

Problémy, chyby a zvláštnosti určení EES

Problems, Bugs and Peculiarities Determine the EES

ABSTRAKT: Analytici nehod často používají k výpočtu střetových rychlostí hodnoty EES (Energy Equivalent Speed, ekvivalentní energetická rychlost). Stanovení hodnot EES ale vede mnohdy k problémům nebo chybám. Tento článek se věnuje některým z možných problémů, chyb a zvláštností při určování EES. V současnosti nelze řešit všechny problémy, ale alespoň na ně poukážeme.¹⁾

KLÍČOVÁ SLOVA: dopravní nehoda, ekvivalentní energetická rychlost, relativní rychlost, překrytí

ABSTRACT: Analysts accidents often used to calculate the velocity values střetových EES (Equivalent Energy Speed). Determination of the values of EES but often leads to problems or mistakes. This article discusses some of the potential problems, errors and peculiarities in determining the EES. At present you cannot solve all the problems, at least we point out.

KEYWORDS: traffic accident, the energy equivalent speed, the relative speed, overlap

1. PŘEKRYTÍ

Pro výpočet relativních rychlostí je nutno vymezit hodnotu EES, což se zpravidla provádí na podkladě srovnávacích zkoušek. Pokud v určitém případě jde o 100% překrytí (obr. 1 dole), zatímco srovnávací zkouška s odpovídající intenzitou deformací vykazuje jen 40% překrytí (obr. 1 nahoře) a hodnotu $EES = 11,2$ km/h, může být hodnota EES ze srovnávací zkoušky přepočtena na předmětný případ. Při přepočtu na plné, tedy 100% překrytí, se musí zohlednit, zda hmotnosti obou vozidel (vozidla z nehody a vozidla zkušební) jsou shodné, a zda poměr deformačních energií zhruba odpovídá poměrům překrytí. To znamená, že když zkušební vozidlo při polovičním překrytí vykazuje určitou deformační energii E , vykazuje automobil (shodné hmotnosti) s touž intenzitou poškození po celé šířce vozidla deformační energii $2E$.

Zohledněním těchto poměrů lze napsat přepočítací vztah (1) pro různá překrytí:

$$EES_{real} \approx \sqrt{\frac{\%_{real}}{\%_{test}}} \cdot EES_{test}^2, \quad (1)$$

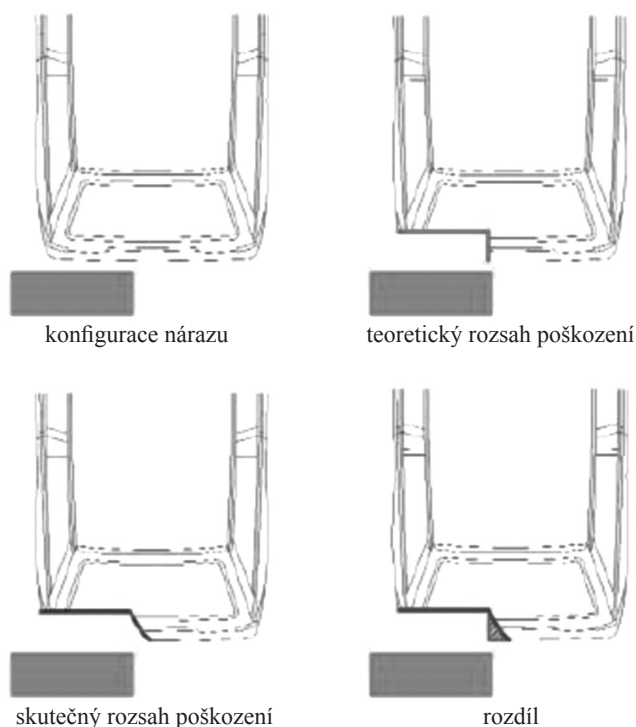
$$EES_{real} \approx \sqrt{\frac{100}{40}} \cdot 11,2^2 \approx 17,7 \text{ km/h}.$$

Z uvedeného příkladu plyne, že vozidlu zasaženému s plným překrytím je třeba přiřadit hodnotu $EES = 17,7$ km/h.

¹⁾ Přepřpracovaný příspěvek přednesený na konferenci Rekonstrukce nehod 4. a 5. června 2003 ve Wildhaus (Švýcarsko). Článek byl uveřejněn v časopisu Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 9/2006. Otištěno se souhlasem autora.



