

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Analýza metod měření deformací na vozidlech při
nárazových zkouškách**

Bc. Ondřej Průšek

Diplomová práce

2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej PRŮŠEK**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Analýza metod měření deformací
na vozidle při nárazových zkouškách**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- 1) Analýza vývoje dopravních nehod v ČR
- 2) Vývoj měření deformací karoserie v automobilovém průmyslu
- 3) Fotogrammetrie
- 4) Laserové měření
- 5) Závěr

SOUHRN

Diplomová práce je věnována bezpečnosti osobních automobilů, možnostem různých měření deformací jednotlivých dílů i celých automobilů. V práci je objasněn vývoj v oblasti bezpečnosti, vznik a vývoj EURO NCAP testů, zmíněna je i historie měření deformací. Měření jsou rozdělena na statické, dynamické a laserové měření. Jednotlivé měřicí systémy jsou popsány a vzájemně porovnány. Pro každý způsob snímání jsou uvedeny technické parametry a nutné vybavení.

KLÍČOVÁ SLOVA

EURO NCAP, bezpečnost, měření, deformace

TITLE

Analysis of method metering deformation on vehicle at crash test.

ABSTRACT

Diplom work is devoted to car safety, possibilities of different measurement methods for single parts and for the whole car. In the work, the development of the safety factor of automobile transport, the rise and development of EURO NCAP tests, and the story of deformation measurement are mentioned. Measurements are divided into static, dynamic, and laser measurement. Individual systems are described and compared to each other. For every measurement, technical characteristics and essential equipment are introduced.

KEYWORDS

EURO NCAP, safety, measurement, deformation

Obsah

Obsah.....	1
<i>Seznam použitých zkratk</i>	7
<i>Úvod</i>	8
1. Analýza vývoje dopravních nehod v ČR	9
1.1 Bezpečnost v silničním provozu	9
1.2 Dopravní nehodovost	10
1.3 Vývoj počtu dopravních nehod a jejich následků	10
1.3.1 Členění nákladů a ztrát.....	13
1.3.2 Dopravní prostředek jako prvek bezpečnosti.....	14
1.3.3 Aktivní bezpečnost.....	14
1.3.4 Pasivní bezpečnost.....	15
1.3.5 Pravidla pro bezpečnost silniční dopravy.....	15
2. Vývoj měření deformací karoserií v automobilovém průmyslu	16
2.1 Vznik a vývoj EURO NCAP	17
2.2 EURO NCAP testy vozů Škoda	19
2.3 Četnost způsobů nárazu vozidel	22
2.4 Trojrozměrný systém	22
2.5 Zkoušky pasivní bezpečnosti	24
2.6 Testy EURO NCAP	24
2.6.1 Čelní náraz.....	24
2.6.2 Boční náraz.....	25
2.6.3 Boční náraz na sloup.....	26
2.6.4 Střet automobilu s chodcem.....	27
2.6.5 Hodnocení testovaných vozů.....	28
2.6.6 Zkušební Figuríny.....	29
3. Statické měření	32
3.1 Bezkontaktní měření	32
3.1.1 Systém TRITOP.....	32
3.1.2 Systém ATOS – optické skenery.....	39
3.1.3 Reverse Engineering.....	44
3.2 Kontaktní měření	46
3.2.1 Systém FARO.....	46
3.3 Analýza statických měření	48
3.4 Vzájemné porovnání	55
4 Dynamické měření	57
4.1 Systém Pontos HS	57
4.2 Vysokorychlostní kamery	59
4.2.1 Kamery Redlake HG 100-K.....	62
4.3 Analýza dynamického měření	64

4.4	Vzájemné porovnání	69
5.	<i>Laserové měření</i>	71
5.1	Leica ScanStation 2	71
5.2	Leica Tracker LTC 700	73
5.3	Analýza laserového měření.....	77
5.4	Vzájemné porovnání	81
5.5	Výzkum dopravní bezpečnosti – použití ScanStation 2 v praxi.....	83
6.	<i>Závěr</i>	85
	<i>Seznam grafů, tabulek a obrázků</i>	88

Seznam použitých zkratk

EEVC	European Enhanced Vehicle-safety Committee (Evropský výbor pro zvýšení bezpečnosti vozidel)
NCAP	New Car Assessment Programme
FIA	Fédération Internationale de l'Automobile Mezinárodní automobilová federace
3D	Trojrozměrný prostor
CCD	Charge-coupled device (senzor citlivý na světlo)
RPS	System referenčních bodů
FPS	Frames per second (snímků za sekundu)
ATOS	Advanced Topometric Sensor

Úvod

V dnešní době je většina činností lidí spojena s přesunem za jejich povinnostmi. K tomuto přemísťování se využívá jak nejrůznějších silničních dopravních prostředků, tak i vlastních sil. Každodenně tak dochází k vzájemnému působení všech účastníků silničního provozu. Většina těchto přesunů je realizována na veřejných komunikacích. Jedná se tedy o proces silničního provozu, což přináší jistou míru nebezpečí pro všechny zúčastněné strany. Navzdory uváděným nehodovým statistikám i neustále se zvyšující hustotě silničního provozu se trvalým vývojem automobilové techniky dosahuje značného poklesu počtu usmrcených nebo těžce zraněných osob při některých typech automobilových nehod. Kromě zdokonalení systémů aktivní bezpečnosti se na tomto poklesu podílí i zvýšení pasivní bezpečnosti automobilů. S rostoucí hustotou provozu bohužel stále vzrůstá agresivita řidičů. Větší ukázněnosti významně nepomohla ani reforma zákona o provozu na pozemních komunikacích a s ní zavedený bodový systém. Stále vyvíjená a zlepšující se technika vozidel tedy stojí v nerovném boji proti nerozváženému, nebezpečnému a agresivnímu chování některých účastníků silničního provozu.

Práce je věnována pasivní bezpečnosti, měření deformací vozidel před zkouškou a po jejím provedení. Toto téma jsem si vybral nejen vzhledem k jeho aktuálnosti v dnešní době, ale také pro seznámení širší veřejnosti s náročností a důležitostí prováděných měření a testování. Cílem práce je zmapovat měřicí techniku využívanou v automobilovém průmyslu, seznámit se s jejich funkcí a požadavky v praxi. Důraz je kladen na provedenou analýzu a vzájemné porovnání v závěru jednotlivých kapitol.

Práce se dělí na několik kapitol, v nichž je zmapován vývoj dopravních nehod v ČR, hlavní příčiny nehod a jejich důsledky. Zmíněny jsou i materiální škody. Uvedena je historie a vznik Euro NCAP testů a historie vývoje měření deformací. V Dalších částech jsou popsány jednotlivé měřicí systémy. Ty jsou rozděleny na statické, dynamické a laserové měření. Vzhledem k citlivosti některých informací nejsou uvedeny naměřené hodnoty nebo jiná konkrétní data.

Tato diplomová práce vznikla po prostudování podkladů a absolvování několika vybraných ukázkových měření poskytnutých firmou Azos CZ s.r.o, která zajišťuje popisovaná měření pro firmu Škoda Auto a.s.

1. Analýza vývoje dopravních nehod v ČR

1.1 Bezpečnost v silničním provozu

Bezpečnost v silničním provozu nemá jednoznačnou definici. Je ji možné charakterizovat jako soubor závazných norem, které stanovují způsob užívání pozemních komunikací všemi účastníky silničního provozu.

Hlavními faktory ovlivňujícími bezpečnost jsou :

- 1) silniční vozidla**

- 2) silniční komunikace**

- 3) lidský faktor**

1) *Silniční vozidla* – jsou stále zdokonalována, výrobci investují do systémů bezpečnosti vozidla velké finanční prostředky. Míra bezpečnosti posádky je důležitá pro uplatnění výrobku na trhu. Také technický stav vozidel, který je zabezpečován předepsaným systémem kontrol přispívá ke zvýšení bezpečnosti vozidel.

2) *Silniční komunikace* – budování nových silnic, zvláště rychlostních a dálkových komunikací, je zdokonalováno z hlediska vývoje stavebních technologií a používaných materiálů. Opravy a údržby stávající silniční sítě podléhá zákonným normám. Potřebné pracovní operace jsou zajišťovány operativně využitím výkonných technických prostředků a vyspělých technologií.

3) *Lidský faktor* – je nejslabším a nejproblematictější bodem pomyslného trojúhelníku faktorů provozu silniční dopravy. Pokud by se vzal v úvahu ideální předpoklad, že by všichni účastníci silničního provozu bezpodmínečně dodržovali pravidla provozu, používali vozidla v dokonalém technickém stavu a pohybovali se s nimi na kvalitních silničních komunikacích, lze si potom položit otázku, zda by i nadále docházelo k dopravním nehodám.

Odpověď by zřejmě zněla: Dopravní nehody nadále budou i za těchto ideálních podmínek.

Automobil jako fenomén 20. století sebou přinesl spoustu sociologických jevů, které přispívají k zvýšení rizika nehodovosti v provozu silniční dopravy. Člověk je složitý tvor, který je omezen nejen svými psychofyzilogickými schopnostmi, ale různými prožitky, různými psychickými stavy a sněním. Důležitou roli zde hraje pozornost, únava, myšlení, předvídatelnost, rozhodování. Jinak řečeno i v perfektně vymyšleném a propracovaném systému dopravy člověk selhává právě z výše uvedených důvodů, což se často označuje jako selhání lidského činitele. [1]

1.2 Dopravní nehodovost

Nejzávažnějším negativním důsledkem v silniční dopravě je dopravní nehodovost. Pod tímto pojmem se rozumí soubor dopravních nehod, které se stanou v určité oblasti za určitý časový interval.

