

# DIGITALIZACE PROSTOROVÝCH OBJEKTŮ PŘI SOUDNĚ INŽENÝRSKÉ ANALÝZE DOPRAVNÍCH NEHOD

*Příspěvek doktorantské konference JUNIORSTAV na Fakultě stavební VUT v Brně dne 2. 2. 2005.*

**ABSTRACT:** *This paper describes up-to-date computational methods of solving road accidents, a diverse 3D scanners operation, data sampling procedures and their time demanding factor. A measurement methodology and a resolution profundity for specific expert applications are suggested here.*

**KEY WORDS:** *road accident – forensic engineering – solving of road accidents – vehicle – pedestrian – bodywork – multibody system – digitizing*

**KLÍČOVÁ SLOVA:** *dopravní nehoda – soudní inženýrství – řešení průběhu nehod – vozidlo – chodec – karosérie – vícetělesový systém – digitalizace*

## 1. DIGITALIZACE VE ZNALECKÉ PRAXI

Nezbytnou nutností při soudně znalecké analýze dopravních nehod je používání matematicky a fyzikálně korektních postupů a výpočtů, které je potřeba neustále doplňovat a zpřesňovat. V současnosti jsou nejvíce rozšířeny následující metody analytických a programových výpočtů, při kterých se modelují dynamické pružnostně-pevnostní děje.

Při výpočtu excentrického střetu vozidel dle modelu Kudlich-Slibara je okamžik nárazu a okamžik změny pohybových veličin realizován v nekonečně krátkém časovém okamžiku, rázová síla působí při výpočtu v jednom bodě. Základem výpočtu jsou zákony zachování energie, hybnosti a točivosti. Při těchto výpočtech je podstatný tvar a rozsah poškození vozidel pro posouzení jejich vzájemného postavení při uvedeném okamžiku výpočtu nárazu.

Při použití vícetělesového modelu chodce je nahrazen spojité průběh kontaktních sil větším počtem diskretních rázů v ekvidistantních časových krocích. Model chodce je tvořen nedeformovatelnými tělesy a klouby s možností odlišné parametrizace. V každém integračním kroku jsou počítány gravitační, třecí, kontaktní a vazbové síly. Na model karosérie vozidla, který naráží do modelu chodce, jsou kladeny nároky na dostatečnou přesnost a konkrétní orientaci normál kontaktních ploch. S rozvojem poznání a výkonů výpočetní techniky je logickým důsledkem nárůst stupně detailizace použitých modelů a výpočtů.

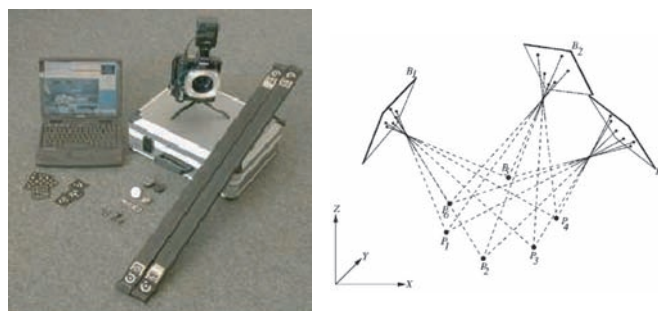
## 2. DIGITALIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Při výběru konkrétního zařízení pro digitalizaci povrchů vozidel byla posuzována zejména jejich přesnost, cenová dostupnost

a časová náročnost získávání dat. Z nabídky destruktivních, ultrazvukových, rentgenových, optických a laserových skenerů a dotykových digitizérů vyhověla požadavkům optická digitalizační zařízení TRITOP a ATOS.

### 2.1 TRITOP HR

Zařízení TRITOP se skládá z digitální zrcadlovky s vysokým rozlišením, kalibračních tyčí (SSB), kódovaných a nekódovaných značek (CP a UP) a vyhodnocovacího programu. Princip je založen na optické triangulaci (viz obr. 1), přesnost dosahuje až 20  $\mu\text{m}$ . Na snímané vozidlo se připevní CP, k jejichž identifikaci slouží binární číslo zobrazené na značce ve formě střídajících se bílých a černých ploch. Dále se na vozidlo připevní UP do míst, jejichž polohopis chceme získat – UP se na snímcích zobrazují jako elipsy a hledané body jsou uvažovány v jejich středech. Po umístění SSB do blízkosti digitalizovaného objektu se pořizují snímky, jež objekt zachycují z různých pohledů a výškových hladin. Poloha CP a UP v prostoru je dána v průsečíku promítacích paprsků (viz obr. 1). Značka v prostoru, ohnisko objektivu fotoaparátu a obraz značky



