



Atypické střety s chodci

Atypical Colisions with Pedestrians

Martina Sedláčková*, Jakub Motl, Kateřina Bucsuházy

Centrum dopravního výzkumu v.v.i., Brno

Abstrakt

V roce 2021 bylo na českých silnicích dle statistik Policie České republiky usmrceno celkem 470 osob, z čehož téměř polovinu (46%) tvořili zranitelní účastníci silničního provozu (chodci, cyklisté a motocyklisté). Problematika střetů vozidel s chodci je značně obsáhlá a závažnost zranění chodců závisí na celé řadě faktorů jako je střetová rychlost vozidla, věk chodce, tvar příďe a mnoho dalších. Cílem tohoto článku je zejména na vybraných kauzistikách demonstrovat specifika řešení nehod mezi vozidlem a chodcem, kdy došlo ke střetu chodce s hranou vozidla.

Klíčová slova: chodec, dopravní nehoda, hrana vozidla, atypický střet, případové studie..

Abstract

On the Czech roads were 470 people killed in 2021 (according to the Police of the Czech Republic statistics), whereas almost half (46%) were vulnerable road users (pedestrians, cyclists, and motorcycleists). The pedestrian crash risk is a major concern in road traffic crashes and is a comprehensive topic. Pedestrian injury severity influence several factors such as the vehicle collision speed, the vehicle's front shape, the pedestrian's age, etc. The article aims to demonstrate the specifics of vehicle-pedestrian crash analysis when a pedestrian collides with the vehicle's edge.

Keywords: pedestrian, accident, vehicle edge, atypical collision, case study.

1. ÚVOD

Chodci patří mezi nejzranitelnější účastníky silničního provozu, jelikož jsou při dopravní nehodě minimálně chráněni. V České republice je každoročně na pozemních komunikacích usmrceno okolo stovky chodců. Jedná se o poměrně vysoké číslo, a i proto je nutné se problematikou střetů vozidel s chodci podrobněji zabývat.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

Příčinami smrtelného zranění chodců v závislosti na lokalizaci zranění se zabývá celá řada studií, například studie [1] a [2] označují jako nejrizikovější místo pro vznik smrtelného zranění poranění v oblasti hlavy. Yao a kol. [9] pak s využitím simulací zkoumali místo dopadu hlavy a vliv na vzniklá zranění. Analyzována byla také problematika tvaru příďe vozidla a její vliv na závažnost zranění chodců při nehodě. Například studie [3] řešila lokalizaci a závažnost zranění chodců při nehodách s osobními vozidly, přičemž byla provedena podrobná analýza souvislosti závažnosti zranění chodců a typu vozidla. Ze studie vyplývá, že k poranění chodců při střetu s osobním vozidlem dochází zejména při kontaktu

s kapotou a čelním sklem. U nehod chodců s lehkými nákladními vozidly dochází majoritně ke zraněním v důsledku kontaktu s kapotou a hranou kapoty. Studie [6] porovnávala vliv typu karoserie vozidla na rozložení zranění chodců. Porovnávala byla vozidla SUV a běžná osobní vozidla. Studie potvrdila, že nejčastěji zasaženou částí těla je hlava, ovšem druhá nejvíce zasažená část těla se již liší v závislosti na typu vozidla. V případě SUV to byl trup, zatímco u běžných osobních vozidel to byly dolní končetiny. Při analýze zranění ve vztahu ke kontaktním částem mezi vozidlem a chodcem bylo zjištěno, že nejčastějšími zdroji zranění jsou čelní sklo a nárazník vozidel, zatímco u SUV je to kapota a náběžná hrana kapoty. Tvar příďe vozidla má ovšem také vliv na pohyb chodce po střetu, a tedy i jeho závažnost zranění. Touto problematikou se zabývaly například studie [7] a [8]. Ve studii [7] zjistili, že u vozidel s vysokými náběžnými hranami kapoty jako jsou SUV, je větší pravděpodobnost přímého nárazu hlavy do země ve srovnání s vozidly s nižší přední příďí. Také studie [8] zkoumala vliv konstrukce přední části vozidla na dopad chodce po střetu s vozidlem na zem. Obecně platí, že mechanismy nárazu u dospělých, které vedly ke kontaktu se zemí hlavou napřed, byly závažnější u vozidel s vysokou hranou kapoty ve srovnání s běžnými osobními vozidly. Zjištěna nicméně byla i závislost na rychlosti.