Dopravní nehodovost je charakterizována:

- stavem (mírou) dopravní nehodovosti – počet silničních dopravních nehod a jejich následků způsobených na určitém teritoriu (stát, kraj, okres) za určitý časový interval,
- úrovní (koeficientem) dopravní nehodovosti – míra nehodovosti v porovnání s počtem obyvatel, motorových vozidel, celkové délce komunikací apod.,
- strukturou dopravní nehodovosti – podíl jednotlivých kategorií dopravních nehod k celkovému počtu dopravních nehod na určitém uzemním celku za určitý časový interval,
- dynamikou dopravní nehodovosti – charakterizuje změny dopravní nehodovosti v závislosti na čase.

Dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.

1.3 Vývoj počtu dopravních nehod a jejich následků

Policie ČR v období I. čtvrtletí letošního roku šetřila 38 628 nehod na pozemních komunikacích, při kterých bylo 191 osob usmrceno, 716 osob těžce zraněno a 4 963 osob zraněno lehce. Odhadnutá hmotná škoda policií na místě nehody je 1 851,01 mil. Kč. Porovnání hodnot základních ukazatelů oproti období leden až březen 2007 je následující:

Pokles v kategoriích:

- | | | |
|-------------------------|------------|-------------|
| ➤ počet nehod | o 1 272 | tj. o 3,2% |
| ➤ počet usmrcených | o 18 osob, | tj. o 8,6% |
| ➤ počet těžce zraněných | o 55 osob, | tj. o 7,1%. |

Nárůst zaznamenáváme v kategorii:

- | | | |
|-------------------------|------------------|-------------|
| ➤ počet lehce zraněných | o 262 osob, | tj. o 5,6%. |
| ➤ odhad hmotné škody | o 35,05 mil. Kč, | tj. o 1,9%. |

Více nehod bylo zaviněno v noci - o 467 nehod, tj. o 8,6%, na silnicích III. třídy (o 450 nehod, tj. o 11,3%), více bylo i nehod na vozovce pokryté náledím, nebo na uježděném sněhu (o 210 nehod, tj. o 8,5%).

Snížení počtu nehod ovlivnili především řidiči osobních a nákladních automobilů (pokles o 534, resp. o 337 nehod). Rozdíly počtu nehod oproti roku 2007 nejsou tak výrazné.

Počet usmrcených byl vyšší u 23% měsíčně sledovaných ukazatelů a největší absolutní zvýšení zaznamenáváme u nehod na silnicích III. třídy (o 11 osob, tj. téměř o 48%), u nehod zaviněných chodci je zvýšení o 8 osob a obdobně u nehod končících srážkou s chodcem. Více usmrcených si vyžádaly i nehody v denní době (za dobré viditelnosti) – o 7 osob. Vyšší byly i následky nehod zaviněných řidiči osobních automobilů (o 7 osob, tj. o 5,1%). Tragické byly i situace na železničních přejezdech, kde při nehodách zahynulo o 5 osob více (tj. o 500%). [2]

Přehled o počtech nehod a počtech usmrcených osob podle sledovaných viníků je v následující tabulce.

tabulka 1: Přehled viníků a zavinění nehod

Viník, zavinění nehody období leden až březen; rok 2008	Počet nehod	Rozdíl nehod	Rozdíl v %	Počet usmrcených	Rozdíl usmrcených	Rozdíl v %
Řidičem motorového vozidla	36129	-1 063	-2,9%	172	-13	-7,0%
Řidičem nemotorového vozidla	239	-23	-8,8%	5	-5	-50,0%
Chodcem	360	-9	-2,4%	14	8	133,3%
Jiným účastníkem	46	3	7,0%	0	0	
Závadou komunikace	82	-33	-28,7%	0	0	
Technickou závadou vozidla	205	-26	-11,3%	0	-4	
Lesní, domácí zvířít	1 377	-1	-0,1%	0	-1	
Jiné zavinění	190	-120	-38,7%	0	-3	

Zdroj : *Ministerstvo vnitra* [online]. 2005 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW:
<<http://www.mvcr.cz/statistiky/nehody.html>>

tabulka 2 : Hlavní příčiny nehod motorových vozidel

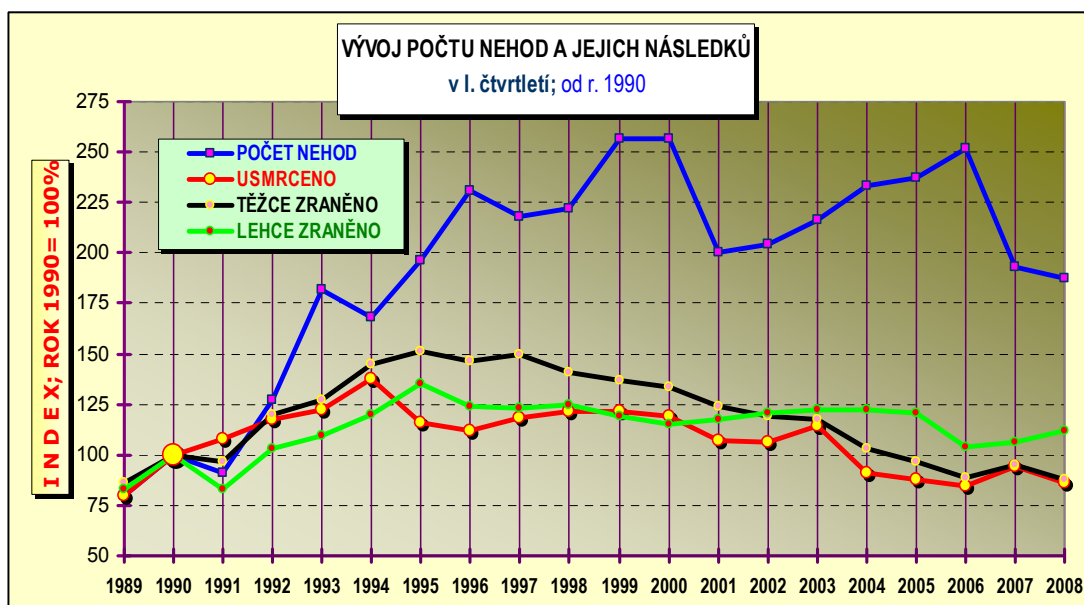
Hlavní příčina nehody období leden až březen; rok 2008	Počet nehod	tj. %	Počet usmrcených	tj. %	Rozdíl usmrcených
NEPŘIMĚŘENÁ RYCHLOST	7 185	19,9	82	47,7	-10
NESPRÁVNÉ PŘEDJÍŽDĚNÍ	663	1,8	21	12,2	9
NEDÁNÍ PŘEDNOSTI	6 702	18,6	26	15,1	11
NESPRÁVNÝ ZPŮSOB JÍZDY	21		43	25,0	-23

Zdroj: *Ministerstvo vnitra* [online]. 2005 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW:
<<http://www.mvcr.cz/statistiky/nehody.html>>

Bezmála 60% nehod zavinili řidiči motorových vozidel z důvodu nesprávného způsobu jízdy, následují nehody zaviněné z důvodu nepřiměřené rychlosti, nedání přednosti a nesprávným předjížděním. Z celkového počtu osob usmrcených při nehodách zaviněných řidiči motorových vozidel připadá kolem 50% na hlavní příčinu - nepřiměřená rychlost jízdy (82 osob). Vysoký je i počet a podíl usmrcených osob - z hlavní příčiny nesprávný způsob jízdy.

Oproti stejnému období loňského roku zavinili řidiči motorových vozidel více nehod jen z důvodu nepřiměřené rychlosti jízdy (o 12,1%). Více usmrcených osob bylo i z hlavní příčiny nedání přednosti v jízdě (o 73,3%) a u nesprávného předjíždění (o 75%). Největší relativní pokles zaznamenáváme u nesprávného způsobu jízdy o 34,8%. [2]

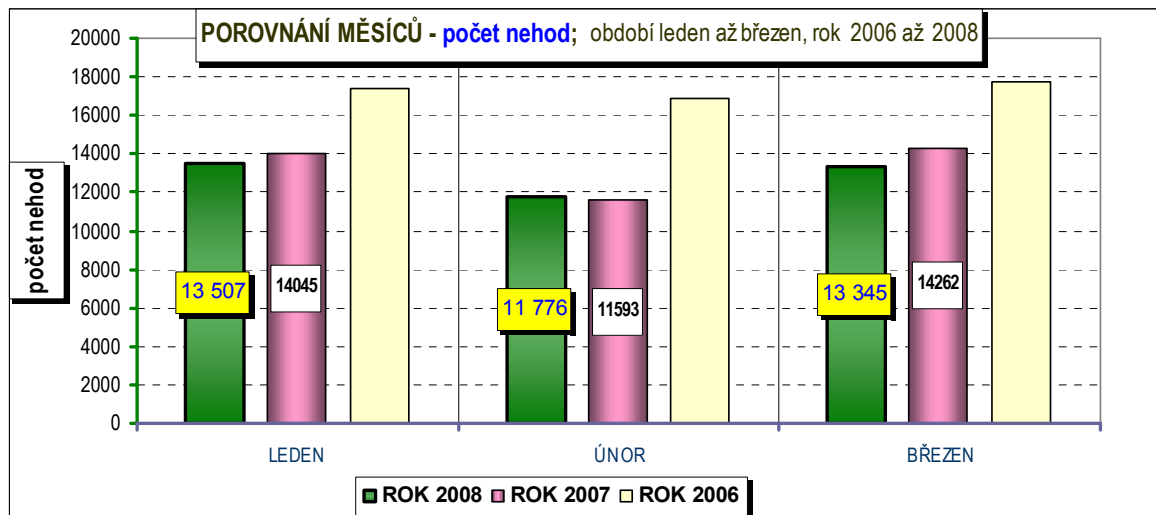
graf 1 : Vývoj počtu nehod a jejich následků



Zdroj: *Ministerstvo vnitra* [online]. 2005 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW:
<<http://www.mvcr.cz/statistiky/nehody.html>>

Z grafu 1 je patrné, že se každý rok stane přibližně 200 tisíc dopravních nehod - tedy každé 3 minuty se stane dopravní nehoda.

graf 2 : Porovnání nehod leden - březen 2006,2007,2008



Zdroj: *Ministerstvo vnitra* [online]. 2005 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.mvcr.cz/statistiky/nehody.html>>

Dopravní nehody s sebou nesou značné sociální, psychologické a ekonomické důsledky pro společnost (např. pro rok 2007 finanční ztráty představovaly téměř 75,7 miliard Kč, což je více než 2,7 % HDP).

