

Tomáš Coufal

Szacowanie wartości parametru *EES* dla pojazdu o nieznanymi parametrach sztywności

Streszczenie

W artykule omówiono możliwości oszacowania wartości parametru *EES* (*Energy Equivalent Speed*) dla nietypowych pojazdów, w przypadkach gdy wartości tego parametru nie można uzyskać przy użyciu powszechnie dostępnych metod stosowanych w praktyce analizy wypadków drogowych.

Słowa kluczowe

EES, zderzenie, pojazd, biegły, wypadek drogowy.

* * *

1. Wstęp

Określenie wartości parametru *EES* stanowi integralną część opinii biegłego w dziedzinie rekonstrukcji i analizy wypadków drogowych. W praktyce, dla określenia wartości *EES* istnieją metody określania wartości tego parametru, odpowiadającej określonymu pojazdowi i jego uszkodzeniom. Te „standardowe” metody określania wartości *EES* mają zastosowanie w przypadku pojazdów „standardowych”. Natomiast w przypadku pojazdów nietypowych (przykładowo – sportowych), problem określenia wartości *EES* jest znacznie bardziej złożony, ponieważ parametry sztywnościowe tych pojazdów znacznie różnią się od sztywności pojazdów standardowych, co przy użyciu konwencjonalnych metod może powodować znaczne odchylenia od rzeczywistej wartości *EES*.

W przypadku zderzenia się dwóch samochodów, z których co najmniej dla jednego możliwe jest ustalenie masy i wartości parametru *EES*, dla drugiego z nich, nietypowego, parametr *EES* również można oszacować, na podstawie głębokości jego odkształceń i masy. Ten artykuł dotyczy właśnie tego problemu.

2. Określenie wartości *EES* w przypadku zderzenia z udziałem nietypowego samochodu

W przypadku, który posłuży do objaśnienia problemu, dla określenia wartości parametru *EES* dostępna była powypadkowa dokumentacja fotograficzna samochodów uczestniczących w wypadku (ryciny 1 i 3), a mianowicie:

z problemów rekonstrukcji wypadków i opiniowania

- samochodu Smart Roadster o masie rzeczywistej $m_1 = 865$ kg (w którym w chwili zderzenia znajdowała się jedna osoba) oraz
- samochodu Fiat Punto, o masie rzeczywistej $m_2 = 1170$ kg (w którym w krytycznej chwili znajdowały się dwie dorosłe osoby, dwoje dzieci i bagaż).

2.1. Określenie wartości EES dla samochodu Fiat Punto



Ryc. 1. Powypadkowe uszkodzenia samochodu Fiat Punto.

Jako wzorce pomocnicze dla oszacowania wartości parametru *EES* samochodu Fiat Punto, przyjęto następujące samochody, o znanych masach i wartościach *EES* (ryc. 2):



a) Fiat Punto: masa 947 kg, EES 55 km/h.



b) Honda Civic: masa 985 kg, EES 49km/h.



c) Ford Fiesta: masa 730 kg, EES 55km/h.

Ryc. 2. Samochody o znanej wartości EES i zakresie uszkodzeń porównywalnym z uszkodzeniami samochodów z badanego wypadku

Oszacowania szukanej wartości *EES* można dokonać na podstawie formuły:

$$EES_{szukane} = EES_{wzorca} \cdot \sqrt{\frac{m_{wzorca}}{m_{szukanego}}} \quad (1)$$

gdzie:

$EES_{szukane}$ – poszukiwana wartość *EES* nietypowego samochodu [km/h],

EES_{wzorca} – znana wartość *EES* samochodu – wzorca [km/h],

$m_{szukanego}$ – rzeczywista masa nietypowego samochodu [kg],

m_{wzorca} – rzeczywista masa samochodu – wzorca [kg].