Obr. 1 Test s překrytím 100% a 40%.
 Figure 1 Test with an overlap of 100% and 40%.



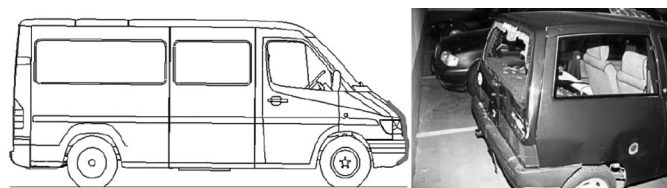
Obr. 2 Teoretický a skutečný rozsah poškození.
Figure 2 Theoretical and actual extent of damage.

Vzhledem k tomu, že u tohoto automobilu se nejedná o skutečnou nehodu, ale o testovací vozidlo, víme, že míra poškození tohoto vozidla odpovídá hodnotě EES 16,7 km/h a že tudíž hodnota EES je nižší než ta, která byla vpředu teoreticky odvozena. Vysvětlení je, že teoretický rozsah poškození 40 % šířky vozidla neodpovídá skutečnému rozsahu poškození (obr. 2).

V souvislosti s přetvořením i těch struktur karoserie, které nebyly přímo zasaženy nárazem, dochází k větší celkové přetvoření, přitom je tedy ve skutečnosti poškozena větší šířka vozidla než 40 %. Při teoretickém výpočtu, který je založen na čtyřicetiprocentním překrytí, nutně vychází příliš vysoká hodnota deformační energie a tím i příliš vysoká hodnota EES .

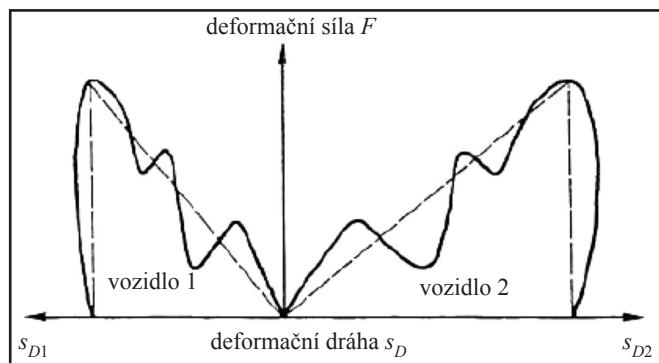
2. ODVOZENÍ DRUHÉ HODNOTY EES

Pokud při zpracování případu lze určit s uspokojivou přesností hodnotu EES jednoho z obou vozidel, ale pro druhé vozidlo nejsou bližší podklady k dispozici, vyvstává problém, jak vymezit hodnotu EES také pro toto neznámé vozidlo (obr. 3).



Obr. 3 Neznámé EES nákladního automobilu, známé EES osobního automobilu.

Figure 3 Unknown EES truck, known EES passenger car.



Obr. 4 Diagram dráha × síla vozidel [1].
Figure 4 Diagram track × power vehicles [1].

Řešení tohoto problému leží v diagramu dráha × síla (obr. 4). Přitom se využívá poměr mezi hmotností a deformační dráhou za předpokladu, že v průběhu deformací jsou síly na obou vozidlech shodné (akce = reakce).

Vzhledem k tomu, že plocha pod čarou diagramu dráha × síla jednoho vozidla odpovídá jeho deformační energii, lze poměr hodnot EES vozidel vyjádřit jako odmocninu z poměru hmot a deformačních drah [1] podle vztahu (2).

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot EES_1^2 &= E_{D1} = \int_0^{s_{D1}} F \cdot ds_D = \frac{F_m \cdot s_{D1}}{2}, \\ \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot EES_2^2 &= E_{D2} = \int_0^{s_{D2}} F \cdot ds_D = \frac{F_m \cdot s_{D2}}{2}, \\ \frac{m_1 \cdot EES_1^2}{m_2 \cdot EES_2^2} &= \frac{s_{D1}}{s_{D2}} \Rightarrow \frac{EES_1}{EES_2} = \sqrt{\frac{m_2 \cdot s_{D1}}{m_1 \cdot s_{D2}}}. \end{aligned} \quad (2)$$

3. BOČNÍ KOLIZE SE SKLUZEM

Při tečných kolizích mezi dvěma vozidly (obr. 5) spočívá problém v tom, že určení hodnot EES pro tato vozidla je velmi obtížné. V současnosti nejsou k dispozici žádné srovnávací testy, při nichž by byly stanoveny hodnoty EES vozidel. Proto v konkrétním případě je třeba provést vlastní test.