1.3.1 Členění nákladů a ztrát

Náklady a ztráty lze vzhledem k druhu následků dopravních nehod rozčlenit na nehody u nichž dojde k:

- usmrcení člověka,
- těžkému zranění,
- lehkému zranění,
- pouze k hmotné škodě.

K výpočtu celkových nákladů a ztrát se používá následující rozdělení:

přímé náklady - mají přímý dopad na výdaje státního rozpočtu . Nejsou v nich započteny škody na životním prostředí. Kvantifikace nákladů a ztrát je provedena pomocí přímého zjišťování nákladů.

nepřímé náklady - jsou odhadem ztráty na produkci způsobené vyřazením z pracovního procesu

1.3.2 Dopravní prostředek jako prvek bezpečnosti

Celou problematiku vazby konstrukce a bezpečnosti automobilu je možno chápat tak, že úkolem konstrukce obecně je:

- kompenzovat nedostatky řidiče a vytvořit příznivé podmínky pro jeho práci,
- snížit nepříznivé vlivy vozovky na provoz a chování vozidla,
- chránit řidiče i osádku před možností úrazu,
- snížit nepříznivé vlivy provozu vozidla na okolní prostředí.

Z hlediska takto definovaných cílů je možno bezpečnost automobilu rozdělit na:

- AKTIVNÍ – primární,
- PASIVNÍ - sekundární,
- EKOLOGICKOU - terciální (vlastnost automobilu zmenšovat negativní následky normálního provozu vozidla na okolní prostředí).

1.3.3 Aktivní bezpečnost

Tento termín označuje všechny prvky které mají zabránit nehodě.

Patří mezi ně :

- výhled řidiče (zorné úhly, zpětná zrcátka, kamery),
- ovladatelnost (volant, páky, pedály, interiér),
- komfort (sedadlo, opěrky, madla, ergonomie, podmínky pro soustředění),
- akustika (snížení hlučnosti *primární* – tichý motor, dobrý výfukový systém, zvuk proudění vzduchu
sekundární – tlumení hluků izolačním materiálem),
- klima vnitřního prostoru – příjemné klima, větrání a vytápění, jednoduché ovládání,
- zrychlení – dostatečně výkonný motor, zkrácení doby předjíždění,
- brzdy – podmínka zastavit vozidlo na co nejkratší dráze bez rizika směrové neovladatelnosti,
- vhodné parametry podvozku – dynamika a pлавnost jízdy. [1]

1.3.4 Pasivní bezpečnost

Tento termín zahrnuje všechna opatření, která mají co nejvíce zmírnit následky dopravní nehody. Patří mezi ně :

- omezení rizik pro ostatní účastníky dopravní nehody (zaoblení nárazových ploch, plynulý přechod z kapoty na čelní sklo, sklopná zrcátka, ...),
- ochrana cestujících – cílem je zachovat neporušený tzv. „prostor pro přežití“
- vysoká tuhost všech profilů skeletu, montáž lepených skel,
- deformační zóny – části karoserie, které při nehodě svojí deformací snižují hodnotu zpoždění a pohlcují energii nárazu, především přední část,
- systém upoutání cestujících, napínače bezpečnostních pásů, airbagy,
- bezpečnost řízení, volantová tyč má několik částí, deformační zóna – vlnovec,
- sedadla upravená tak, aby nedošlo k vyklouznutí cestujících z bezpečnostních pásů tzv. „ponořovací efekt“,
- přizpůsobení prostoru pro cestující, přístrojová deska – deformační zóna, měkké materiály, zaoblené tvary. [1]

1.3.5 Pravidla pro bezpečnost silniční dopravy

Provoz silničních vozidel je složitý systém, jehož činnost přináší určitou míru rizika. Omezit toto riziko na minimum je úkol jak pro konstruktéry, autoškoly, dopravní policii, tak i pro každého účastníka tohoto provozu.

Základním předpokladem pro účast v provozu na pozemní komunikaci jako řidič motorového vozidla je absolvování :

- lékařské prohlídky,
- výuky v autoškole,
- zkoušky za účasti příslušného komisaře.

Po úspěšném absolvování těchto náležitostí získá uchazeč řidičský průkaz příslušné skupiny, který jej opravňuje k řízení vozidla tak, jak stanoví **Zákon o provozu na pozemních komunikacích**. Tento zákon je právní norma pro všechny účastníky provozu na pozemních komunikacích. Upravuje pravidla a řízení provozu na pozemních komunikacích, práva a povinnosti jeho účastníků, řidičská oprávnění a řidičské průkazy a rovněž vymezuje působnost a pravomoci orgánů státní správy a Policie ČR v této oblasti. [1]

2. Vývoj měření deformací karoserií v automobilovém průmyslu

Historie toho oboru není nikterak dlouhá, její největší rozvoj přišel s nástupem výpočetní techniky. Zkoušení a měření se prováděla od doby vzniku automobilů, ale jejich průběh byl značně omezen možnostmi tehdejší doby.

Roku 1898 se v Anglii stala první dopravní nehoda, která měla za následek smrt 42letého muže. Henry Lindfield se 12. února 1898 vydal z Londýna do Brightonu. V kopci ulice Russell Hill na území Velkého Londýna v důsledku v té době nepovolené rychlosti 30 kilometrů v hodině ztratil kvůli selhání brzd i řízení nadvládu nad svým automobilem. Nezvladatelnou jízdu ukončil až náraz do stromu. Tehdy se ve všech novinách psalo, že takováto událost se již nikdy nesmí opakovat. Bohužel se smrtelné dopravní nehody staly běžnou součástí každodenního života. Pro všechny prováděné nárazové testy je tedy prioritou minimalizace následků dopravních nehod na lidské životy.

První bariérové zkoušky proběhly zhruba v osmdesátých letech. Požadavky tehdejší doby se s dnešními nedají porovnávat. Automobily nedosahovaly takových rychlostí jako dnes, používali se jiné konstrukční materiály a hustota provozu nebyla ani poloviční oproti dnešní době. Hlavními sledovanými prvky byly volantová tyč a pedály. U volantové tyče se sledovalo její posunutí směrem k hrudníku řidiče, pedály byly zkoumány z hlediska posunutí do vozu a možnosti sešlápnutí brzdového pedálu. K měření posunutí těchto částí se používal metr, provázek případně kalibrované odměřovací tyčky. Odměření na daných dílech se provedlo po každé zkoušce. Ze série testů byl jeden výsledek, což byla průměrná hodnota ze všech měření. Náraz se prováděl s plným překrytím do nedeformovatelné bariéry (obr. 1, str. 17). S rostoucím počtem vyrobených automobilů se stávala otázka bezpečnosti posádky stále aktuálnější po celém světě. Tím se začaly v různých podobách formovat budoucí EURO NCAP testy. Ty jsou neustále vyvíjeny, měněny a přizpůsobovány vzhledem k nově vyráběným vozidlům. Velký pokrok zaznamenala i výpočetní a měřicí technika. První systém pro optickou digitalizaci byl představen roku 1998, výrobcem byla firma Breuckmann (obr. 2, str. 17).

V dnešní době výrobci automobilů již v rané fázi vzniku vozidla provádějí mnoho bariérových zkoušek, které jsou vyhodnocovány a výsledky mohou být použity pro úpravu nebo přepracování finální podoby dat pro výrobu. Primárním úkolem nárazových zkoušek je stále zkoumání biomechaniky, vnitřního prostoru pro přežití posádky a v neposlední řadě i vliv na okolní prostředí, např. srážka s chodcem.

obrázek 1 : Nárazová zkouška Škody 100, rok 1972



Zdroj : *Auta5p* [online]. 2000-2008 [cit. 2008-04-26]. Dostupný z WWW: <http://auta5p.eu/informace/bezpecnost/s100_01.htm>

obrázek 2 : První systém pro optickou digitalizaci



Zdroj : Interní materiály Škoda Auto a.s.

2.1 Vznik a vývoj EURO NCAP

V 70tých letech spolupracovaly evropské vlády na Evropském Experimentálním vozidle (EEVC), vyvíjely metody a vybavení pro hodnocení různých aspektů vzhledem k automobilovému sekundárnímu bezpečí (pasivní bezpečnost). Na počátku 90tých let vznikla série bezpečnostních testů pro ochranu cestujících v automobilu z čelního a bočního nárazu. Součástí zkoušky pro celkové hodnocení byla i srážka s chodcem čelní stranou vozidla.

V této době byl čelní náraz se 100% překrytím jediným nárazovým testem, který vyžadovala tehdejší Evropská legislativa dle EHK 12. Tato zkouška měla za úkol ukázat posunutí sloupku řízení směrem do kabiny, přičemž ve voze nebyla žádná zkušební figurína. Nebyl ani žádný požadavek na boční náraz nebo střet s chodcem.

Ve spojených státech legislativa vyžadovala 100% překrytí při čelním nárazu, zde byly použity zkušební figuríny. V roce 1979 organizace pro bezpečnost silničního provozu (NHTSA) odstartovala program – New car assessment programme (NCAP), kde byly vozy vystaveny vyšší nárazové rychlosti (35mph) v čelním nárazu. Později vznikl program NCAP v Austrálii a v Japonsku.