Wyniki tak dokonanego szacowania są zestawione w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości EES wzorców i poszukiwana

samochód wzorcowy	EES_{wzorca} [km/h]	masa wzorca [kg]	masa szukanego [kg]	$EES_{szukane}$ [km/h]
Fiat Punto	55	947	1170	49
Honda Civic	49	985	1170	45
Ford Fiesta	55	730	1170	43
samochód Fiat Punto uczestniczący w wypadku			1170	46 ± 10%*, tj. 41–51

*) Przyjęta, technicznie uzasadniona tolerancja.

3. Ustalenie wartości *EES* dla samochodu *Smart Roadster*

Ponieważ samochód *Smart Roadster* nie jest dostępny w żadnym z katalogów *EES*, nie można było określić wartości tego parametru, zgodnej z poziomem jego uszkodzenia, przy zastosowaniu metody porównywania, zastosowanej w przypadku samochodu Fiat Punto. Dlatego też zastosowano alternatywną metodę określania wartości *EES*, która umożliwi konwersję *EES* na podstawie poziomu uszkodzeń obu pojazdów, znajomości ich mas i znanej wartości *EES* dla wzorcowego Fiata Punto. Obraz uszkodzeń samochodu uczestniczącego w analizowanym wypadku oraz samochodu – wzorca przedstawiają ryciny 3 i 4.



Ryc. 3. Powypadkowe uszkodzenia samochodu Smart Roadster.



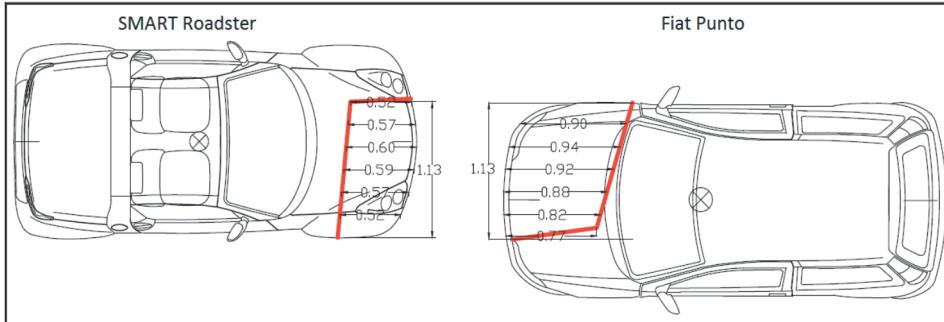
Ryc. 4. Uszkodzenia samochodu – wzorca Smart Roadster po innym, zrekonstruowanym wypadku. Rzeczywista masa tego samochodu (masa w stanie gotowości do jazdy +1 osoba dorosła) wynosiła $m = 865 + 75 = 940$ kg.

4. Określenie poziomu uszkodzeń samochodów Smart Roadster i Fiat Punto

Na podstawie dostępnej dokumentacji fotograficznej oszacowano poziom uszkodzeń uczestniczących w omawianym wypadku samochodów Smart Roadster i Fiat Punto (patrz ryciny 5 i 6).



Ryc. 5. Deformacja przedniej części samochodu Smart Roadster.



Ryc. 6. Porównawczy obraz uszkodzeń samochodów Smart Roadster i Fiat Punto.

Średnia głębokość trwałej deformacji samochodu Smart Roadster została ustalona na poziomie 0,56 m, a samochodu Fiat Punto na poziomie 0,87 m.

5. Wyznaczenie energii odkształcenia samochodu Fiat Punto

Na podstawie znanej wartości parametru EES dla samochodu Fiat Punto ($EES = 46$ km/h) i jego masy ($m = 1170$ kg) (patrz tabela 1), można oszacować energię deformacji, odpowiadającą odkształceniu plastycznemu samochodu Fiat Punto po kolizji.

$$E_D = \frac{1}{2} m \cdot EES^2 = \frac{1}{2} \cdot 1170 \cdot 12,778^2 = 95517J \quad (2)$$

gdzie:

E_D – energia deformacji,

m – masa samochodu Fiat = 1170 kg,

EES – prędkość równoważna energii samochodu Fiat: 46 km/h, tj. 12,8 m/s.