Dodáno do redakce: 13. 10. 2022

Recenzní řízení: od 19. 10. 2022 do 24. 10. 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2022.3.62>

*Korespondenční adresa: martina.sedlackova@cdv.cz

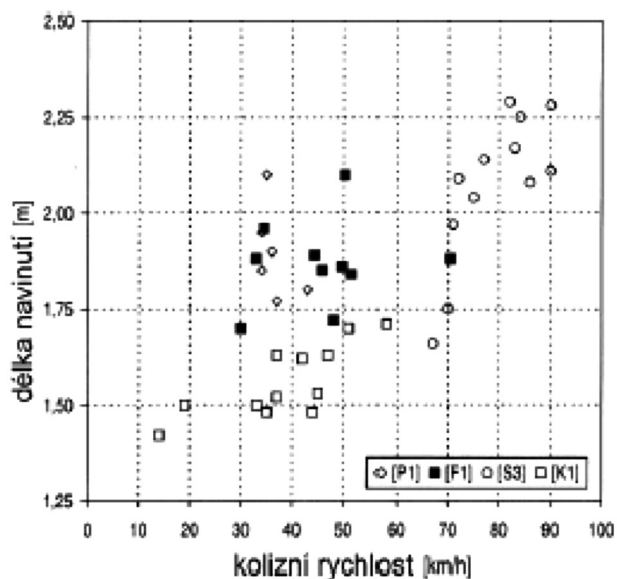
Jedním z nejrizikovějších parametrů ve vztahu k závažnosti zranění chodců je střetová rychlost vozidla. Studie [4] se zaměřila na posouzení závažnosti zranění při primárním a sekundárním kontaktu chodce při nehodě. Z analýzy vyplynulo, že pro primární nárazy je při nárazové rychlosti nad 40 km/h pravděpodobnost vážného zranění 60%, ve srovnání se sekundárním nárazem, kde je pravděpodobnost závažného zranění 36%. Ve studii byly uvedeny hlavní parametry vlivu na závažnost zranění v důsledku sekundární kolize, a to výška přední hrany kapoty, vzdálenost odhození chodce a kolizní rychlost. Studie [5] ukázala, že při nižších rychlostech je dvakrát vyšší riziko zranění mozku, hrudníku a břicha v případech, kdy je chodec sražen vozidlem typu SUV než běžným osobním vozidlem.

Jak vyplývá z rešerše, celá řada studií se zabývá problematikou nehod s chodci ať už z pohledu závažnosti zranění, střetovým a postřetovým pohybem nebo tvarem přídě vozidel, chybí ovšem studie, které by se zabývaly konkrétně nehodami s hranou vozidla.