Rovněž při tečné kolizi osobního automobilu se svodidlem máme problém, že odhad hodnoty EES pro automobil je problematický kvůli chybějícím srovnávacím testům (obr. 6). Dokonce i když se odpovídající srovnávací test nalezne, zůstává problém v neznámé hodnotě deformační energie svodidla. Zvláště u svodidel, jejichž sloupky jsou zakotveny v relativně měkkém podkladu, lze sotva rekonstruovat, jak velká energie byla přeměněna na posun sloupků v zemině.

4. ROZDÍLNÁ VOZIDLA

Při různých vozidlech se musí pochopitelně zohlednit rozdílná tuhost jejich struktur. Kvůli snižování základních nákladů jsou však podvozkové struktury výrobců automobilů přibližně identické. Jako příklad zde uvedme malé automobily SEAT a VW (obr. 7).



Obr. 5 Příklad deformací vzniklých při tečné kolizi osobních automobilů.
Figure 5 Example of deformation caused when grazing collision of cars.



Obr. 7 SEAT Arosa (nahore) a VW Lupo (dole).
Figure 7 SEAT Arosa (up) and VW Lupo (down).



Obr. 6 Příklad kolize osobního automobilu se svodidlem.
Figure 6 Example of a collision of a car with guardrail.

SEAT Arosa lze snadno na pohled rozeznat od VW Lupo, při odstrojení nárazníku (obr. 8) však vykazuje shodu s jinými osobními automobily.

Nosník tvořící příčnou výztuhu předního nárazníku je u obou automobilů koncipován shodně. Úzká příbuznost obou automobilů se ukazuje i tehdy, podrobí-li se stejným podmínkám crash-testu (obr. 9).

Rozdíly však mohou vyvstat i uvnitř jedné modelové řady, jako například u automobilů VW Golf III. U těchto automobilů se zprvu montovaly tzv. nárazníkové hrnce na konce obou podélných nosníků (obr. 10), zatímco v pozdějších provedeních se montoval nárazníkový element. Změkčená stavba systému zadního nárazníku vede k jinému deformačnímu chování při nárazech zezadu. Při určování EES se musí dát u VW Golf III pozor na stavbu zadního nárazníku.

5. PROBLEMATIKA PODÉLNÝCH NOSNÍKŮ

Při analýze offset-střetů protijedoucích vozidel se nesmí udělat chyba spočívající ve ztotožnění deformací vzniklých při částečném překrytí s překrytím srovnávacího testu, který je k dispozici [2].

Obr. 11 ukazuje zřetelně, že překrytí srovnávacího testu má být zvoleno menší, než překrytí, jaké bylo při analyzovaném případě. Důvodem je to, že tuhé struktury karoserií kolizních partnerů na sebe – až na vzácné výjimky – nenarážejí bezprostředně.