Energię deformacji samochodu podczas kolizji można podzielić na trzy części, a mianowicie:

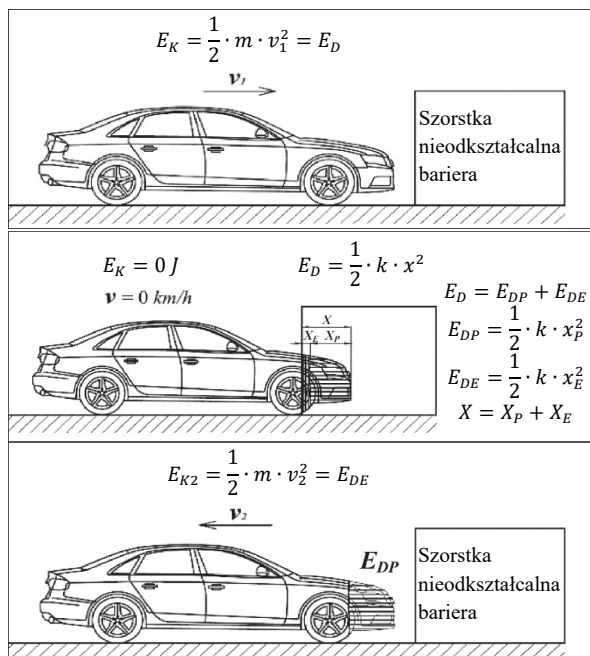
E_{DP} – energia odkształcenia plastycznego (trwałego) X_P , które można zmierzyć po kolizji;

E_{DE} – energia odkształcenia sprężystego (zanikającego) pojazdu, X_E ;

E_D – maksymalna energia odkształcenia, odpowiadająca maksymalnej głębokości odkształcenia X , powstałego na skutek kolizji ($E_D = E_{DP} + E_{DE}$).

Znaczenie każdego komponentu przedstawiono na rycinie 7.

W oparciu o przedstawione wyżej definicje poszczególnych składników energii odkształcenia, można dla samochodu Fiat określić wartości E_{DE} i E_D . Do obliczeń będzie stosowany współczynnik restytucji $k=0,1$, która to wartość jest wykorzystywana w przypadku większości zderzeń samochodów osobowych przy prędkościach względnych większych niż ok. 20–30 km/h.



Rys. 7. Całkowite odkształcenie plastyczne i sprężyste oraz odpowiednia energia odkształcenia.

$$E_{DE} = \frac{E_{DP} \cdot k^2}{1 - k^2} = \frac{96617 \cdot 0,1^2}{1 - 0,1^2} = 965 \text{ J} \quad (3)$$

$$E_D = E_{DP} + E_{DE} = 95517 + 965 = 96482 \text{ J} \quad (4)$$

Na podstawie zmierzonej średniej głębokości odkształcenia plastycznego samochodu Fiat ($X_p = 0,87 \text{ m}$) można obliczyć głębokość odkształcenia sprężystego X_e , a następnie maksymalną głębokość całkowitego odkształcenia X .

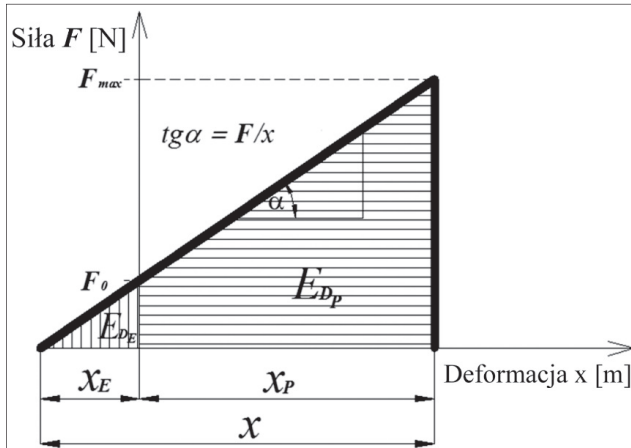
$$X_e = \frac{X_p \cdot k}{1 - k} = \frac{0,87 \cdot 0,1}{1 - 0,1} = 0,097 \text{ m} \quad (5)$$

