-mail: p.wojcik@pimot.ogr.pl

² Przemysłowy Instytut Motoryzacji, 03-301 Warszawa ul. Jagiellońska 55, e-mail: p.skoniecki@pimot.ogr.pl

przed swoim pojazdem są chronieni przed skutkami ewentualnego uderzenia w ciężarówkę. TMA chroni nie tylko pracowników służb drogowych, ale również nieuważnego kierowcę, który w normalnych warunkach uderzyłby w tylny układ zabezpieczający ciężarówkę, a skutki takiego uderzenia byłyby z pewnością poważniejsze, niż uderzenie w absorber.

W pracy przedstawiono metodę projektowania TMA, oraz przykładowy rezultat symulacji gotowego urządzenia.

2. RAPORT NCHRP 350 [1]

Raport Amerykańskiego Ministerstwa Transportu przedstawia wymogi bezpieczeństwa stawiane podczas projektowania i eksploatacji urządzeń bezpieczeństwa biernego na autostradach. Regulamin pozwala na przeprowadzenie testów umożliwiających dopuszczenie TMA do użytku. Przedstawia wytyczne, jakimi należy się kierować, aby możliwe było przeprowadzenie testów poprawności konstrukcji drogowych barier ochronnych. Jest w nim przedstawiony sposób przygotowania i umieszczenia elementu badanego, oraz warunki, jakie musi spełniać pojazd uderzający w barierę.

Podczas próby zderzenia ciężarówka z amortyzatorem powinna być umieszczona na czystej i suchej powierzchni, powinien być włączony drugi bieg i jednocześnie hamulec awaryjny. Przednie koła nie powinny być skręcone o żaden kąt.

Warunki uderzenia dla TMA są podane na rysunku 1, znajdują się tam testy (Test Level's w skrócie TL), które musi przejść amortyzator, aby mógł być zastosowany na drogach. Poziomy testów (6 poziomów) oznaczone są pod względem prędkości, typów pojazdów (głównie mas pojazdów) i kątów uderzenia, i tak:

TL-1 – maksymalna prędkość uderzenia to 50 km/h i masa pojazdu do 2 ton,

TL-2 – prędkość 70 km/h i masa do 2 ton,

TL-3 – prędkość 100 km/h i masa do 2 ton,

TL-4-6 – prędkość 100 km/h dla samochodów do 2 ton i prędkość 80 km/h dla samochodów powyżej 8 ton.

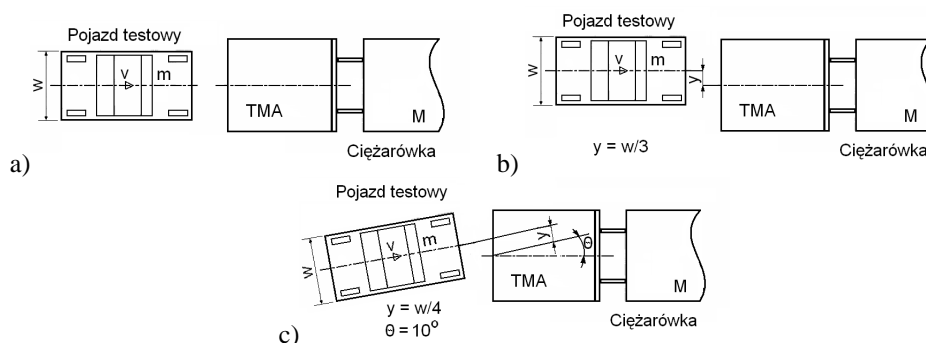
Do tej pory większość, jeśli nie wszystkie, TMA zostały zaprojektowane w celu spełnienia wymagania testu na poziomie 2 lub wymogów podobnych do niego. Dla Testu poziomu 3 wymogi są znacznie większe. Nie ma pewności, że TMA można zaprojektować tak, aby spełnić te wymagania, bez negatywnego wpływu na inne czynniki, które muszą być rozważone podczas projektowania i użytkowania TMA. W rezultacie, poziom 2 jest uważany za test podstawowy.