V Evropě začal německý motorový klub ADAC společně s časopisem Auto Motor und Sport provádět čelní nárazové zkoušky do tuhé bariéry a prezentovali jejich výsledky jako informace pro spotřebitele. Přesto, že z dnešního pohledu měly tehdejší testy spoustu nedostatků, snaha objasnit zákazníkům chování vozidel při možném střetu byl krok správným směrem.

V roce 1994 byl návrh na převzetí Evropské legislativy z EEVC silně odmítnut automobilovým průmyslem. Částečně proto v červnu 1994 dopravní výzkumná laboratoř (TRL) navrhla zavedení něčeho jako NCAP testy v USA, co by se později ujalo v celé Evropě. Projekt měl vzít to nejlepší z podobných programů, navrhoval však větší rozsah. Základy této myšlenky byly založeny na zkušebních procedurách vyvinutých při EEVC.

V dubnu 1995 započal vývoj nového programu – New car Assessment Programme (NCAP). Oproti podobným projektům byl velmi komplexní a měl zahrnovat provedení co nejvíce možných zkoušek. Záměr byl takový, aby testování a určení výsledků bylo přesné a vědecky podložené.

Po první fázi testů malých vozů byly vybraní výrobci požádáni o poskytnutí informací o jejich vozech. Pro výrobce měla existence toho programu okamžitý účinek. Zajímalo je, kdy byly testované vozy zakoupeny, aby přesně určily strukturu zkoušeného vozu, případně se mohli rozhodnout, jaká zlepšení mohou udělat na jejich automobilech než půjdou do prodeje. Během hodnocení se zjistilo, že je možné změnit například tloušťku plechu některých částí karoserie.

Do května 1996 byla dokončena první fáze testů a výsledky byly prezentovány na patnácté mezinárodní technické konferenci na zvyšování bezpečnosti vozidel (ESV) v Melbourne. Ačkoliv byly v této fázi všechny testy uskutečněné, odhad a hodnocení prezentační procedury měly být ještě dokončeny. Pro hodnocení testů byl vyvinut detailní zkušební protokol určený zkušebním laboratořím.

Jedinečný rys z tohoto stanoveného postupu souvisí se zahrnutím informací z odborné kontroly, která se prováděla na každém voze. Primární účel inspekce byl rozšířit platnost z odhadu, pokrýt širší spektrum velikosti vozů, polohy cestujících ve voze a zmapovat dopady na okolí při srážce. Zveřejnění prvních výsledků EURO NCAP testů způsobilo značný mediální zájem, který byl doprovázen silnou negativní odezvou ze strany

automobilových výrobců. V červenci 1997 vyplynulo ze zveřejnění druhé fáze testů potěšení zkušebních komisařů. Ti oznámili, že Volvo S40 je prvním vozem, který dosáhl 4 hvězdičkového hodnocení v kategorii ochrana cestujících.

Formace EURO NCAP se ujala FIA jak ve vedení a propagaci tak i v jednání s ostatními členy. Podpora programu byla vyjádřena i Evropskou komisí. EURO NCAP postupně rostl, nové výsledky byly zveřejňovány dvakrát do roka a automobiloví výrobci postupně začali sponzorovat testování jejich vlastních vozů. Jak nová auta nahrazovala předchozí již testované modely, bylo zlepšení v bezpečnosti oproti jejich předchůdcům jasně patrné a marketingově využitelné. Bohužel ochrana chodců měla daleko pomalejší vývoj než ochrana posádky vozů.

V roce 1999 byla provozní kontrola EURO NCAP přesunuta do sekretariátu OSN v Bruselu. Ta poskytla EURO NCAP větší nezávislost se zachováním nabytých zkušeností. V tomto roce došlo z podnětu FIA k sjednocení Australan NCAP dle vzoru EURO NCAP.

V červnu 2001 byl dosažen další milník – Renault Laguna se stal prvním vozem, který byl odměněn pěti hvězdičkami za ochranu cestujících. Přestože později byly další vozy ohodnoceny pěti hvězdičkami, byly požadavky kritizovány za přílišnou přísnost pro menší vozy. V listopadu 2004 se stal Renault modus prvním automobilem z kategorie malých vozů, který získal pět hvězdiček. Standard výrobců natolik pokročil, že dosažení pěti hvězdiček je pro většinu vozů poměrně snadné. Výrobci to vidí jako svůj cíl. [3]

2.2 EURO NCAP testy vozů Škoda

Škoda Fabia – rok 2000

Fabia byla vůbec první škodovkou v testu Euro NCAP a v dané době patřila k nejbezpečnějším autům své třídy. Čtyři hvězdy byly tenkrát pro tuto kategorii maximum. Stejně hodnocení si v roce 2000 vysloužila i Toyota Yaris nebo Volkswagen Polo. Zkušební komisaři ocenili zejména "souhru volantu, airbagu a pásu", díky které je výborně ochráněna hlava řidiče. Při čelním nárazu se hrudník nedotkne volantu, a hrozí tak pouze mírně zvýšené riziko poranění. Jen o něco hůře dopadla Fabia při bočním nárazu, kdy hlava řidiče lehce narazila do polstrovaného čelního A sloupku karoserie a hrudník byl zasažen deformujícími se dveřmi. [4]

obrázek 3 : Čelní náraz Škody Fabia



Zdroj : *Tipcar* [online]. 2005-2008 [cit. 2008-05-14]. Dostupný z WWW:
<http://www.tipcar.cz/mladoboleslavske_vozy_v_testech_euro_ncap-2336.html>

Škoda Octavia - rok 2001

Škoda Octavia se dostala do testu Euro NCAP až po několika letech výroby v podobě prvního faceliftu v listopadu 2001. Stejně jako Fabia získala čtyři hvězdy, které i rok po testu první škodovky stále znamenaly výborný výsledek. Stejně ohodnocení získali v tomto roce například Volkswagen Passat nebo Audi A4. [4]

obrázek 4 : Čelní náraz Škody Octavia I



Zdroj : *Tipcar* [online]. 2005-2008 [cit. 2008-05-14]. Dostupný z WWW:
<http://www.tipcar.cz/mladoboleslavske_vozy_v_testech_euro_ncap-2336.html>

Škoda Superb – rok 2003

Právě tento rok byl v historii Euro NCAP do jisté míry zlomový - k pětihvězdičkovému hodnocení Renaultu Laguna a Mercedesu C v závěru roku 2001 se nyní přidala i Toyota Avensis, Saab 9-3 i 9-5, Renault Vel Satis a Mercedes E. Bylo zřejmé, že pět hvězdiček se, alespoň u větších vozů, pomalu stává standardem. Ve srovnání s fabií a octavií se superb příliš neblýskl. Test konstatoval zvýšené riziko poranění hrudníku, protože tělo figuríny

navzdory airbagu narazilo do volantu. Také tuhost karoserie měla slabiny, opět zahrozily tvrdé díly pod přístrojovou deskou. Proto si za čelní náraz Superb odnesl pouze 9 z 16 možných bodů. Podstatně lépe na tom byl po bočním nárazu, kde i díky použití bočních a hlavových airbagů dosáhl na 17 z 18 možných bodů. Zklamáním byl simulovaný střet s chodcem, za který si velká škodovka nevysloužila ani jednu hvězdu. [4]

obrázek 5 : Čelní náraz Škody Superb



Zdroj : *Tipcar* [online]. 2005-2008 [cit. 2008-05-14]. Dostupný z WWW:
<http://www.tipcar.cz/mladoboleslavske_vozy_v_testech_euro_ncap-2336.html>

Škoda Octavia II – 2004

Druhá generace octavie dosáhla v roce 2004 hodnocení v podobě 4 hvězd, což je na danou dobu průměrný výsledek. Octavia měla trochu smůlu - body ztratila za tvrdé části přístrojové desky, od kterých podle Euro NCAP hrozí poranění kolen řidiče. Komisaři naopak chválili tuhost karoserie a upozornili i na velmi dobré výsledky bočního nárazu. Přitom zkoušený model nebyl vybaven bočními airbagy. [4]

obrázek 6 : Čelní náraz Škoda Octavia II

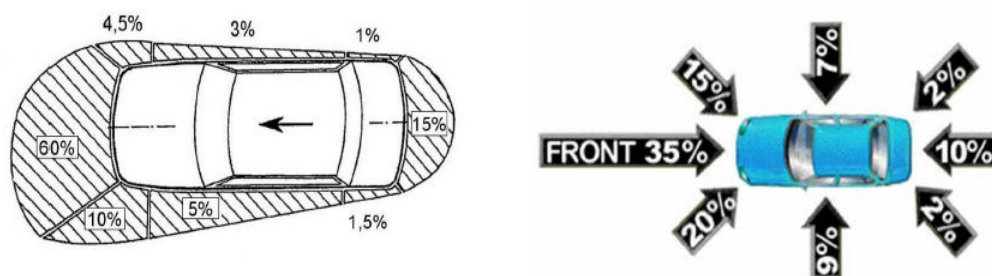


Zdroj : *Tipcar* [online]. 2005-2008 [cit. 2008-05-14]. Dostupný z WWW:
<http://www.tipcar.cz/mladoboleslavske_vozy_v_testech_euro_ncap-2336.html>