3. ŘEŠENÍ NEHOD S CHODCEM

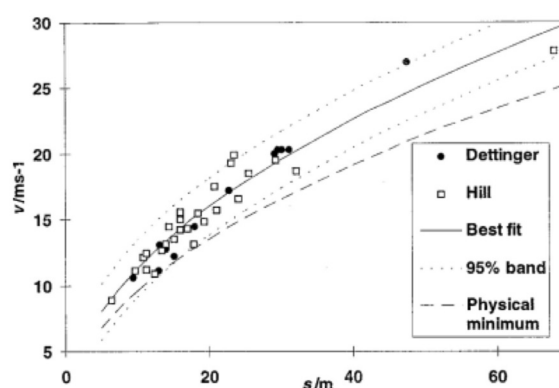
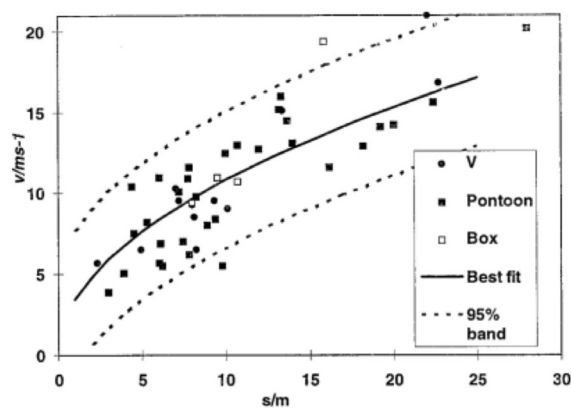
Ke stanovení nárazové rychlosti vozidla při střetu s chodcem existuje řada empirických vztahů. Tyto byly stanovovány na základě teoretických, ale také experimentálních výzkumů. Při experimentálním výzkumu bývají užívány nejen statické figuríny, ale také pohybující se figuríny chodce. V neposlední řadě bývají využívána také data z reálných dopravních nehod. Použitelnost zjištěných vztahů i užívaných koeficientů byla rovněž dále validována, a to se zohledněním různých faktorů ovlivňujících mechanismus střetu i následného postřetového pohybu.

Ke stanovení nárazové rychlosti vozidla při střetu mezi vozidlem a chodcem se často využívá parametr navinutí chodce při střetu nebo vzdálenost odhození chodce po střetu. Příklad délky navinutí chodce v závislosti na rychlosti vozidla dle různých zdrojů ilustruje



Obr. 1 Délka navinutí chodce v závislosti na střetové rychlosti vozidla (dle zdroje [10]).

Fig. 1 Pedestrian wrap around distance based on vehicle collision speed (according to source [10]).



Obr. 2 Vzdálenost odhození chodce s [m] v závislosti na střetové rychlosti vozidla v [m/s] (dle zdroje [13]).

Fig. 2 Pedestrian throw distance s [m] based on vehicle collision speed v [m/s] (according to source [13]).

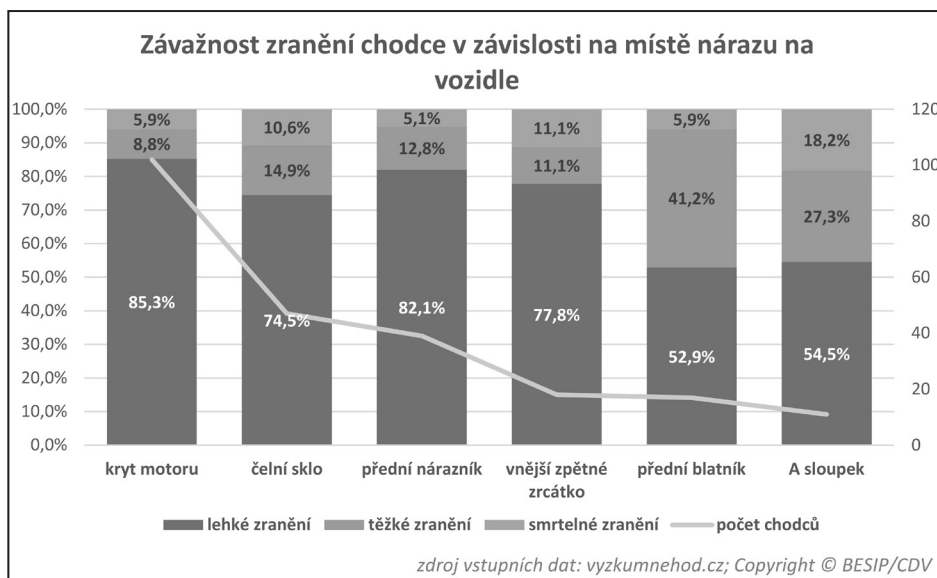
graf na obr. 1 (dle zdroje [10]). Při nárazu chodce na hranu vozidla nedochází typicky k navinutí, a tedy tento parametr nelze pro stanovení nárazové rychlosti využít.