2.1 Testy TMA

Test 50 (rys.1.a) polega na centralnym uderzeniu samochodu w amortyzator, bez przesunięcia bocznego i kąta obrotu względem podłużnej osi symetrii TMA. Jest przeznaczony do oceny ryzyka dla zderzeń pasażerów małych samochodów z TMA. Test 51 (rys.1.a) jest przeznaczony do oceny poprawności struktury TMA, zagrożenia dla pasażerów, oraz odległość przemieszczenia się ciężarówki po zderzeniu z ciężkim pojazdem pasażerskim.

Testy 52 (rys.1.b) i 53 (rys.1.c) są testami opcjonalnymi, polegają na uderzeniu w amortyzator z przesunięciem względem podłużnej osi symetrii o wartość 1/3 szerokości

samochodu uderzającego (test 52), lub z przesunięciem o wartość 1/4 szerokości pojazdu uderzającego i obróconego o kąt 10° względem osi amortyzatora.



Rys.1. Schematy testów numer: a) 50 i 51, b) 52, c) 53

3. PROJEKT WSTĘPNY

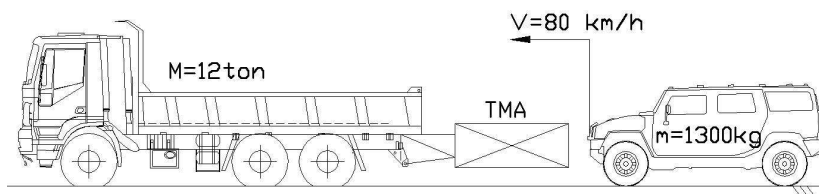
3.1 Założenia

Projekt wstępny składa się z dwóch zasadniczych części: obliczeń analitycznych i wstępnego doboru sił zgniatających w poszczególnych częściach amortyzatora. Obliczenia analityczne składają się z wyliczeń energii kinetycznej, jaką musi rozproszyć amortyzator, długości i czasu zgniatania.

Model powinien spełniać kilka założeń:

1. maksymalna prędkość pojazdu uderzającego wynosi 80 km/h,
2. masa pojazdu uderzającego 1300 kg,
3. maksymalne przyspieszenie działające na człowieka nie powinno przekraczać 20g,

Są to główne założenia, które muszą być spełnione, aby amortyzator został dopuszczony do eksploatacji.



Rys.2. Schemat przeprowadzania badań

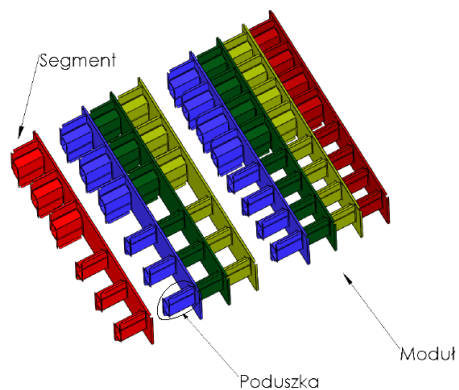
3.2 Obliczenia analityczne

Absorber składa się z dwóch modułów po 4 segmenty w każdym, więc wszystkich segmentów jest 8. W każdym segmencie zamontowane są poduszki i tak: w pierwszym module znajduje się po 6 poduszek w każdym segmencie, w drugim module – 8 poduszek. Cały absorber wykonany jest z aluminium, łącznie z przegrodami (rys.3).

Celem budowy modelu jest spełnienie przez niego określonej zależności siły w funkcji ugięcia $F = f(u)$. Budując model przyjmujemy następujące wymiary geometryczne:

Długość 2450 mm
 Szerokość 2350 mm
 Wysokość 575 mm

Są to wymiary, które firma Nissen Polska Sp. z o.o. zastosowała do swojego amortyzatora uderzeń o nazwie TD 80 [5].