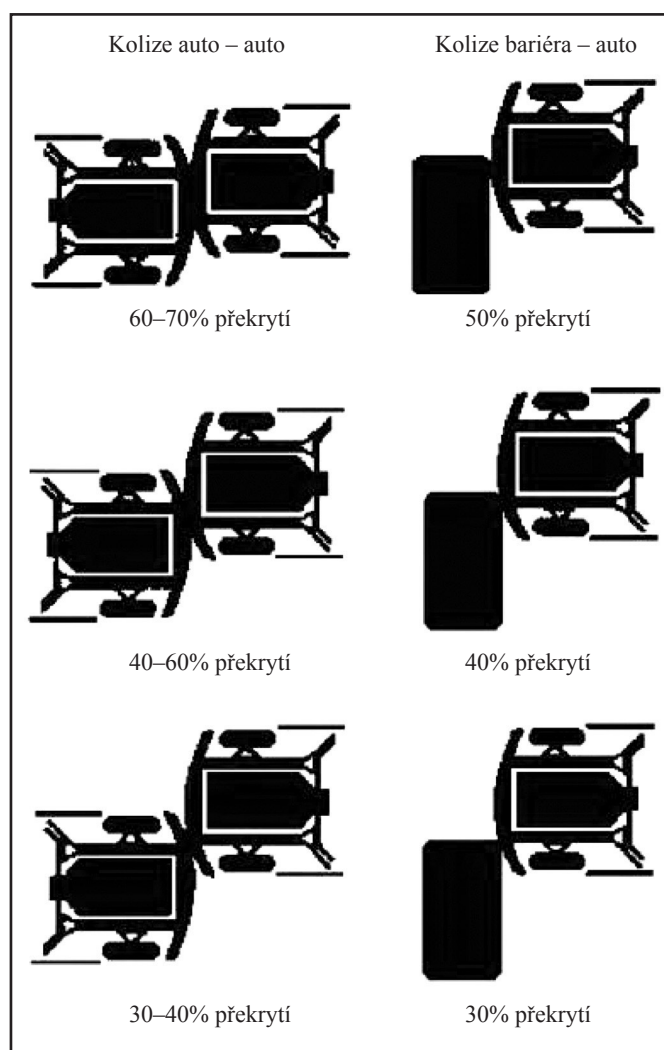


Obr. 8 Konstrukce SEAT Arosa a VW Lupo.
Figure 8 Construction SEAT Arosa and VW Lupo.



Obr. 9 Crash-test SEAT Arosa a VW Lupo.
Figure 9 Crash-test SEAT Arosa and VW Lupo.

Obr. 10 Nárazníkové hrnce a nárazníkový element u VW Golf III.
Figure 10 Fender pots and a buffer element for VW Golf III.



Obr. 11 Problematika podélných nosníků [2].
Figure 11 Problems longitudinal beams [2] (překrytí = overlap).

6. HMOTNOST PŘI NEHODĚ A PŘI TESTU

Pokud se hmotnost vozidla při nehodě významně liší od hmotnosti zkušebního vozidla, vyvstává nebezpečí chybně vypočtené relativní rychlosti. Příčina tkví ve skutečnosti, že v zákoně zachování energie se mají k výpočtu kinetické energie zadat vždy hmotnosti vozidel při nehodě, a že k výpočtu deformační energie se mají zadat hmotnosti zkušebních vozidel dle vztahu (3)

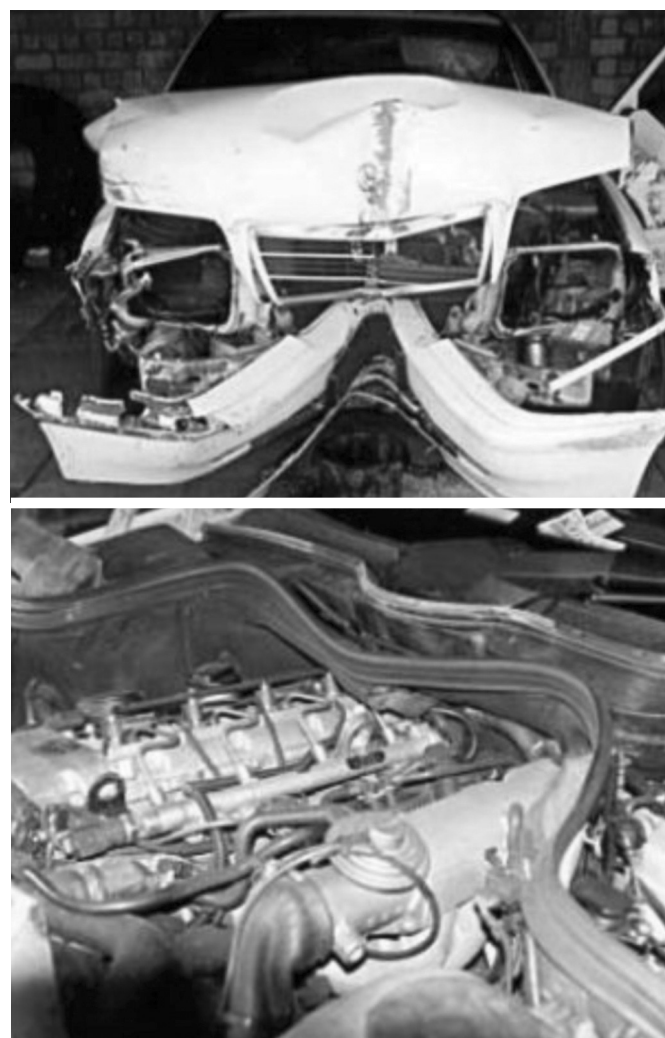
$$\underbrace{\frac{1}{2} \cdot m_{1,real} \cdot (v_1^2 - v_1'^2) + \frac{1}{2} \cdot m_{2,real} \cdot (v_2^2 - v_2'^2)}_{\text{kinetická energie (hmotnosti při nehodě)}} = \underbrace{\frac{1}{2} \cdot m_{1,test} \cdot EES_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{2,test} \cdot EES_2^2}_{\text{deformační energie (hmotnosti testovaných vozidel)}} \quad (3)$$