Po střetu mezi vozidlem a chodcem dochází k odhození chodce na vozovku. Rovněž parametr odhození se tak často využívá při stanovování nárazové rychlosti. Příklad závislosti mezi vzdáleností odhození chodce a rychlostí vozidla při čelním střetu ilustrují grafy (graf na obr. 2) uvedené ve zdroji [13]. Horní graf ilustruje data publikované Stürzem a Surenem [15], jedná se o údaje ze 47 nehod v městských oblastech, data jsou rozdělena dle typu přídě – pontonová, V-tvaru (sportovní vozy) a skříňová (např. nákladní vozidla, VAN). Dolní graf pak ilustruje data publikovaná Hilem [16] – 26 nehod a Dettingerem [17] – 12 nehod.

Rovněž pro výpočet podélné vzdálenosti odhození bylo odvozeno velké množství vztahů, řada z nich založena např. na analytických modelech, někteří autoři odvozovali empirické vztahy také z nárazových testů nebo reálných nehod. [18] Využit lze například empirický vztah dle Kühnela [10]:

$$s_c = 0,0062 \times v_s^2 + 0,0272 \times v_s.$$

Kühnel mj. uvažoval vliv pohybu chodce na dynamiku střetu oproti dřívějším experimentům, kdy byla figurína v okamžiku nárazu nehybná [14]. Pokud dojde ke kontaktu s hranou vozidla, je mechanismus střetu velmi rozdílný oproti klasickému čelnímu střetu mezi vozidlem a chodcem, kdy dochází zpravidla k navinutí chodce, a tedy i mechanismus odhození chodce po střetu se liší.



Obr. 3 Závažnost zranění chodce v závislosti na místě hlavního nárazu na vozidle.

Fig. 3 Pedestrian injury severity based on the location of the main impact area on the vehicle.

Určení střetové rychlosti vozidla je v případech, kdy dochází ke střetu chodce s hranou vozidla, případně boční či zadní částí vozidla poměrně komplikované. Nelze využít závislosti definované pro standardní čelní střety mezi vozidlem a chodcem jako např. navinutí nebo odhození chodce. Také deformace na vozidle neodpovídá při střetech s hranou vozidla deformacím vzniklým při čelním střetu ve srovnatelné střetové rychlosti vozidla. Cílem tohoto článku je proto prostřednictvím kazuistik ilustrovat specifika střetů mezi vozidlem a chodem v oblasti hrany vozidla.

3.1 Hlubková analýza nehod a střety s chodci

Pro účely rozboru byla využita datová základna Hlubkové analýzy dopravních nehod. Hlubková analýza dopravních nehod (dále jako HADN) je unikátní výzkumnou činností Centra dopravního výzkumu. Na místech vybraných nehod se zraněním v Jihomoravském kraji jsou zaznamenávána a následně analyzována veškerá dostupná data související s nehodou a účastníky nehody. Databáze HADN obsahuje data z reálných nehod všech typů účastníků silničních nehod. Pro účely tohoto článku byla využita data o nehodách s chodci. Analyzovaná data ilustrují závislost závažnosti zranění chodce na místě nárazu na vozidle (viz graf na obr. 3). Jak z grafu vyplývá, střety, kdy dojde k hlavnímu kontaktu v oblasti předního blatníku a A sloupku, jsou více rizikové z hlediska závažnosti zranění chodce. Kontakt s A sloupkem je také spojen s nejvyšší pravděpodobností vzniku smrtelného zranění chodce.

S využitím dat z HADN byla stanovena rovněž podélná vzdálenost odhození v závislosti na typu střetu. Střety chodců s hranou vozidla lze rozlišit do dvou základních skupin, a to podle pohybu chodce.