2.3 Četnost způsobů nárazu vozidel

Vyhodnocením pravděpodobnosti různých způsobů nárazu vozidel se zabývalo mnoho autorů a všichni dospěli k podobným výsledkům. Nejsilněji je poškozována přední část vozidla – čelní nehody jsou nejčastější a patří také mezi nejnebezpečnější. Po ní následuje zadní část vozu. Škody při poškození zadní části vozu ale nebývají velké vzhledem k menším nárazovým rychlostem ve srovnání s čelní srážkou. Dalším častým jevem je boční náraz proti dveřím. Ten stejně jako převrácení způsobuje velké škody i při relativně malých rychlostech. Nebezpečí hrozící posádce při bočním nárazu je značné, naopak převrácení vozidla bez dalších nárazů bývá relativně málo nebezpečné. Vyhodnocení četnosti nárazů (obr. 7) v reálném provozu a možné hrozící nebezpečí z nich plynoucí pro cestující byly faktory, které hrály hlavní roli při formování EURO NCAP testů do dnešní podoby.[18]

obrázek 7: Vyhodnocení četnosti nárazů ze statistik dopravních nehod

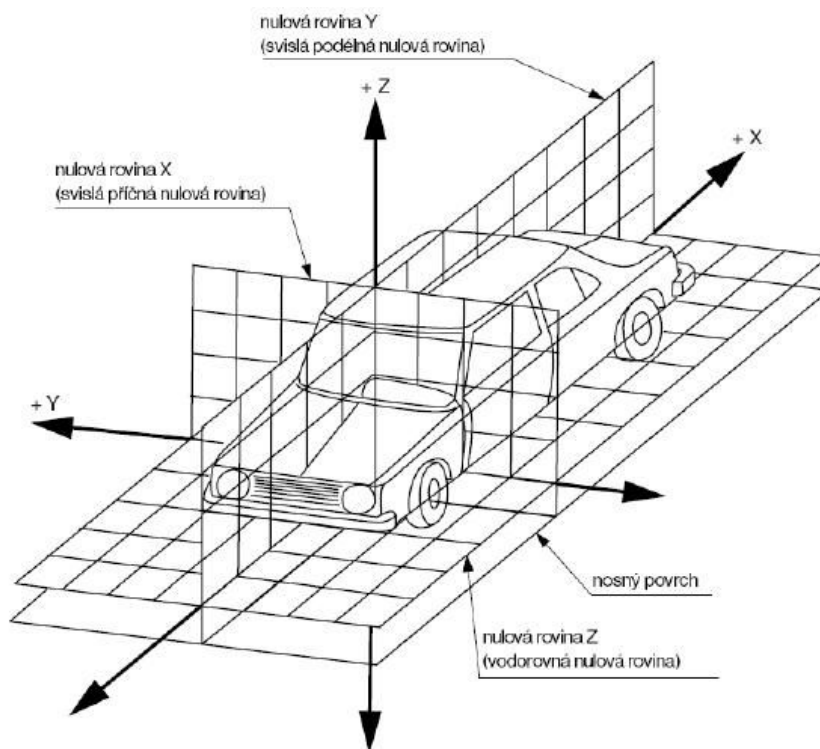


Zdroj: LIŠKA, Tomáš. *Metody nárazových zkoušek pasivní bezpečnosti a jejich srovnání*. [s.l.], 2007. 114 s. České vysoké učení technické. Diplomová práce.

2.4 Trojrozměrný systém

Tento osový systém odpovídající normě ISO 4130 1978 je v automobilovém průmyslu uznávaný a používaný. Počátek systému, tedy souřadnice $[x_0, y_0, z_0]$, je umístěn ve středu příčné roviny nad přední nápravou vozidla (obr.8, str. 23). Při použití tohoto souřadného systému lze u kteréhokoliv ze zmiňovaných měření provést vyrovnání, např. pomocí RPS bodů. Výsledky měření jsou pak lehce srozumitelné a porovnatelné s počítačovým modelem. Možné je tedy určovat výsledné hodnoty nejen relativně, ale i absolutně.

obrázek 8 : Souřadný systém vozu



Zdroj: LIŠKA, Tomáš. *Metody nárazových zkoušek pasivní bezpečnosti a jejich srovnání*. [s.l.], 2007. 114 s. České vysoké učení technické . Diplomová práce.

2.5 Zkoušky pasivní bezpečnosti

K ověření pasivní bezpečnosti vozidel se provádějí bariérové zkoušky. Bariérových zkoušek je více druhů. Homologačními musí projít všechna vozidla při schvalování před uvedením do provozu. Tyto zkoušky jen ověřují, zda je vozidlo způsobilé z hlediska bezpečnosti k provozu – vyhoví nebo nevyhoví. Provádějí se při nižších rychlostech než zkoušky prováděné v programu Euro NCAP, což jsou zákaznické, pro širokou veřejnost daleko důležitější testy. Ty byly vyvinuty za účelem co nejvíce se přiblížit reálným dopravním nehodám a hodnocení pak prezentovat v jednoduché podobě. V rámci testů EURO NCAP se provádí:

- čelní přesazený náraz
- boční náraz
- boční náraz do sloupu
- střed s chodcem

Do těchto testů jsou vozidla vybírána náhodně, většinou to jsou nejprodávanější modely dané výrobní řady. Výrobce do této volby nemůže zasahovat. Vlastní bariérové zkoušky se provádějí v nezávislých zkušebnách. Výrobce je jenom přizván při přípravě vozidla a je pozorovatelem při vlastní zkoušce. Všechny zkoušky se provádějí jednou a na základě zjištěných hodnot se stanoví konečné hodnocení. Na základě tohoto hodnocení se přidělí vozidlu příslušný počet hvězd, což je srozumitelné pro širokou veřejnost.

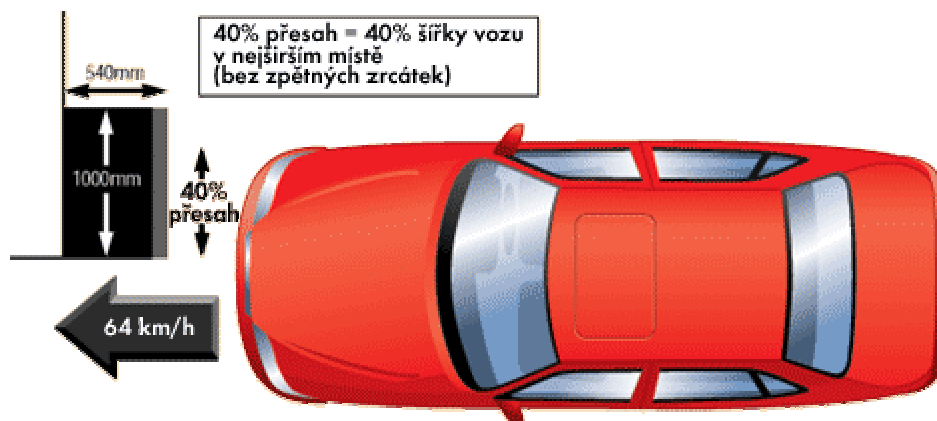
2.6 Testy EURO NCAP

2.6.1 Čelní náraz

Offsetový náraz je čelní náraz vozidla do deformovatelné bariéry se 40% překrytím v rychlosti 64 km/h. Proti zákonným předpisům pro čelní náraz je rychlost o 8 km/h vyšší. Částečné překrytí (v tomto případě 40%) znamená, že vozidlo nenarazí do bariéry celou svojí šířkou přídě, ale jen její částí, čímž je nárazová energie spotřebovávána mnohem menší částí karosérie, než by tomu bylo při 100% překrytí. Šířka vozidla je zde definována jako nejširší část automobilu bez zrcátek. Nárazová deformovatelná bariéra je tvořena plechem lisovaným do profilu voštin (šestiúhelníka) a připomíná tak z čelního pohledu včelí pláštěv – odtud pochází i její název *honeycomb barrier*. Šířka bariéry je v tomto

případě 1000 mm a hloubka 540 mm. Za ní je umístěna pevná bariéra, ke které je ta deformovatelná připevněná (obr. 10). [5]

obrázek 9 : Čelní náraz s přesazením



Zdroj : *AUTO.CZ* [online]. c1995-2008 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW:
<http://www.auto.cz/main.php?site=crashtesty_hodnoceni>

obrázek 10 : Deformovatelná bariéra pro čelní náraz



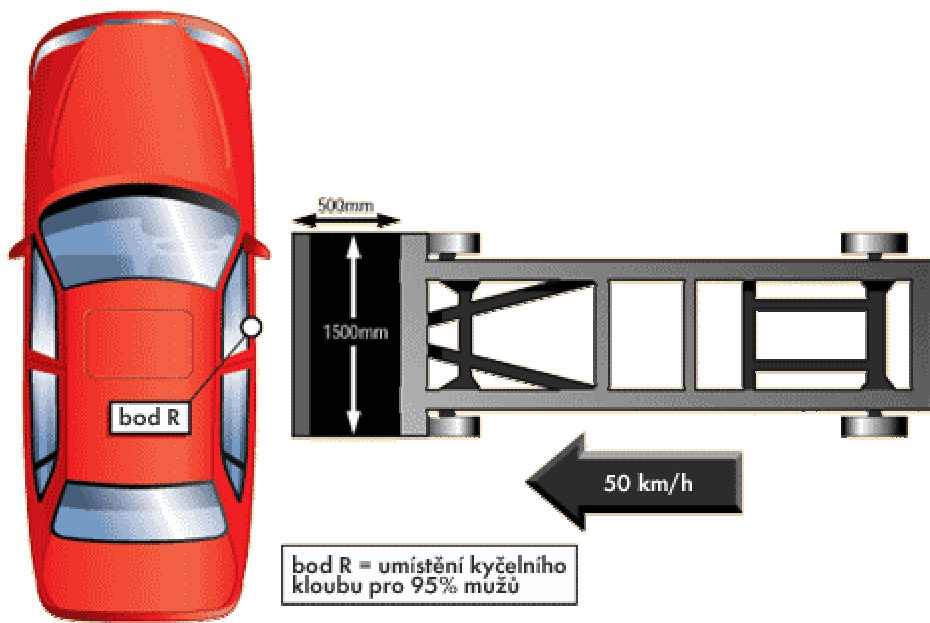
Zdroj : Interní materiály Škoda Auto a.s.