Pokud jsou obrazy deformací nehodových vozidel vzájemně srovnatelné s testovacími, jsou také shodné deformační energie vozidel. Zadání hmotností nehodových vozidel při známých hodnotách EES testovacích vozidel by vedlo k chybným vstupním hodnotám deformační energie pro další výpočty.

Další otázkou je, jakou měrou se podílí hmotnost nákladu na hmotnosti kolizní. Má se například počítat s celou hmotností nákladu plně naloženého (VW) Transporter jako s přírůstkem kolizní hmotnosti, anebo se náklad podílí na kolizní hmotnosti jen zčásti? Odpovězení této otázky přesahuje rámec tohoto pojednání.

7. PROSTOROVÉ NÁROKY MOTORU PŘI NÁRAZU NA SLOUP

Pokud vozidlo (s podélně uloženým motorem) narazí centricky na sloup, je třeba zohlednit prostorové nároky motoru. Obr. 12 ukazuje osobní automobil s podélně uloženým motorem po centrickém nárazu. Řadový šestiválec uložený podélně poskytuje pod kapotou výrazně méně volného prostoru než podélně uložený řadový čtyřválec. Zejména u poněkud delších řadových motorů uložených podélně nemusí být obraz poškození po nárazu na sloup srovnatelný při určení hodnoty EES s testem, při němž na sloup narazilo vozidlo s motorem uloženým napříč. Možné řešení tak představují zkoušky se srovnatelnými vozidly.



Obr. 12 Posunutí podélně uloženého motoru při centrickém nárazu.
Figure 12 Moving lengthwise stored motor centric crash.

8. VYSOKÉ HODNOTY EES

Při (extrémně) velkých deformacích vozidel se již nelze spoléhat na průmyslové testy nalezené v literatuře, neboť hodnoty EES zkušebních vozidel zpravidla nepřesahují cca 55 km/h. Pro rozsah poškození AUDI 100, jehož snímek je na obr. 13, se pravděpodobně v literatuře žádný srovnatelný test nenajde. Test na obr. 14 ukazuje AUDI s hodnotou EES přibližně 55 km/h, tedy příliš nízkou pro porovnání k rekonstruované nehodě.



Obr. 13 Nehoda s velkou deformací automobilu.
Figure 13 Accident with big car deformation.



Obr. 14 Novinářský test s menším rozsahem poškození
(EES přibližně 55 km/h).
Figure 14 Journalistic test with a smaller amount of damage
(EES approximately 55 km / h).

V tomto případě poskytne informaci jedině test provedený z vysoké rychlosti. Na podkladě tohoto nebo podobného testu (obr. 15) lze získat hodnotu EES potřebnou pro další analýzu nehody.

9. KONSTRUKČNÍ ROZDÍLY

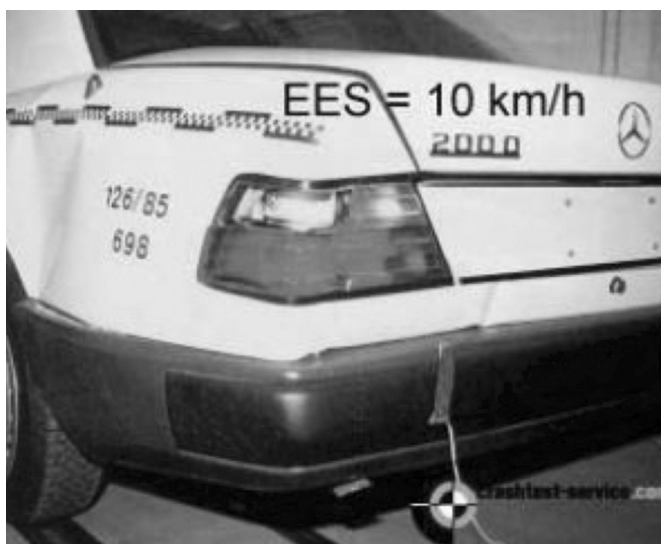
Jsou vozidla, u nichž je třeba zohlednit jejich zvláštnosti. Jedním z takových automobilů je Mercedes W 124. Crash-testy ukazují, že tento automobil má zřejmě na levé straně jinou tuhost struktury než na straně pravé.