Obr. 1 Digitalizační zařízení TRITOP a princip jeho činnosti

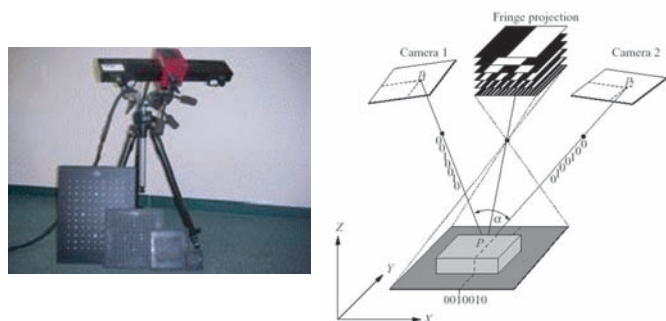
na snímku jsou kolineární. Výsledkem digitalizace jsou polohy CP a UP v prostoru, jež lze použít samostatně, případně je použít jako referenční značky v programu druhého digitalizačního zařízení ATOS.

### 2.2 ATOS STD

Zařízení ATOS se skládá ze snímací jednotky fyzicky propojené s vyhodnocovacím zařízením, kalibračních desek (SSD) a referenčních značek (RP). Snímací jednotka je tvořena projekční jednotkou (FP) a dvěma postranními kamerami (CM). Princip je založen na optické triangulaci spolu s image processingem (viz obr. 2) a přesnost dosahuje až 7  $\mu\text{m}$ . Na snímané vozidlo se připravní RP (značky bez kódu totožné s UP v kapitole 2.1), jejichž relativní poloha slouží k určení polohy jednotlivých nasnímaných obrazů v prostoru. Snímaný povrch nesmí vykazovat nechtěné optické vlastnosti – odrazivost, filtraci a propustnost světla z FP. Digitalizovaná část objektu musí být bílá a matná, čehož je docíleno nástřikem směsi plavené křídly s alkoholem a odpařením kapalně složky. Při jedné poloze snímacího zařízení a objektu, je FP promítána na objekt sada světelných pruhů různých šířek (sada světelných mřížek). Tím je získán soubor několika dvojic snímků z CM. Před snímacím procesem je nutno vzájemnou polohu FP a CM kalibrovat pomocí SSD. Výsledkem digitalizace je určení velkého množství bodů v prostoru (obraz bodu odpovídá elementární obrazové jednotce snímku – pixelu, určení jeho polohy v prostoru probíhá obdobně dle popisu v kapitole 2.1.).



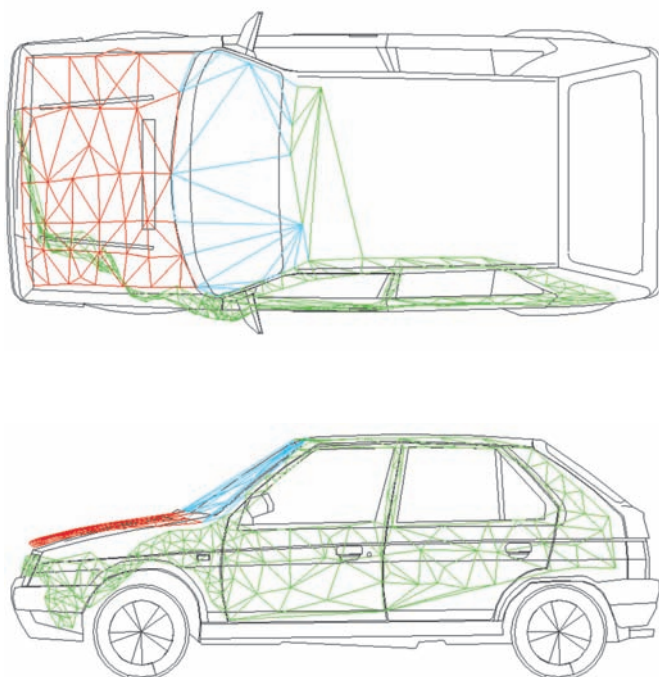
Obr. 3 Aplikace UP, CP a SBB na vozidlo



Obr. 2 Digitalizační zařízení ATOS a princip jeho činnosti

### 3. DIGITALIZACE DEFORMACE KAROSÉRIE VOZIDLA

Jak bylo uvedeno v kapitole 1, při výpočtech excentrického střetu vozidel je podstatný tvar a rozsah jejich poškození. Z tohoto důvodu bylo digitalizováno poškození přední levé části vozidla Škoda Favorit. Kromě umístění UP v poškozené části byly s většími rozestupy umístěny UP i na nepoškozenou část vozidla pro jednoznačnou lokalizaci deformace (viz obr. 3). Postupem zmíněným v předchozí kapitole byl získán soubor bodů modelu, které byly následnými CAD aplikacemi propojeny do polygonální sítě (na obr. 4 barevně).