2.6.2 Boční náraz

Jedná se o zkoušku, při které je simulován boční náraz jiným vozidlem. Proti boku testovaného vozidla je vyslán vozík, který má v přední části umístěnu deformovatelnou bariéru z hliníkových slitin profilovaného do voštin. Rychlost nárazu je při této zkoušce 50 km/h. Bariéra o šířce 1500 mm a hloubce 500 mm musí s určitou tolerancí narazit do

přesně definované oblasti boční partie vozidla. K určení místa nárazu bariéry slouží tzv. *R – bod*, což je bod vytvořený průsečíkem myšlené osy vedené kyčlemi, jejichž poloha odpovídá 95% lidí sedících na předním sedadle, a příslušné boční partie vozidla. Střed bariéry musí narazit právě na tento *R – bod*. [5]

obrázek 11 : Boční náraz



Zdroj : *AUTO.CZ* [online]. c1995-2008 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW:
<http://www.auto.cz/main.php?site=crashtesty_hodnoceni>

2.6.3 Boční náraz na sloup

Údaje o zraněních při nehodách jsou v každé zemi odlišné. Nicméně z celkového hlediska zranění způsobená nárazem z boku tvoří jednu čtvrtinu vážných zranění. Velký počet takových úrazů je způsoben nárazem jednoho vozidla do boku vozidla druhého. Ale například v Německu dochází k více než polovině těchto zranění při nárazu vozidla bokem do pevné překážky jako je sloup nebo strom.

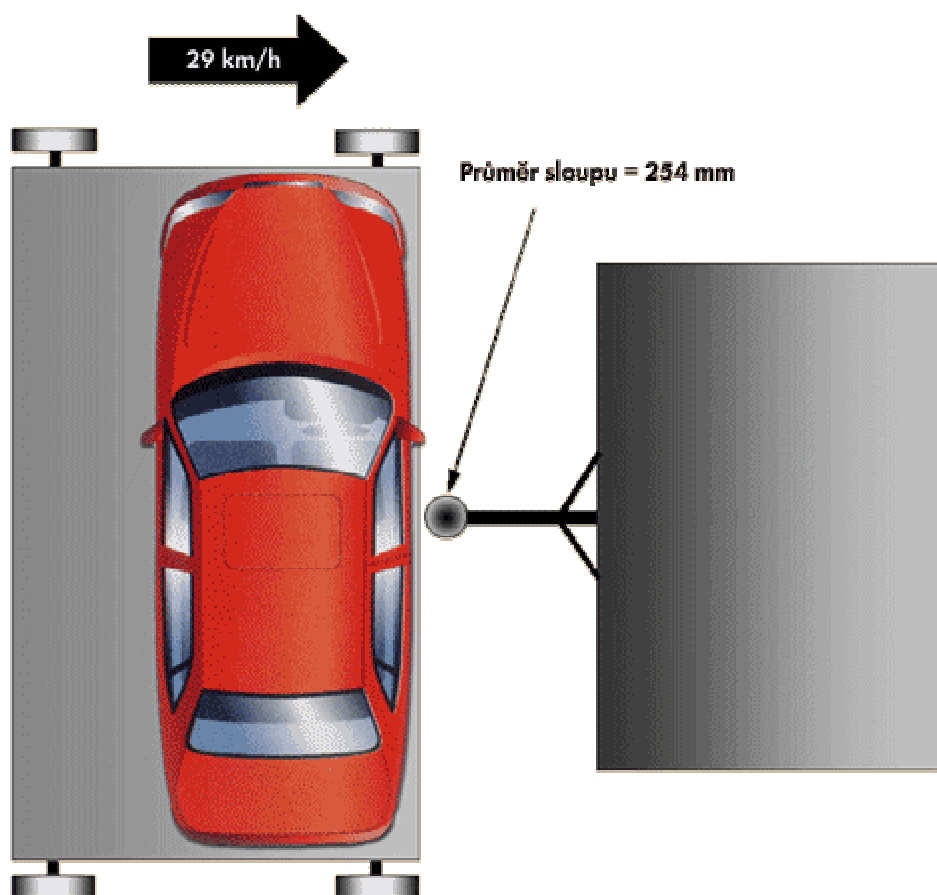
Za účelem snížení těchto těžkých či smrtelných úrazů dodávají někteří výrobci boční airbasy, chránící hlavu cestujících při bočním nárazu, jako součást standardní výbavy. Euro NCAP se snaží společně s některými výrobci ukázat, jak dobře mohou tato zařízení chránit proti zranění krku a hlavy. Euro NCAP zavedl nový test určující míru poskytnuté ochrany při nárazu v rychlosti 29 km/h do pevného sloupu, který je poměrně úzký a obvykle pronikne hluboko do boku vozidla. V případech, kdy vozidlo není opatřeno bočním airbagem, může hlava řidiče narazit silně do sloupu natolik, že dojde ke smrtelnému zranění. Míra poranění hlavy v takovém případě běžně dosahuje hodnoty 5000

HIC (head injury criterion), která je 5x větší než hodnota určující pravděpodobné vážné poranění mozku (1000 HIC). Pokud je vůz vybaven bočními airbagy, je míra poranění hlavy 100 až 300 HIC.

Při bočním nárazu na sloup může tedy instalace bočních airbagů chránících hlavu řidiče zachránit život. Navíc ochrana je efektivní i v jiných případech, například při nárazu přední části jiného vozidla ve výšce hlavy (nákladní automobil).

Airbagy mohou být na principu boční clony, nafukovací trubice nebo se používají airbagy chránící hrudník s horním štítem kryjícím hlavu. Všechny typy efektivně snižují míru nebezpečí smrtelného úrazu. [5]

obrázek 12 : Boční náraz na sloup



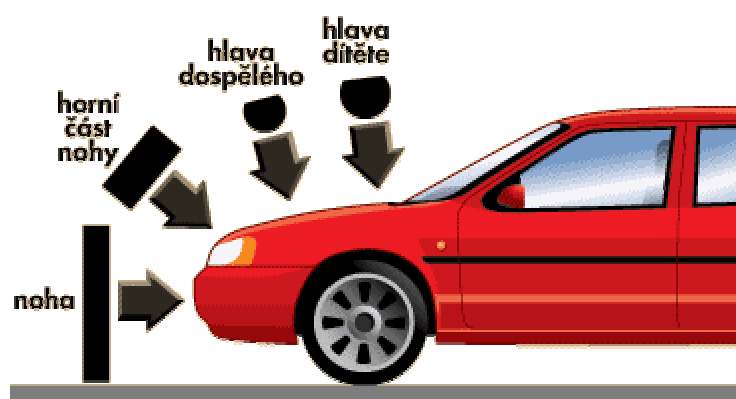
Zdroj : *AUTO.CZ* [online]. c1995-2008 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW:
<http://www.auto.cz/main.php?site=crashtesty_hodnoceni>

2.6.4 Střet automobilu s chodcem

Zkouška simuluje střet vozidla s chodcem při rychlosti 40 km/h. Vyhodnocuje se riziko poranění při kontaktu jednotlivých částí těla s povrchem vozu. Na přesně určené místo

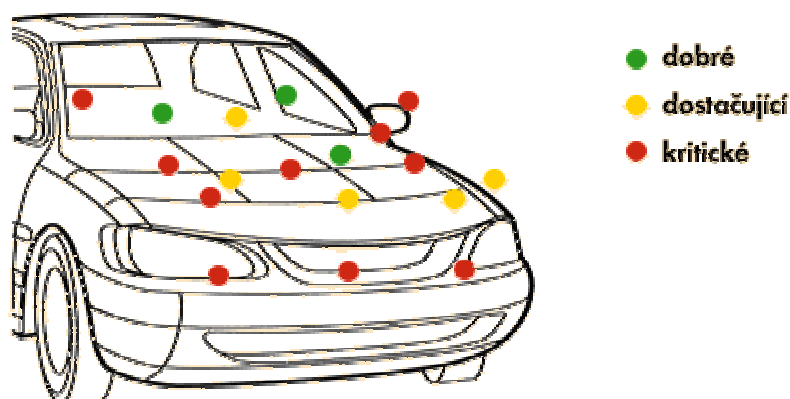
dopadají odpovídající rychlostí a pod stanoveným úhlem tělesa definovaných hmotností a tvarů (tzv. impaktory). Celkem jsou tato tělesa čtyři a simulují spodní část nohy s kolenem, stehno, hlavu dítěte a hlavu dospělého člověka. Pro každou tělesnou partii se na povrchu vozidla určuje několik bodů a vyhodnocuje se míra rizika poranění v daném místě (obr. 14). Body se volí tak, aby bylo nalezeno pro chodce nejvíce nebezpečné a současně i nejvíce bezpečné místo na povrchu vozu. [5]

obrázek 13 : Střet vozidla s chodcem



Zdroj : *AUTO.CZ* [online]. c1995-2008 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/main.php?site=crashtesty_hodnoceni>

obrázek 14 : Hodnocení testu střetu s chodcem



Zdroj : *AUTO.CZ* [online]. c1995-2008 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/main.php?site=crashtesty_hodnoceni>

2.6.5 Hodnocení testovaných vozů

Během dosavadní činnosti prověřila nezávislá organizace Euro NCAP více než 200 modelů. **Výsledky crash testů** nepatří mezi povinné údaje, které by automobilka musela předkládat při homologaci vozu, proto při nákupu vozidla určitě stojí za to, vybírat i podle tohoto kritéria. Je asi jasné, že na trh se vyloženě „nebezpečná“ auta dostat nemohou, ale i

malý rozdíl v bezpečnosti nám často může zachránit život. Úspěch snažení Euro NCAP v oblasti čelního a bočního nárazu by organizace nyní ráda zopakovala v problematice ochrany chodců.

Bodové rozsahy určují následující hodnocení: 1 hvězdička (1-8 bodů); 2 hvězdičky (9-16 bodů); 3 hvězdičky (17-24 bodů); 4 hvězdičky (25-32 bodů); 5 hvězdiček (33-40 bodů). Vozidlo, které dosáhne nejméně 33 bodů získá pátou hvězdičku.