Rys.3. Budowa amortyzatora

Masa całkowita pojazdu uderzającego:

$$m = 1300 \text{ kg}$$

Prędkość w chwili zderzenia:

$$V_0 = 80 \text{ km/h} = 22,222 \text{ m/s}$$

Prędkość po zderzeniu:

$$V = 0 = V_0 - a \cdot t \quad (1)$$

gdzie: a – przyspieszenie średnie podczas zderzenia, $a = 20g$

Czas, po którym pojazd zatrzyma się:

$$t = \frac{V_0}{a} = \frac{22.222 \text{ m/s}}{20 \cdot 9.807 \text{ m/s}^2} = 0.113 \text{ s} = 113 \text{ ms} \quad (2)$$

Minimalna długość amortyzatora, która będzie zgnieciona:

$$\delta = \frac{at^2}{2} = \frac{a \cdot V_0^2}{2 \cdot a^2} = \frac{V_0^2}{2a} \quad (3)$$

$$\delta = \frac{(22.222 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 20 \cdot 9.807 \text{ m/s}^2} = \frac{493.817 \text{ m}^2/\text{s}^2}{392.28 \text{ m/s}^2} = 1.2588 \text{ m} \approx 1260 \text{ mm}$$

Średnia siła zgniatająca:

$$F = P_m = m \cdot a = 1300 \text{ kg} \cdot 20g = 1300 \text{ kg} \cdot 196.14 \text{ m/s}^2 = 254982 \text{ N} \quad (4)$$

Energia kinetyczna, jaką musi rozproszyć amortyzator:

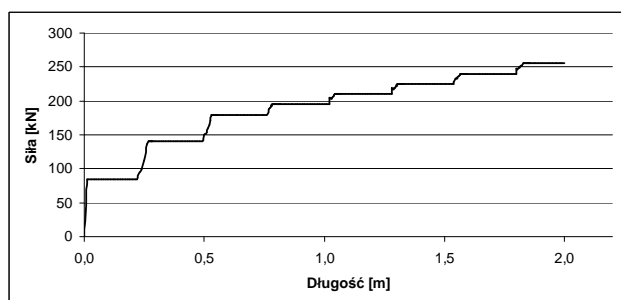
$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1300 \text{kg} \cdot \left(22.222 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 320981.2346 \text{J} \approx 320.982 \text{kJ} \quad (5)$$

Maksymalne zgniecenie amortyzatora dla bezpieczeństwa przyjmijmy 84% długości całego absorbera, będzie to 2.05 m.

3.3 Dobór sił zgniatających

Aby wyhamować samochód z prędkości 80km/h do zera, należy go tak zatrzymać, aby nie przekroczyć dopuszczalnych przyspieszeń działających na kierowcę. Żeby spełnić ten warunek, należy stopniowo i płynnie zmniejszać prędkość, tzn. na początku z niedużą siłą, następnie z coraz większą i w końcowym procesie zatrzymywania łagodnie zatrzymać pojazd. Końcowy proces jest trudno uzyskać na tak krótkim odcinku, jak długość absorbera, jest to problem wynikający z konstrukcji TMA. Podsumowując, należy dążyć do uzyskania takiego przebiegu, aby każdy z segmentów przenosił inną, coraz większą siłę i rozpraszał coraz większą energię.

Do budowy modelu posłużył program MSC.ADAMS 2005 r2, gdzie wykorzystano elementy cierne i założono odpowiednie średnie siły zgniatające tak, aby uzyskać całkowite rozproszenie energii kinetycznej pojazdu uderzającego. Na rys.4 przedstawiono uzyskany przebieg siły w kolejnych segmentach.



Rys.4. Przebieg siły na podstawie programu MSC ADAMS

Następnie należy dobrać materiał oraz wymiary i grubość blachy poszczególnych poduszek tak, aby uzyskać żądaną wartość siły. Poduszki w kolejnych segmentach dobrano wykorzystując symulację komputerową, które przedstawione są w Tab.1.

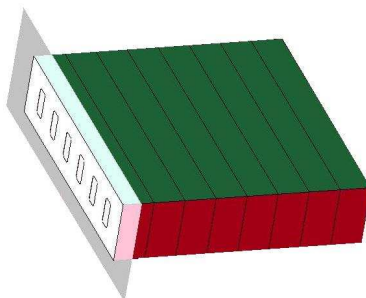
Tab.1. Dobór poduszek absorbera

Nr segmentu	Siła przypadająca na jedną poduszkę [kN]	Ilość poduszek	Siła [kN]	Energia kinetyczna E_k [kJ]	Wymiary poduszek a×b×t [mm]
1	16,51	6	99,06	23,774	235x100x1
2	21,018		126,108	30,266	215x130x1,2
3	23,599		141,594	33,983	215x180x1,2
4	27,817		166,902	40,056	235x100x1,5
5	21,018	8	168,144	40,355	215x130x1,2
6	23,599		188,792	45,310	215x180x1,2
7	27,817		222,536	53,409	235x100x1,5
8	32,052		256,416	61,540	215x110x1,5
Suma				328,692	