- První skupinou jsou střety, kdy je sražen chodec, který se pohybuje směrem k vozidlu. Zde záleží na konkrétním místě střetu, rychlosti chodce apod., zda dojde k navinutí nebo ne.
- Druhou skupinou jsou střety, kdy je sražen chodec, který se pohybuje směrem od vozidla. Dochází zpravidla k rozrotování chodce a následnému nekontrolovanému pádu na zem.

Zjištěná vzdálenost odhození je u chodců pohybujících se k vozidlu při střetové rychlosti vozidla vyšší než 20 km/h, nižší o cca 30 %, než vypočtená hodnota odhození (dle empirického vzorce Kühnela) v případě čelního střetu pro danou rychlost vozidla. V případě, kdy dojde ke střetu s hranou vozidla a chodec se pohybuje směrem od vozidla, je reálné odhození oproti vypočtené hodnotě nižší o cca 50 %.

3.2 Případové studie

Vybrané případové studie zahrnují nehody, kdy došlo k prvnímu kontaktu chodce a oblastí na vozidle mezi vnitřní hranou světlometu a vnější hranou předního nárazníku, přičemž zároveň nedošlo ke kompletnímu navinutí chodce na vozidlo.

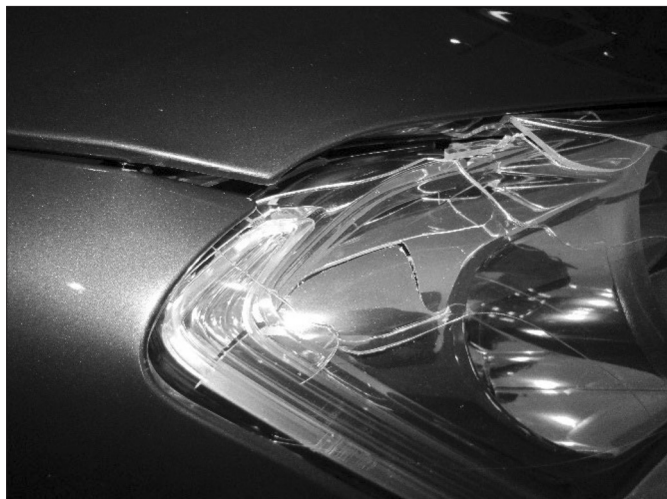
3.2.1 Chodec se pohybuje směrem od vozidla

Případová studie 1

Řidič osobního vozidla přehlédl chodce, který přecházel vozovku mimo přechod z levé strany z pohledu řidiče (obr. 6). Řidič na chodce již nestihl včas reagovat a srazil jej pravou stranou vozidla. Při nehodě došlo k vážnému zranění chodce. Na místě byl chodec ve chvílkovém bezvědomí. Diagnostikováno zhmoždění mozku temporálně vlevo, subarachnoidální krvácení temporopoplárně a frontálně vpravo, zlomenina lebky frontálně vpravo a zlomenina očnice vpravo. Tíže poranění vyjádřená ISS = 13. Lokalizace zranění je znázorněna na obr. 5. K poranění hlavy došlo vlivem nekontrolovatelného pádu na vozovku. Střetová rychlost vozidla byla cca 45 km/h. Na vozidle došlo k deformaci pravého předního světlometu a k poškození pravého zpětného zrcátka (obr. 4). Podélné odhození chodce bylo 7 metrů, k navinutí chodce nedošlo. V případě, kdyby došlo k čelnímu střetu s vozidlem s následným navinutím je vypočtená odhozová vzdálenost podle Kühnela pro danou rychlost vozidla téměř 14 metrů.