$$X = X_p + X_e = 0,87 + 0,097 = 0,967 \text{ m} \quad (6)$$

6. Określenie wartości siły uderzenia

Na podstawie powyższych obliczeń można skonstruować charakterystykę sztywności pokazaną na rycinie 8 i obliczyć maksymalną siłę F_{\max} , która (zgodnie z trzecią zasadą Newtona) jest dla obu pojazdów jednakowa, ale o przeciwnym zwrocie.

$$F_{\max} = \frac{2E_D}{X} = \frac{2 \cdot 96482}{0,967} = 199549 \text{ N} \quad (7)$$



Ryc. 8. Liniowa charakterystyka sztywności.

7. Wyznaczanie energii deformacji samochodu Smart Roadster

Na podstawie zmierzonej średniej głębokości odkształcenia plastycznego samochodu Smart ($X_P = 0,56$ m), można obliczyć głębokość odkształcenia sprężystego X_E , a następnie maksymalną głębokość całkowitego odkształcenia X , wyznaczyć maksymalną głębokość powstałego przy kolizji odkształcenia X i odpowiednią głębokość odkształcenia sprężystego X_E , przy założonym współczynniku restytucji $k = 0,1$.

$$X_E = \frac{X_P \cdot k}{1 - k} = \frac{0,56 \cdot 0,1}{1 - 0,1} = 0,062 \text{ m} \quad (8)$$

$$X = X_P + X_E = 0,56 + 0,062 = 0,622 \text{ m} \quad (9)$$

Z trzeciej zasady Newtona wynika, że siła działająca na oba pojazdy podczas zderzenia jest taka sama co do wartości, ale o przeciwnym zwrocie, a zatem obliczona wartość F_{max} wynosi 199549 N. Dlatego maksymalna energia odkształcenia samochodu Smart wynosi:

$$E_D = \frac{F_{max} \cdot X}{2} = \frac{199549 \cdot 0,622}{2} = 62060 \text{ J} \quad (10)$$

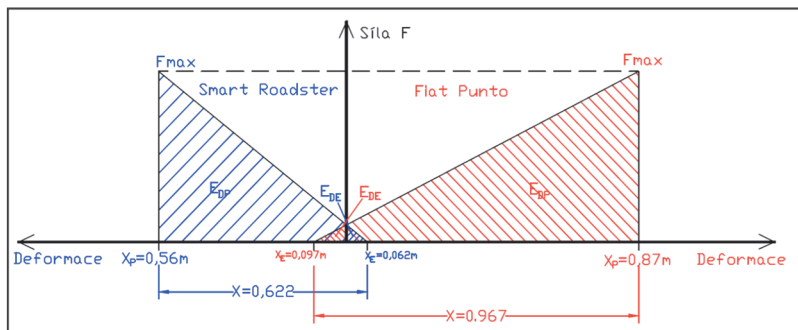
Sprężysta i plastyczna składowa energii odkształcenia samochodu Smart wynosi:

$$E_{DE} = E_D \cdot k^2 = 62060 \cdot 0,1^2 = 621 \text{ J} \quad (11)$$

$$E_{DP} = E_D - E_{DE} = 62060 - 621 = 61439 \text{ J} \quad (12)$$

8. Charakterystyka sztywności samochodów Smart Roadster i Fiat Punto

Na podstawie obliczonych wartości energii odkształcenia poszczególnych pojazdów, sił uderzenia i głębokości odkształceń, konstruuje się liniową charakterystykę sztywności, odpowiadającą analizowanemu zderzeniu (patrz ryc. 9).