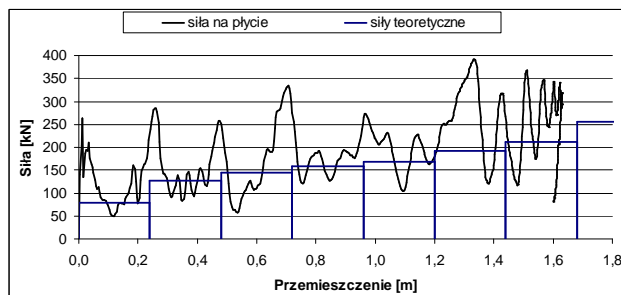
Długość każdego segmentu wynosi 240mm. Energia, jaka będzie rozpraszana jest większa niż energia rozpędzonego samochodu, który trzeba zatrzymać.

4. MODEL MES TMA

Po określeniu parametrów dla poszczególnych segmentów, sprawdzono zachowanie się poduszek za pomocą symulacji komputerowej. Zamodelowano poduszki wykonane przez firmę Nissen w programie typu MES, LS-Dyna. Model składał się z 8 segmentów, a elementem uderzającym była przeszkoda nieodkształcalna o masie i prędkości zgodnej z wymaganiami (rys 5.).



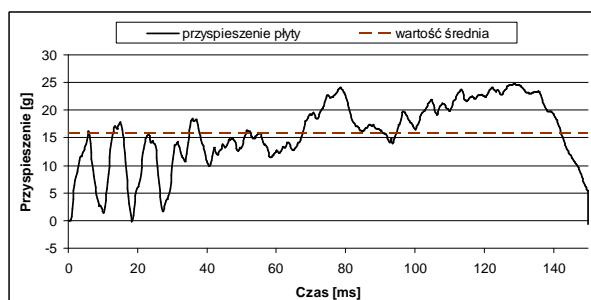
Rys.5. Model symulacji zderzenia z nieodkształcalną przeszkodą (płytą)



Rys.6. Porównanie wykresów sił teoretycznych z wykresem sił z symulacji zgniatania płyty

Na rys 6. pokazano wykresy sił z symulacji komputerowej i obliczeń analitycznych. Łatwo można określić początki zgniatania się kolejnych segmentów. W pierwszym segmencie widać duży skok siły, który jest związany z uderzeniem, jak również z inicjacją zgniatania, która jest także widoczna w dalszych segmentach. Od szóstego segmentu nie widać dokładnego początku zgniatania, gdyż nastąpiły one w krótkich odstępach czasu.

Wykres na rys. 7 przedstawia przyspieszenie działające na samochód, jak i na kierowcę. Przedstawione jest w funkcji przyspieszenia ziemskiego g równego 9.807 m/s^2 .



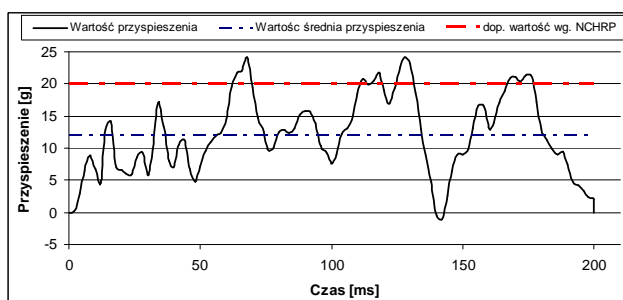
Rys.7. Przyspieszenie grawitacyjne g w funkcji czasu, działające na pojazd.

Przyspieszenie maksymalne wyniosło $24.7g$ i działa tylko przez czas, około 30 ms powyżej założonego $20g$, podczas gdy średnie przyspieszenie wynosi, blisko $16g$.