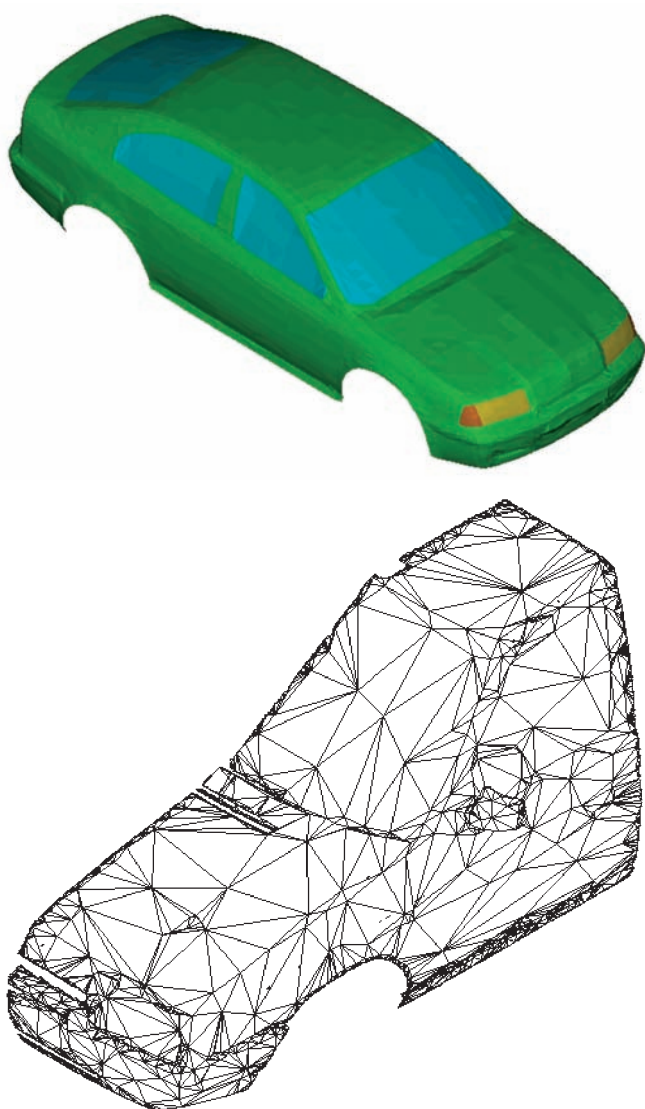


Obr. 4 Srovnání deformace karosérie s původním stavem na nákrese vozidla



### 4. DIGITALIZACE NEDEFORMOVANÉ KAROSÉRIE VOZIDLA

V kapitole 1 bylo uvedeno, že při výpočtu střetu vozidla s vícečlenským modelem chodce jsou kladeny nároky mj. na přesnost náhrady skutečného povrchu karosérie kontaktními plochami. Pro digitalizaci povrchu karosérií vozidel byla použita zařízení TRITOP i ATOS. Získané modely jsou vyobrazeny na obr. 5.



Obr. 5 Digitalizační získané modely vozidel: TRITOP – Škoda Octavia (nahore); ATOS – Škoda Favorit (dole); oba modely po úpravách

#### 4.1 TRITOP HR

Při měření byla digitalizována polovina vozidla Škoda Octavia pro vytvoření modelu celé karosérie. Na vozidlo byly připevněny pásy s UP s roztečemi 30 a 100 mm s ohledem na křivost ploch (viz obr. 6). Pro zachování konkrétní orientace normál jednotlivých kontaktních ploch plynoucí z požadavků výpočtového programu PC-Crash, byla ze získaných bodů vytvořena manuálně v CAD programu polygonální síť. Poté byl model přenesen souměrně podle svislé podélné roviny vozidla (viz obr. 5).