Rozsah hodnocení je 5 hvězdiček namísto dřívějších 4. Bodové výsledky se také změnily, ideální výsledek je 34 místo 32. Tyto údaje budou použity v dalších testech. Pro možné porovnání s novými testy jsou přečíslována hodnocení minulých testů, takže je možné, že vůz, který měl např. hodnocení čtyřhvězdičkové, mohl klesnout mezi vozy tříhvězdičkové.
[5]

2.6.6 Zkušební Figuríny

Pro stanovení výsledků zkoušek bezpečnosti je nejdůležitějším kritériem riziko poranění posádky. Poranění může vzniknout kontaktem osoby ve vozidle s částmi vozu, kontaktem člověka s pronikajícím tělesem (jiné vozidlo, strom, sloup) nebo účinkem velkých sil (zejména setrvačných), přetížení a tlaků. Protože se nárazové testy řadí mezi zkoušky extrémní, není během nich ve vozidle živý člověk. V minulosti se sice některé zkoušky prováděly s dobrovolníky, ale docházelo i k tragickým následkům. Své uplatnění našla také mrtvá těla. Skutečným přínosem bylo zavedení figurín.

Figuríny se skládají z kovové kostry potažené pryžovou vrstvou a uvnitř se nachází mnoho snímačů fyzikálních veličin. Pořízení takovéto figuríny není laciná záležitost, každá stojí více než 100 000 liber. Při testech Euro NCAP se používají různé figuríny jak pro čelní tak pro boční náraz. Hybrid III (obr. 12, str. 30) jsou označovány figuríny určené pro čelní náraz a Euro SID II (obr.12, str. 30) pro boční náraz - to v případě dospělých pasažérů. Na zadních sedadlech jsou figuríny dětských pasažérů odpovídající dětem ve věku 18 měsíců a 3 let.

Jako každé měřicí zařízení, tak i figuríny podléhají pravidelným certifikacím. V případě dospělých figurín je to po každých třech provedených nárazových zkouškách, kde nedošlo k poškození figuríny nebo překročení limitních hodnot např. HIC větší než 1000, u dětských je to po 6 nárazových testech.

obrázek 15 : Figuríny Hybrid III

Euro SID II



Zdroj : The official site of the european new car assessment programme [online]. c2005 [cit. 2008-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.euroncap.com/testprocedures.aspx>>

Hlava - Hlava je vyrobena z hliníkové slitiny a pokryta gumovou "kůží". Uvnitř jsou umístěny tři měřiče zrychlení a každý z nich poskytuje informace o tom, jaké síly působí na mozek při nárazu.

Krk - Obsahuje zařízení na měření ohybu a pnutí v šíji, když je hlava při nárazu vržena vpřed a vzad.

Paže - Paže neobsahují žádné přístroje a při nárazu se volně pohybují. Vážná poranění bývají neobvyklá a je obtížné poskytnout jim patřičnou ochranu.

Hrudník (čelní náraz) - Hybrid III má tři ocelová žebra vybavená snímači, které zaznamenávají namáhání hrudního koše při testování čelního nárazu. K výslednému "poranění" může dojít, jestliže tlaky (většinou od bezpečnostních pásů) působící na hrudník jsou příliš vysoké.

Hrudník (boční náraz) - Figurína určená pro testy bočního nárazu pojmenovaná EuroSID II má zcela jinou konstrukci hrudníku se třemi žebry určenými k měření deformace a rychlosti deformace.

Břicho - EuroSID-II je vybaven senzory, které zaznamenávají síly, jež by mohly způsobit poranění břicha.

Pánev - Další přístroje má EuroSID II umístěné v jeho pánevní oblasti. Ty slouží k zaznamenání bočního pohybu, který by mohl způsobit zlomeniny pánevní kosti či vymknutí kyčle.

Horní části nohou - U figuríny Hybrid III je tato část tvořena pánví, stehenní kostí (stehnem) a kolenem. Tlakové snímače ve stehenní kosti poskytují při testu čelního nárazu informace o všech částech, včetně kyčelního kloubu, který může utrpět zlomeninu nebo být vyklouben. Přístroj na kolenou měří síly přenášené skrze ně, obzvláště pokud narazí na spodní část přístrojové desky.

Dolní části nohou - Zařízení zabudované uvnitř nohou měří ohyb, smyk, tlak a pnutí, tj. síly které by mohly způsobit poranění holenní a lýtkové kosti.

Chodidla a kotníky - Odhad možnosti poranění chodidel a kotníků je založena na tom, jak moc je poškozen vůz a měřením deformací a posunů v pedálové oblasti. [8]

Na dummies, což je další možné označení těchto figurín, jsou kromě mnoha snímačů umístěny samolepící značky, sloužící jak ke statickému tak i dynamickému měření. Pro statické měření je většinou užito systému Tritop (kap. 3.1.1). Zkoumá se přesná poloha po usazení figuríny řidiče do vozu před provedením nárazového testu a také poloha po nárazu. K sledování dynamických pohybů slouží vysokorychlostní kamery (kap. 3.2.2). Ty sledují pohyb jednotlivých částí těla řidiče během nárazu a bezprostředně po něm.

3. Statické měření

Fotogrammetrie je vědní a technický obor o získávání spolehlivých informací o fyzických objektech a prostředí, zaznamenáváním, měřením a interpretací snímků.

Fotogrammetrií je také nazýván obor, zabývající se zjišťováním geometrických vlastností a polohou objektů a jejich změn z fotografických měřických snímků a obrazových záznamů. [19]

Statické měření je měření veličiny, jejíž hodnota se v průběhu měření nemění nebo se mění zanedbatelně. [19]

3.1 Bezkontaktní měření

3.1.1 Systém TRITOP

Systém Tritop je bezkontaktní optický měřicí systém pro měření přesných prostorových souřadnic bodů na objektu. Tento systém je nejčastěji používán při kontrole kvality a deformačních analýzách. Patří mezi systémy „optické digitalizace“ a je využíván pro statická měření.

Technické parametry

- velikost měřeného objektu : od 0,1 m,
- rozlišení fotoaparátu : 6 ÷ 12 Milionů pixelů (dle typu),
- možný rozsah teplot : -40 ÷ 120 °C,
- přenos snímků : PCMCIA card, bluetooth, bezdrátový přenos, atd.,
- přesnost : 0,02 mm ÷ 0,4 mm,
- cena : cca 80 000 euro. [30]

Základní rozdělení systému

TRITOP je určený pro základní měření 3D souřadnic diskrétních bodů a kontrastních linií. K měření se používají optické body (samolepící, magnetické, adaptéry). Nabízí se i možnost spolupráce se zařízením ATOS pro měření velkých objektů.

TRITOP CMM pracuje jako optické souřadnicové měřicí zařízení. Analyzuje pozice bodů, vektory, vzdálenosti, průměry, úhly, nastavené tolerance. Prokládá základní entity jako úsečka, rovina, kružnice, válec, koule, kužel. Nabízí možnosti 2D nebo 3D vizualizace. Možnost snadného porovnání odchylky od CAD dat (nominálních dat). Mezi další možnosti patří import dat v podobě ASCII tabulky (vektory bodů) nebo VDA/MDI (vektory bodů).

TRITOP Deformace měří, vyhodnocuje a zobrazuje statické zatížení objektu. V diskrétních bodech vyhodnocuje velikost a směr vektorů deformace. Pro každý stav zátěže vznikne samostatný projekt. Projekty jsou následně transformovány do společného souřadného systému. Nakonec jsou vypočteny deformace jednotlivých bodů, které jsou přímo znázorněny v digitální fotografii a výstupním protokolu. [7]

Přednosti systému

- vysoké rozlišení,
- mobilita,
- jednoduchost ovládání,
- téměř neomezené rozměry měřeného objektu,
- možnost měření měkkých nebo teplých materiálů.

Potřebný hardware a software

- digitální fotoaparát s příslušenstvím,
- paměťové medium (pro následný přenos dat do PC),
- blesk pro optimální nasvícení měřeného objektu,
- kódované referenční body,
- nekódované referenční body,
- kalibrační tyče,
- PC nebo notebook požadovaných parametrů,
- software Tritop pro vyhodnocení a analýzu snímků.

obrázek 16 : 6 Mpix fotoaparát s bleskem



Zdroj : Uživatelská příručka, GOM International AG

obrázek 17 : Kalibrační tyče a referenční body



Zdroj: Uživatelská příručka, GOM International AG

Zásady práce se systémem Tritop

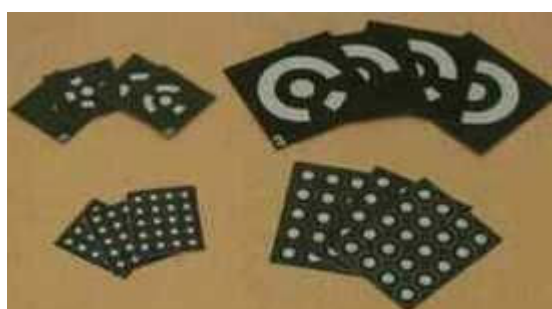
Systém Tritop je přenosný, snadno ovladatelný optický systém. Při práci s ním je nutné dodržet několik nutných podmínek. A to především kvůli přesnému určení souřadnic referenčních bodů.