Případová studie 2

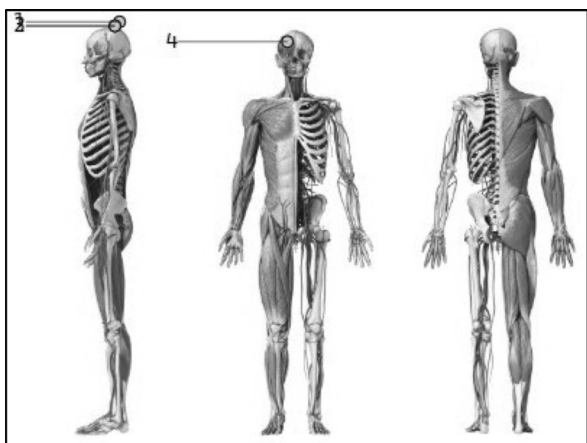
Druhá dopravní nehoda se stala tak, že řidič jedoucí jako třetí v řadě vozidel míjel tramvajový ostrůvek, na jehož konci se skupina chodců chystala přejít komunikaci po přechodu pro chodce. Zpoza



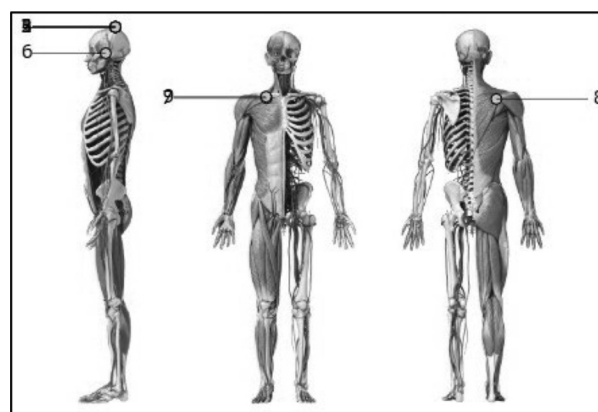
Obr. 4 Poškození na vozidle.
Fig. 4 Vehicle damage.



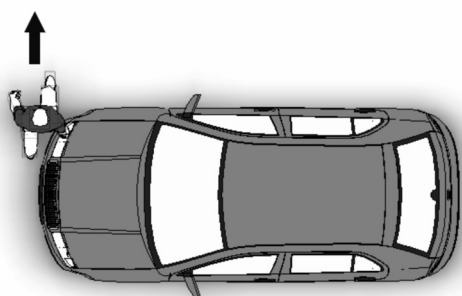
Obr. 7 Poškození na vozidle.
Fig. 7 Vehicle damage.



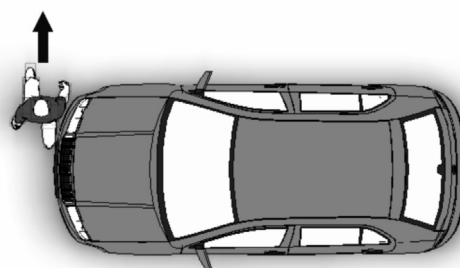
Obr. 5 Lokalizace zranění chodce.
Fig. 5 Pedestrian injuries location.



Obr. 8 Lokalizace zranění chodce.
Fig. 8 Pedestrian injuries location.



Obr. 6 Znáznornění průběhu dopravní nehody.
Fig. 6 Illustration of the vehicle-pedestrian impact.



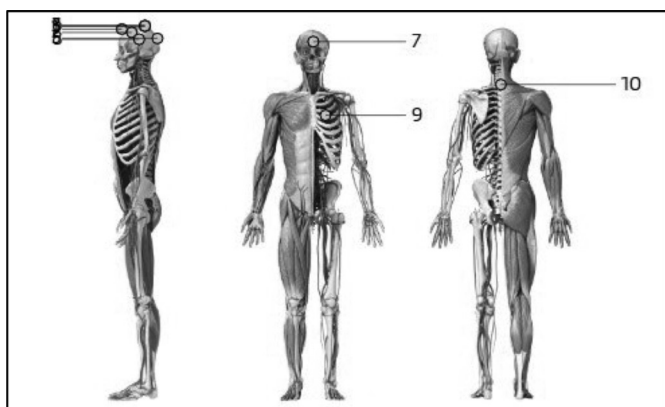
Obr. 9 Znáznornění průběhu dopravní nehody.
Fig. 9 Illustration of the vehicle – pedestrian impact.