Snímky na obr. 16 jsou pohledy na test, při němž byl Mercedes zatížen na levé straně, přičemž vznikl určitý obraz rozsahu poškození, zatímco pro stejný rozsah poškození pravé strany zádě stačila menší deformační energie. První obraz poškození se zatížením levé strany odpovídá hodnotě EES 10 km/h, zatímco obraz poškození ze zatížení pravé strany vykazuje hodnotu EES 9 km/h.

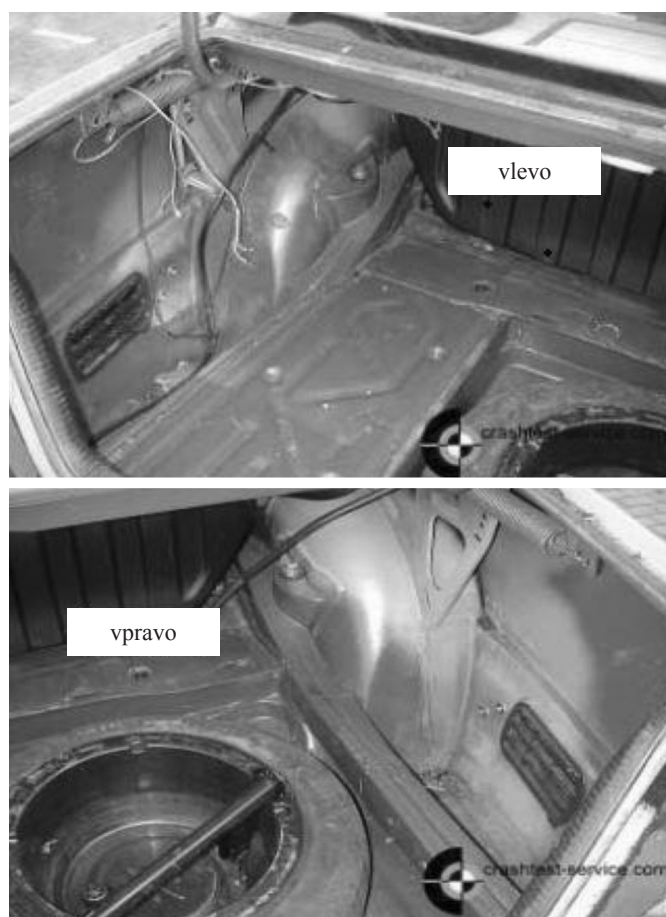
Za zjištěním různých nároků na deformační energii je skutečnost, že Mercedes má asymetrickou stavbu zádě. Pohled do zavazadlového prostoru (obr. 17) ukazuje, že podlaha



Obr. 15 Odpovídající test z vysoké rychlosti (EES = 87 km/h).
Figure 15 The corresponding test on high speed (EES = 87 km / h).



Obr. 16 Levo a pravostranné zatížení automobilu Mercedes W 124.
Figure 16 both left and right load Mercedes W124.



Obr. 17 Rozdílné uspořádání levé a pravé strany.
Figure 17 Different arrangement of left and right sides.

zavazadlového prostoru v levé části nemá jen podélný nosník, ale vykazuje i integrovanou podlahovou strukturu. Na pravé straně se nachází jen izolovaný podélný nosník. Podle očekávání je tento izolovaný podélný nosník snáze deformovatelný resp. stlačitelný, čímž lze vysvětlit různé hodnoty EES vozidla při stejném rozsahu poškození.