Ostatnią symulację, jaką przeprowadzono była symulacja zderzenia samochodu z amortyzatorem TMA. Różnica pomiędzy poprzednią symulacją jest taka, że pojazd również posiada pewną sztywność i on sam pochłonie część energii, dokładnie tak, jak w rzeczywistości. Wyniki tej symulacji przedstawione są na rysunkach poniżej (rys 8. i rys 9.):

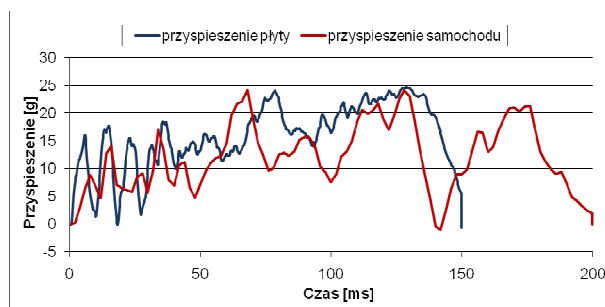


Rys.8. Wynik symulacji po zderzeniu



Rys.9. Opóźnienie samochodu w funkcji czasu

Rys.9. przedstawia opóźnienie samochodu w funkcji czasu, gdzie maksymalne opóźnienie wynosi 24,7g w czasie 68 i 128 milisekundy, mniejsze wartości odnotowano w przedziałach 112÷120 milisekundy i 168÷178 milisekundy, a całkowity czas przeciążenia powyżej 20g wynosił około 25 ms. Natomiast średnie opóźnienie zaznaczone linią przerywaną wynosi około 12g, co jest zadowalające, ponieważ nie przekroczono maksymalnego przyspieszenia, które podaje raport 350. Około 140 milisekundy poduszka nie stawiała żadnego oporu i nie hamowała pojazdu, związane to było z początkiem wybożenia się ostatnich, jeszcze niezgniecionych segmentów.



Rys.10. Opóźnienie samochodu w funkcji czasu

Porównując dwie symulacje zderzeniowe (rys.10.) można zauważyć, że maksymalne chwilowe przyspieszenia nie przekroczyły 25g. Średnie przyspieszenia w obu przypadkach nie przekroczyły dopuszczalnej wartości 20g. Czas zderzenia płytą jest krótszy o 50 ms, co jest związane z większą powierzchnią kontaktową płyty, która jest również nieodkształcalna, o czym świadczy większa wartość średnia przyspieszenia.

5. WNIOSKI

W pracy przedstawiono sposób projektowania, oraz badania drogowego amortyzatora uderzeń TMA 80 w odniesieniu do Raportu Amerykańskiego Ministerstwa Transportu „NCHRP 350”. Pokazano kolejne etapy niezbędne do zaprojektowania takiego urządzenia, począwszy od omówienia wymagań, przeanalizowania obliczeń analitycznych, oraz weryfikację poprzez symulację komputerową. Dodatkowo pokazano przykładowy crash-test z zastosowaniem zaprojektowanego urządzenia TMA.

Najważniejszym etapem projektowania jest:

- Rozdział na poszczególne segmenty średnich sił zgniatających, znając energię kinetyczną rozpędzonego samochodu,
- Dobranie na podstawie przyjętych średnich sił zgniatających wymiarów, materiału i kształtu poduszek.

Do symulacji zderzenia w celu analizy przyspieszeń, można stosować nieodkształcalną płytę. Nie ma potrzeby stosowania modelu samochodu ze względu na czas i wielkość obliczeń.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] NCHRP Report 350 [online] Transportation Research Board, 1993. [dostęp: 2009-06-25]. http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_350-a.pdf
- [2] Niezgodziński M. E., Niezgodziński T.: Wytrzymałość materiałów. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 1998.
- [3] Abramowicz W., – materiały dydaktyczne „Zasady projektowania absorberów osiowych”.
- [4] Wójcik P., (2009): Praca magisterska „Badania symulacyjne drogowego amortyzatora uderzeń TMA 80”, Politechnika Warszawska, wydział SiMR;
- [5] http://p7287.typo3server.info/uploads/media/anpralldaempfer_02.pdf [dostęp: 2009-10-11]