skupinu chodců, kteří se zastavili před úrovní přechodu, vběhnul zleva do komunikace senior, řidič osobního vozidla nestihl včas zareagovat a došlo ke střetu v oblasti pravého světlotmetu, kdy následně došlo k částečnému navinutí chodce přes kapotu, kontakt s pravým zpětných zrcátkem a následnému pádu na zem. Průběh dopravní nehody je znázorněn na obr. 9. Při nehodě došlo k vážnému zranění hlavy chodce, které po cca 2 týdnech vedlo k úmrtí. Lokalizace zranění je uvedena na obr. 8. Střetová rychlost

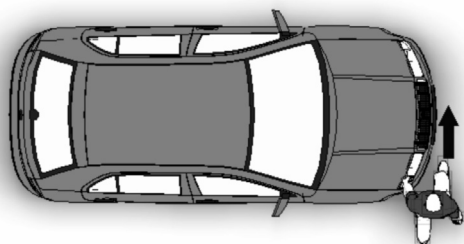
vozidla byla cca 38 km/h. Na vozidle vznikly důsledkem nehody otěry a škrábance v oblasti pravé strany nárazníku, kapoty, pravého A sloupku a pravého zpětného zrcátka. (obr. 7) Podélné odhození chodce bylo cca 8 metrů, došlo k částečnému navinutí chodce, který přepadl přes pravý okraj vozidla. V případě, kdyby došlo k čelnímu střetu s vozidlem s následným navinutím je vypočtená odhazová vzdálenost podle Kühnela pro danou rychlost vozidla cca 10 metrů.



Obr. 10 Poškození na vozidle.
Fig. 10 Vehicle damage.



Obr. 11 Lokalizace zranění chodce.
Fig. 11 Pedestrian injuries location.



Obr. 12 Znárodnění průběhu dopravní nehody.
Fig. 12 Illustration of the vehicle – pedestrian impact.

3.2.1 Chodec se pohybuje směrem k vozidlu Případová studie 3

Řidič osobního vozidla projížděl přes přechod pro chodce, vpravo na chodníku periferně pozoroval skupinu studentů, jeden z nich se rozeběhl směrem na přechod došlo ke střetu s pravou hranou vozidla (obr. 12) v oblasti světlometu, následně došlo k nárazu hlavy v oblasti A sloupku a dále k pádu na vozovku. Při nehodě došlo k těžkému zranění chodce převážně v oblasti hlavy. (obr. 11) Na místě chvilkové bezvědomí. Kromě značného zranění hlavy byla diagnostikována zlomenina hrudního obratle a kontuze plic. Při léčbě nastaly komplikace a byla nutná opakovaná hospitalizace. Střetová rychlost vozidla byla cca 46 km/h. Na vozidle došlo k poškození pravého předního světlometu, deformaci kapoty a pravého blatníku, pravého A sloupku a pravého zpětného zrcátka. (obr. 10) Podélné odhození chodce bylo cca 9 metrů, k navinutí chodce nedošlo. V případě, kdyby došlo k čelnímu střetu s vozidlem s následným navinutím je vypočtená odhozová vzdálenost podle Kühnela pro danou rychlost vozidla více než 14 metrů.

4. ZÁVĚR

Tento článek poukázal na problematiku nehod chodců s hranou vozidla. Jedná se o případy, kdy je složité zjistit střetovou rychlost vozidla, jelikož běžně používané přístupy jsou značně omezeny. Při takovýchto střetech nedochází k navinutí chodce na kapotu a čelní sklo, proto nelze použít návinné diagramy. Také použití diagramů pro odhození není možné, jelikož dochází k podstatně nižšímu odhození, což bylo ověřeno pomocí porovnání skutečného odhození zjištěného na místě DN oproti empirickému vztahu podle Kühnela.

5. DEDIKACE

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací.