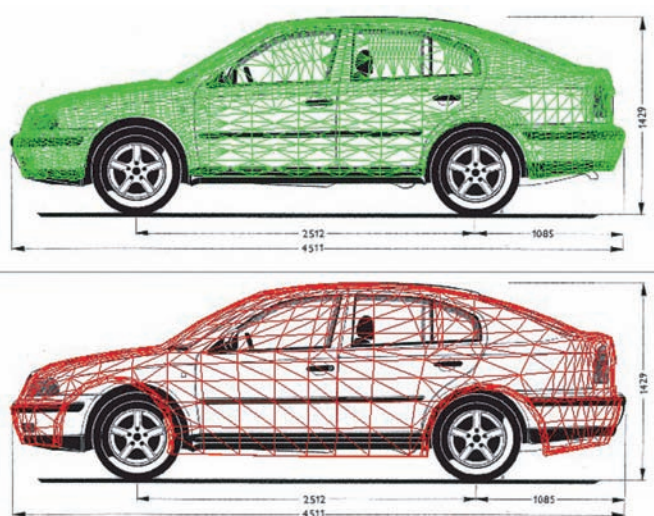
Obr. 6 Aplikace UP, CP a SBB na vozidlo



Obr. 7 Úprava povrchu s RP; projekce světelné mřížky při snímání na vozidlo

### 4.2 ATOS STD

Při digitalizaci čtvrtiny karosérie vozidla Škoda Favorit byly na vozidlo aplikovány RP v přibližně pravidelných rozestupech 15 cm. Na snímaný povrch byla poté nástřikem nanesena směs upravující jeho optické vlastnosti a oblasti kolem RP byly očištěny. Při následném snímání byly postupně měněny polohy zařízení vůči vozidlu dle potřeby (viz obr. 7). Celkový model byl pak vytvořen překládáním jednotlivých nasnímaných částí přes sebe. Následná úprava zahrnovala eliminaci nadbytečných bodů, zacelení děr a spár s chybějícím nástřikem, automatické spojení bodů do polygonální sítě a zobrazení odchylek vzniklých uvedenými úpravami (viz obr. 5).



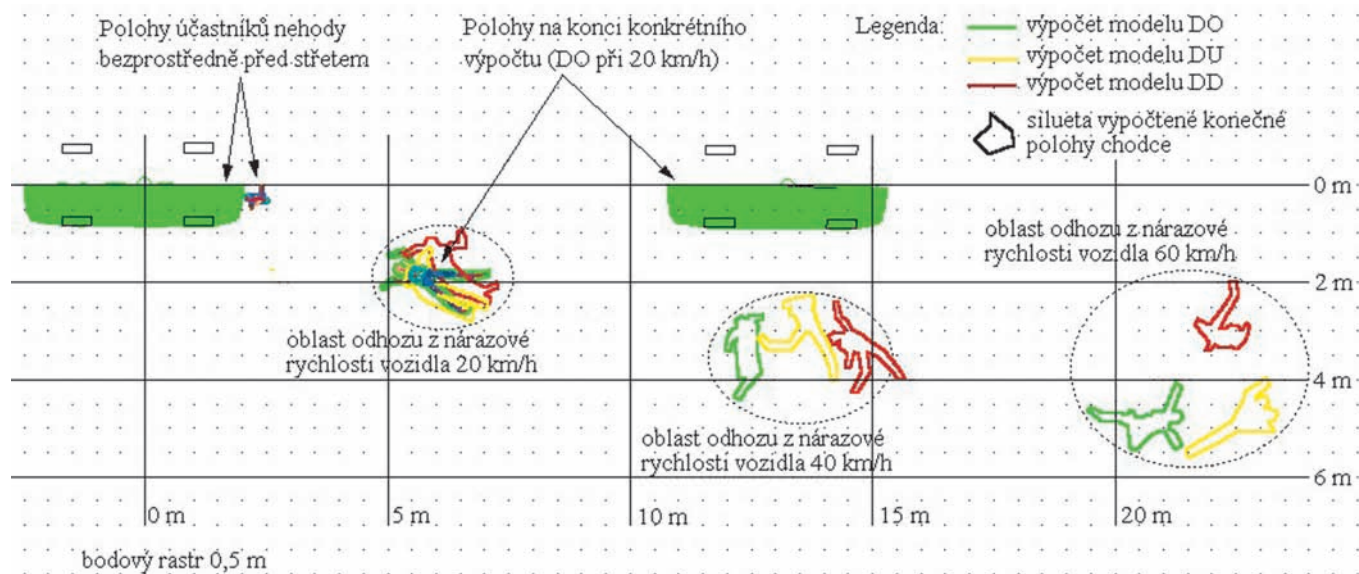
Obr. 8 Srovnání digitalizovaného modelu (nahore) a stávajícího modelu z databanky programu PC-Crash (dole) s bokorysem vozidla