10. CHYBĚJÍCÍ SROVNÁVACÍ TESTY

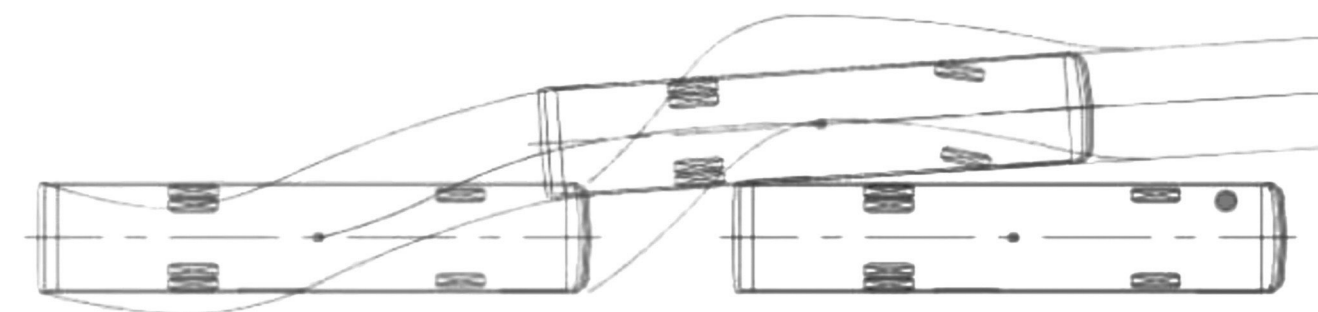
Pro určité nehodové situace zcela chybí porovnávací testy, s jejichž pomocí by bylo možné určit hodnotu *EES*. Jako první příklad uveďme tečný střet dvou autobusů (obr. 18).

Linkový autobus najel při manévrování svým zadním dveřním profilem na levý zadní roh druhého linkového autobusu. Pro určení střetové rychlosti nelze doporučit výpočet pomocí hodnot *EES*, neboť se tyto hodnoty nedají pro takovou konstelaci střetu odhadnout. V uvedeném příkladě se naskýtá řešení spočívající ve vyhodnocení záznamu tachografu.

Jiný příklad, pro který lze sotva získat použitelné srovnatelné testy, ukazuje obr. 19.

V tomto případě kolidoval osobní automobil se zadní nápravou / zadním kolem zemědělského přívěsu. Přesto, že poškození osobního automobilu se dalo relativně dobře vymezit na podkladě testů *EES* (obr. 20), vyvstal problém, jak zodpovědět otázku, jak velká energie se váže na kolo a na osu přívěsu.

Vhodné testy, při nichž bylo vozidlo vybaveno odpovídající technikou, poskytly možnost odstranit mezeru v potřebných znalostech.



Obr. 18 Tečná kolize dvou autobusů.
Figure 18 Tangent collision of two buses.



Obr. 19 Kolize osobního automobilu se zemědělským vozidlem.
Figure 19 The collision of a car with an agricultural vehicle.



Obr. 20 Odhad hodnoty EES odpovídající poškození osobního automobilu.
Figure 20 Estimated value of the EES corresponding damage to the passenger car.

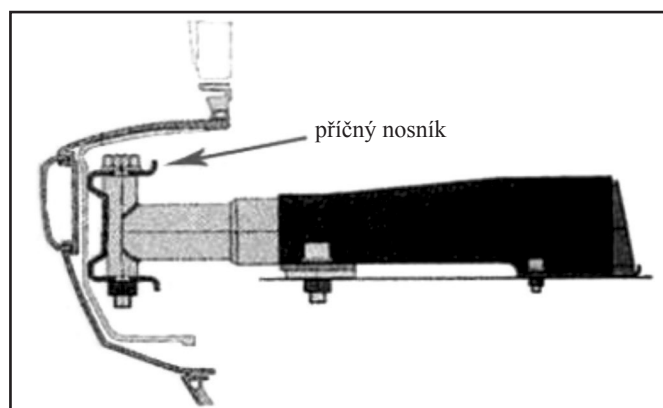
11. POUŽITÉ NÁHRADNÍ DÍLY

Pokud se při znaleckém posuzování škod zjistí, že automobil byl již opravován pro předchozí poškození, je vhodné zabývat se otázkou, zda namontované náhradní díly odpovídají dílům prvomontáže.

Jako příklad lze uvést BMW pětikové řady (BMW E 34). Tento automobil je sériově vybaven hliníkovou výztuhou nárazníku. Při výměně tohoto příčného nosníku lze zvolit rovněž montáž ocelového nosníku. Obr. 21 ukazuje konstrukční uspořádání BMW E 34.

Vzniká otázka, zda se tento jiný příčný nosník (výztuha nárazníku) chová při stejné kolizní rychlosti podobně jako ten originální. Z řady testů vyplývá, že je zde pozoruhodný rozdíl. Obr. 22 ukazuje tvar deformací ze dvou testů, při nichž byl BMW pětikové řady vybaven jednak hliníkovou a jednak ocelovou výztuhou předního nárazníku.