6. LITERATURA

- [1] HEFNY, A. F., EID, H. O., ABU-ZIDAN, F. M. Pedestrian injuries in the United Arab Emirates. *International journal of injury control and safety promotion*, 22(3), 2015, 203–208.
- [2] BELINGARDI, G., CHIANDUSSI, G. Vehicle crashworthiness design – General principles and potentialities of composite material structures. In: *Impact engineering of composite structures*. Springer, Vienna, 2011, p. 193–264.
- [3] ROUDSARI, B. S., MOCK, Ch. N., KAUFMAN, R. An evaluation of the association between vehicle type and the source and severity of pedestrian injuries. *Traffic injury prevention*, 6(2), 185–192.
- [4] OTTE, D., POHLEMANN, T. Analysis and load assessment of secondary impact to adult pedestrians after car collisions on roads. In: *IRCOBI conference*. 2001, p. 143–157.
- [5] BALLESTEROS, M. F., DISCHINGER, P. C., LANGENBERG, P. Pedestrian injuries and vehicle type in Maryland, 1995–1999. *Accident Analysis & Prevention*, 2004, 36(1), 73–81.
- [6] LONGHITANO, Douglas, et al. Influence of vehicle body

- type on pedestrian injury distribution. *SAE transactions*, 2005, 2283–2288.
- [7] SIMMS, C. K., ORMOND, T., WOOD, D. P. The influence of vehicle shape on pedestrian ground contact mechanisms. In: *Proceedings of IRCOBI Conference*. Poland, 2011.
- [8] CROSETTA, G., *et al.* The influence of vehicle front-end design on pedestrian ground impact. *Accident Analysis & Prevention*, 79, 2015, 56–69.
- [9] YAO, J., YANG, J., OTTE, D. Investigation of head injuries by reconstructions of real-world vehicle-versus-adult-pedestrian accidents. *Safety science*, 46(7), 2008, 1103–1114.
- [10] SEMELA, M.. Analýza silničních nehod I. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-214-4548-2
- [11] HIRT, M.. Soudní lékařství. II. Díl. Autor František Vorel. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2016, 232 s., viii stran obrazových příloh. ISBN 978-80-271-0268-6
- [12] Statistika nehodovosti. Úvodní strana – Policie České republiky [online]. Praha: Policie České republiky, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d>
- [13] Evans, A. K., Smith, R. Vehicle speed calculation from pedestrian throw distance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 213(5), 441–447. Doi:10.1243/0954407991527008
- [14] Kühnel, A. (1974). Vehicle-pedestrian collision experiments with the use of a moving dummy. In *Proceedings: American Association for Automotive Medicine Annual Conference*, 18, pp. 223–245. Association for the Advancement of Automotive Medicine.
- [15] Stürtz, G., Suren, E. G. Kinematics of real pedestrian and two-wheel rider accidents and special aspects of the pedestrian accident. In: *Proceedings of IRCOBI Meeting on Biomechanics of Injury to Pedestrians, Cyclists and Motorcyclists*, Amsterdam, 7.–8. September 1976.
- [16] Hill, G. S. Calculations of vehicle speed from pedestrian throw. *Impact (J. Inst. Traff. Accid. Invest.)*, Spring 1994, 18–20.
- [17] Dettinger, J. Methods of improving the reconstruction of pedestrian accidents: development differential, impact factor, longitudinal forward trajectory, position of glass splinters (in German). *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, December 1996, 324–330, January 1997, 25–30 (two parts).
- [18] Bhalla, K., Montazemi, P., Crandall, J., Yang, J., Liu, X., Dokko, Y., Longhitano, D. Vehicle impact velocity prediction from pedestrian throw distance: trade-offs between throw formulae, crash simulators, and detailed multi-body modeling. In: *IRCOBI Conference*, pp. 263–276.

Správná citace:

SEDLÁČKOVÁ, M., MOTL, J., BUCSUHÁZY, K. Atypické střety s chodci. *Soudní inženýrství*, 2022, 33(3–4), 62–67. DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2022.3.62>. ISSN 1211-443X.