Ryc. 9. Liniowa charakterystyka sztywności samochodów Smart Roadster i Fiat Punto.

9. Obliczenie wartości EES samochodu Smart Roadster

Z plastycznej składowej energii odkształcenia samochodu Smart i jego rzeczywistej masy w chwili zderzenia oblicza się dla niego wartość parametru *EES* (z technicznie dopuszczalną tolerancją ± 5 km/h).

$$EES = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{DP}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 61439}{940}} = 11,43 \text{ m/s} = 41 \text{ km/h} \quad (13)$$

Uwzględniając dopuszczalną technicznie tolerancję, do dalszej analizy przyjęto dla samochodu Smart Roadster wartość *EES* na poziomie 36 do 46 km/h.

10. Podsumowanie

W artykule opisano metodę szacowania wartości parametru *EES* dla samochodu sportowego, w przypadku którego nie dysponujemy danymi z prób zderzeniowych.

Przedstawiona metoda określania wartości *EES* ma zastosowanie do analizy zderzenia dwóch samochodów, z których co najmniej w stosunku do jednego możliwe jest określenie wartości parametru *EES*. Nieodzowną częścią obliczeń jest znajomość mas poszczególnych samochodów oraz głębokości ich deformacji. Poza tym ten sposób nie nadaje się do analizy zderzeń ślizgowych.

Bibliografia

1. Bradač, A. *et al.* (1999). *Soudní inženýrství*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., s. 725. ISBN 80-7204-133-9.
2. Burg, H. (2007). *Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion*. Wiesbaden, s. 952, ISBN 3-8348-0172-0.
3. Burg, H., Rau, H. (1981). *Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion*. Kippenheim, s. 838, ISBN 3-88550-020-5.
4. Cichos, D., *et al.* (2006). *Crash Analysis Criteria Description*. Data Processing Vehicle Safety Workgroup. In [online]. Vyd. 2. Germany. s. 142: <<http://www.crash-network.com/Download/download.html>>.
5. Harmati, I., Várlaki, P. (2007). *Identification of Energy Distribution for Crash*, Acta Polytechnica Hungarica. Hungary, Vol. 4, No. 2, s. 19–28.
6. Kasanický, G. (2001). *Teória pohybu a rázu při analýze a simulácii nehodového děja*. Žilina, EDIS – vydavateľstvo ŽU, s. 350, ISBN 80-7100-597-5.
7. Mchenry, B., G. (2001). *The algorithms of crash*, McHenry Software Inc. In [online]. USA, s. 42. Dostupny takze na: <<http://www.mchenrysoftware.com>>.
8. Meleg G. (2005). *AutoExpert – CD EES 4.0*, Hungary – *Katalog EES samochodów*.
9. *New car assessment program (NCAP)*. (2011). *Audi A4 2.0 TFSI Quattro Tiptronic*. Report number: NCAP-KAR-11-015. In [online]. USA. [cit. 2011-12-11]. Dostupne na: <<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/>>.
10. *NHTSA. Vehicle Crash Test Database*. (2011). In [online] USA [cit. 2011-12-11]. Dostupne na: <<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/>>.
11. Steffan H. (2001). *PC-Crash – Simulation program for vehicle accidents, Technical manual*, wyd. Datentechnik.
12. Vangi, D., Begani, F. (2010). *The Triangle Method for Evaluation*. 19th EVU Congress 19, 1, s. 265–299. ISBN 978-80-7399-128-9.
13. *Virtual Crash* [online]. (2011). [cit. 2011-09-09]. EES katalog. Dostupne na: <<http://www.ees-catalog.com>>.

* * *

Assessment of EES parameter value for a vehicle of unknown stiffness parameters

Abstract

The article describes the methodology of EES (Energy Equivalent Speed) determination for atypical vehicles for which parameter EES is not available in tools for traffic accident analysis used by forensic experts.

Key words

EES, crash, vehicle, forensic expert, traffic accident.