### 5. KONKRÉTNÍ VYUŽITÍ MODELŮ ZÍSKANÝCH DIGITALIZACÍ

Modely poškození vozidel vytvořeny analogickým postupem v kapitole 3, ve znalecké praxi slouží k vizualizaci poškození, zaměření hloubky deformace v různých místech a k určení korespondence poškození mezi více střetávajícími se objekty. Druhé vozidlo účastní se předmětné dopravní nehody nebylo pro provedení digitalizace zajištěno. Rozbor korespondence poškození obou vozidel a dovození jejich vzájemné polohy při střetu tedy nemohly být provedeny. Doba digitalizace poškození vozidla činí maximálně 2,5 hodiny.

Kromě možné vizualizace vozidla byl digitalizací získaný model Škody Octavia úspěšně použit při výpočtu střetu s vícetělesovým modelem chodce v prostředí programu PC-Crash. Nový model vozidla (DO) je dle bokorysného srovnání přesnější než model doposud používaný (DD) (viz obr. 8). Výpočtem bylo potvrzeno korektní chování modelu. Charakter i vzdálenost odhozu chodce odpovídají známým skutečnostem (viz obr. 9). Doba potřebná na digitalizaci poloviny vozidla činila přibližně 10 až 15 hodin.

Model karosérie vozidla Škoda Favorit by bylo možno využít obdobně jako model vozidla Škoda Octavia, manuální definice značného množství bodů do kontaktních ploch by byla neefektivní, proto byl model použit pro rozbor hloubky rozlišení. Polygonální síť byla postupně upravována eliminací nadbytečných bodů při zachování definovaných požadavků přesnosti. Z původně získaných téměř 1,2 milionu bodů modelu byl upravený model tvořen pouze 4000 body (cca 0,3 % původní hodnoty, viz obr. 5 dole), přičemž převažující odchylka,  $\pm 5$  mm, je stále dostatečná pro aplikace analýzy dopravních nehod. Odchytky slícování a výroby dílů karosérie dosahují až 3 mm, odchytky polohy karosérie při jízdě vlivem náklonu a pružení dosahují řádu desítek mm. Na místě je zvětšení odchylky náhradních ploch od naměřených hodnot, snížení jejich počtu (tím dojde k zvýšení rychlosti výpočtu) a optimalizace



Obr. 9 Výpočet odhozu chodce v prostředí programu PC-Crash

jejich tvorby, zanedbání detailů karosérie vozidla (těsnění oken, spáry mezi karosářskými díly, zámky a kliky dveří, rozměrově malé prolisy). Doba potřebná na digitalizaci poloviny vozidla činila přibližně 15 až 20 hodin.

### 6. ZÁVĚR

Výše byly uvedeny možnosti využití digitalizace prostorových objektů – karosérií vozidel – při soudně inženýrské analýze dopravních nehod, které pokrývají převážnou většinu činností sloužících k objektivizaci vstupních podkladů do užívaných modelací střetu. Získané modely mohou sloužit pro vizualizaci vozidel a jejich poškození, určení hloubek deformací a korespondence poškození objektů při střetu, v součinnosti se soudními lékaři také k určení korespondence poškození se zraněním osob a v neposlední řadě k výpočtu střetu vozidla a chodce. Vzhledem

k délce trvání srovnatelné s jinými znaleckými úkony, by bylo možno digitalizaci lokálního poškození vozidla zařadit do běžných činností znalce. Vytvoření komplexních modelů vozidel není možné provádět z finančního a časového hlediska individuálně, ale spíše organizovaně v rámci vědecké či ústavní činnosti.

V současné době je Ústavem soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně užíváno uvedených digitalizačních postupů také při řešení dalších teoretických i praktických úkolů znalecké praxe, jež budou po dokončení náležitě prezentovány.

### 7. LITERATURA

- [1] ROCHLA T.: Digitalizace prostorových objektů při soudně inženýrské analýze dopravních nehod. *Diplomová práce, Brno, Ústav dopravní techniky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, 2004, 141 s.*

**Recenzoval: Ing. Zdeněk Mrázek**