Zatímco BMW s hliníkovou výztuhou nárazníku neměl téměř žádné viditelné poškození při hodnotě EES 6,7 km/h, vykazoval automobil s ocelovou výztuhou viditelné poškození při hodnotě EES 6,1 km/h. Po demontáži plastového krytu předního nárazníku bylo zjevné, že hliníková výztuha je mnohem stabilnější než ocelová (obr. 22). Pokud by se nezhlednila skutečnost, že ocelová výztuha se deformuje dříve než hliníkový díl, mohla by se nehodovému automobilu přiřadit nesprávná příliš vysoká hodnota EES.



Obr. 21 Uspořádání předě BMW E 34.
Figure 21 Organizing allocation BMW E34.

12. STŘETOVÉ KONFIGURACE S PODJETÍM

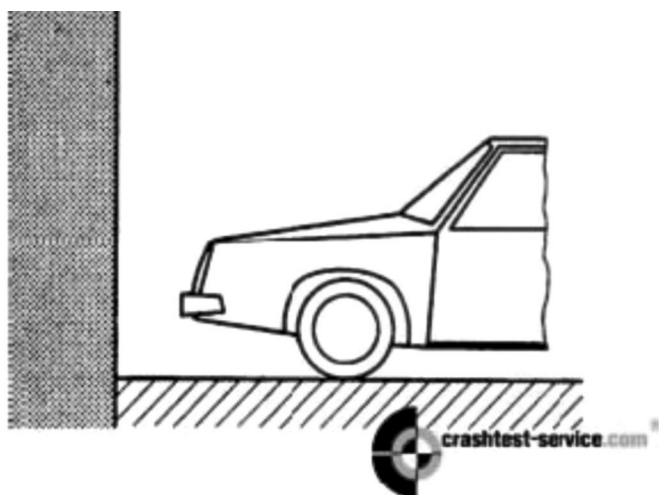
V literatuře se zpravidla nacházejí výlučně jen průmyslové testy ukazující nárazy na plochou stěnu. Jako příklad uvedme



Obr. 22 Zkoušky s hliníkovou a s ocelovou výztuhou nárazníku.
Figure 22 Tests with aluminum and steel reinforcement bumper.

průmyslový test FORD Scorpio (obr. 23). Pokud se však pro určitou nehodovou konstelaci musí zohlednit podjetí, nebývá s tím dobře srovnatelný test provedený nárazem na plochou stěnu. Za těchto podmínek je třeba hledat pokus, který by vyhovoval podmínkám nehody.

Obr. 24 ukazuje pokus, při němž FORD Scorpio naráží na pevnou bariéru, před níž je upevněn model nárazníku, zhotovený z tvrdého dřeva. Porovnáme-li oba obrazy poškození, zjistíme, že deformace podjíždějícího osobního automobilu jsou zřetelněji vyraženy, přestože obě vozidla vykazují téměř shodné hodnoty EES.



Obr. 23 Průmyslový test s nárazem na plochou stěnu.
Figure 23 Industrial test with emphasis on a flat wall.



Obr. 24 Konfigurace nárazu s podjetím.
Figure 24 Configuration impact with underrun.

Při stanovení hodnot *EES* pro nárazovou konstelaci s podjetím případně s nadjetím je třeba vytvořit takové podmínky srovnávacích testů, při nichž se budou rovněž realizovat odpovídající situace s podjetím nebo nadjetím, jinak můžeme dospět k falešným odhadům hodnot *EES*.

13. DALŠÍ PROBLÉMY

Za další problémy při určování hodnot *EES* lze jmenovat následující body:

- kolize motocyklu s osobním automobilem při vysoké střetové rychlosti,
- nehoda, při níž je utržena jedna nebo více náprav jednoho či více vozidel,
- kolik energie se spotřebuje na deformaci ráfku?
- jakým způsobem účinkuje spojení s přívěsem?
- účinné překrytí při šikmém střetu vozidel.

14. LITERATURA

- [1] KOOB J-P.: *Vergleich von modernen Unfallrekonstruktionsverfahren für Pkw-Pkw-Kollisionen*. TU-Berlin, 1988.
(Porovnání moderních metod rekonstrukce nehod se střety osobních automobilů)
- [2] ZEIDLER F.: *Die Bedeutung der Energy Equivalent Speed (EES) für die Unfallrekonstruktion und die Verletzungsmechanik*. Daimler-Benz AG.
(Význam EES pro rekonstrukci nehod a pro mechaniku poranění)