- Na každém snímku musí být viditelných nejméně pět kódovaných referenčních bodů. Systém vyžaduje nejméně tento počet pro přesné určení polohy fotoaparátu. Je vhodné umístit na měřený objekt, případně do jeho okolí, co nejvíce kódovaných referenčních bodů. Pro každé měření je vypracován protokol, podle kterého se body umísťují.
- Aby mohl být referenční bod identifikován, musí mít minimální průměr 10 pixelů. Bod má na snímku tvar elipsy.
- Při vytváření snímku je nutná výrobcem předepsaná expozice. Systém identifikuje body na základě přechodů barev černé a bílé.
- Každý bod musí být viditelný nejméně na třech snímcích, aby jej mohl systém správně určit.
- Při vytváření snímků se nesmí měnit nastavení fotoaparátu – nastavení světelné clony, citlivost, ohnisková vzdálenost a především zaostření.
- Základní snímky se vyfotografují z centrální pozice, jsou postupně pootočené o 90° okolo optické osy měřeného objektu.
- Celá sada se skládá z mnoha překrývajících se snímků. Jednotlivé snímky se vytvářejí rotací okolo optické osy objektu ve směru hodinových ručiček. Na každém snímku by měla být vidět část předchozího snímku pro jejich následné sloučení. (obr. 19, str. 36)

- Snímky se pořizují v různých hladinách, zpravidla ve třech. Přesný postup závisí na velikosti měřeného objektu.
- Vnesení definovaných rozměrů do snímků zajistíme použitím kalibračních tyčí.
- Tyče je třeba vhodně umístit vzhledem k měřenému objektu. Ideální je používat tyče stejné délky jako jsou rozměry objektu. Používají se většinou 2 tyče, které jsou umístěny tak, aby jejich roviny byly navzájem kolmé.

Nejdůležitějším faktorem při měření je viditelnost kódovaných i nekódovaných referenčních bodů (obr. 18). [9]

obrázek 18 : Body používané při měření



Zdroj : *Robo hyperlink* [online]. 2002 [cit. 2008-05-19]. Dostupný z WWW: <http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main05.html>

Měření se systémem Tritop

Před samotným měřením je třeba připravit fotoaparát a provést kalibrační snímky. Nutné je také nastavit clony fotoaparátu. Ta je určena výrobcem vzhledem k vzdálenosti fotoaparátu a měřeného objektu. Dále je nutné vybrat kalibrační tyč pro určení měřítka. Ideální by bylo, aby tyč byla stejně dlouhá jako měřený objekt a byla spolu s objektem na všech snímcích. Toho při měření celých vozidel nelze dosáhnout, používá se tedy skládací metoda. Spočívá ve zhotovení překrývajících se snímků jednotlivých částí vozidla a jejich následném složení. (obr. 21, str. 37)

Na měření je také nutno připravit měřený objekt. Zafixovat ho v ustálené poloze, během měření s ním nehýbat. Zkontrolovat kódované i nekódované body, jejich vhodné umístění a neporušenost. Dojde-li k poškození některé ze značek (např. při nárazové zkoušce), je nutno daný bod nahradit jiným, který systém rozpozná.

Po přípravě fotoaparátu do pracovního režimu zhotovíme nejprve 4 kalibrační snímky pro výpočet optického zkreslení objektivu.

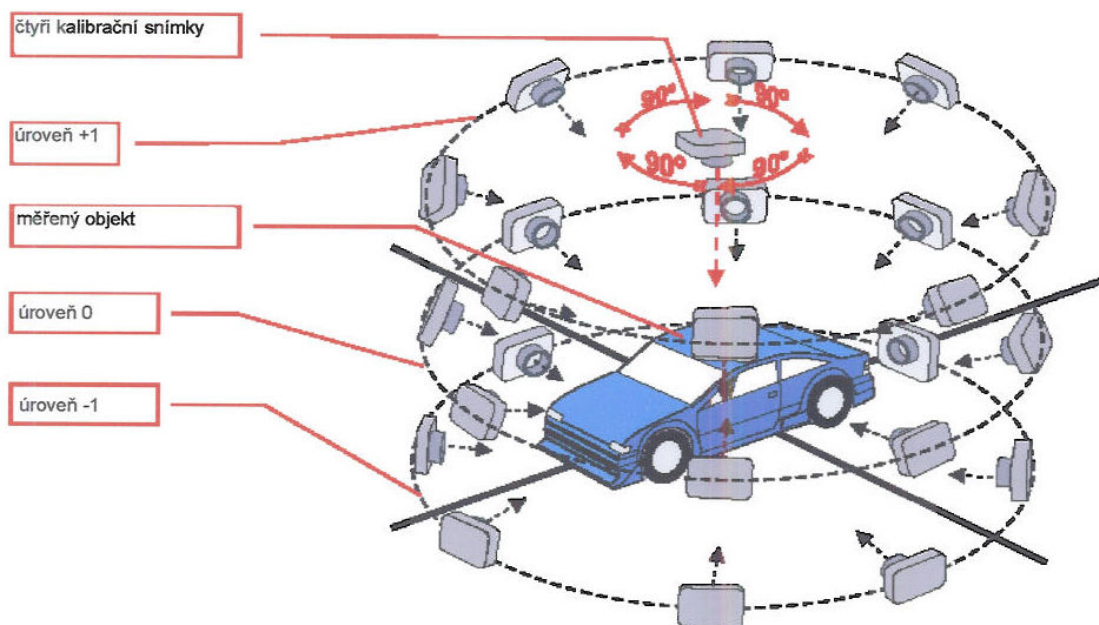
Následující snímky se obvykle pořizují ve třech hladinách, podle již zmíněných pravidel (obr. 19, str. 36). Na každém snímku musí být nejméně pět kódovaných

referenčních bodů a zároveň každý nekódovaný referenční bod musí být minimálně na třech snímcích (v celém měřicím projektu).

Při měření 3D objektu (obr. 20) je zvláště důležité, aby pro následnou tvorbu datového modelu byly na snímcích dobře viditelné navazující plochy. Při snímání velkých 3D objektů je nutné přizpůsobit velikost referenčních bodů velikosti objektu. Objekt se fotografuje po částech – metoda skládání (obr. 21, str. 37).[9]

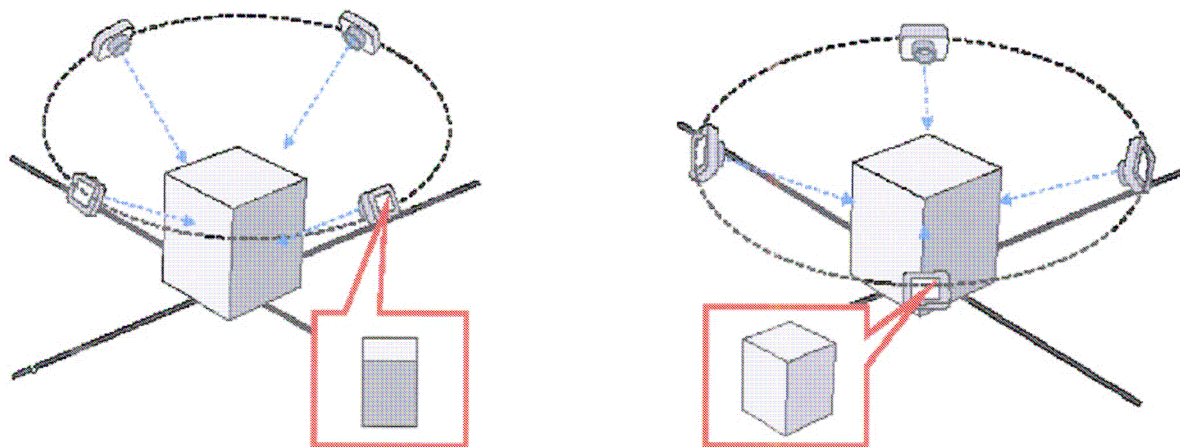
Postup je patrný z následujících obrázků.

obrázek 19 : Pohyb fotoaparátu při měření



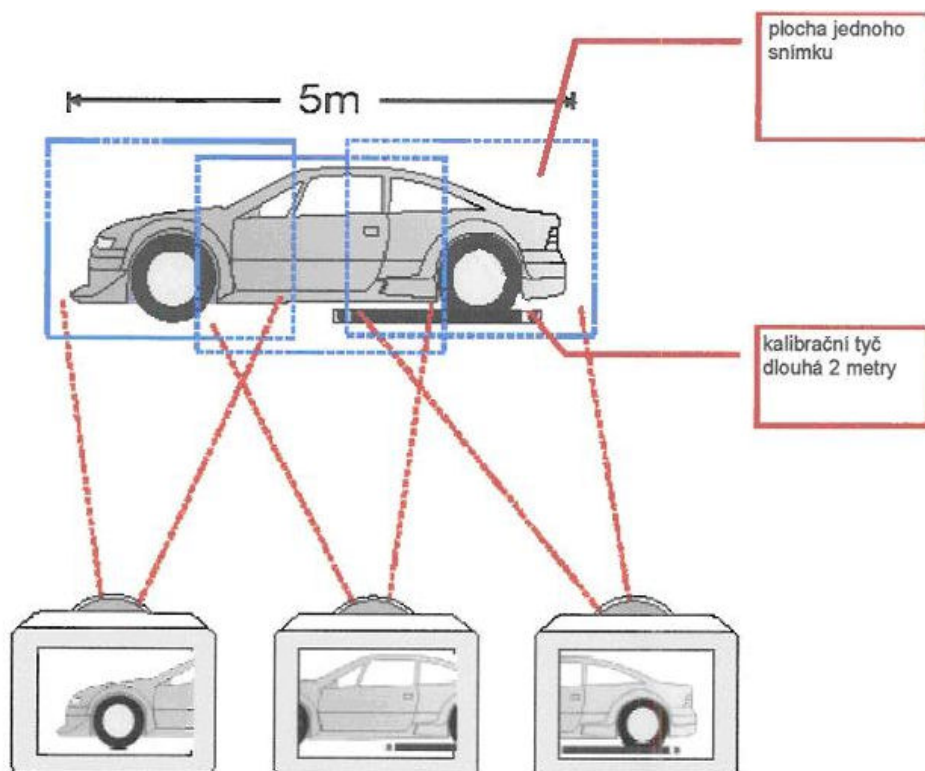
Zdroj: Uživatelská příručka, GOM International AG

obrázek 20 : Postup při snímání 3D objektu



Zdroj: Uživatelská příručka, GOM International AG

obrázek 21 : Metoda skládání

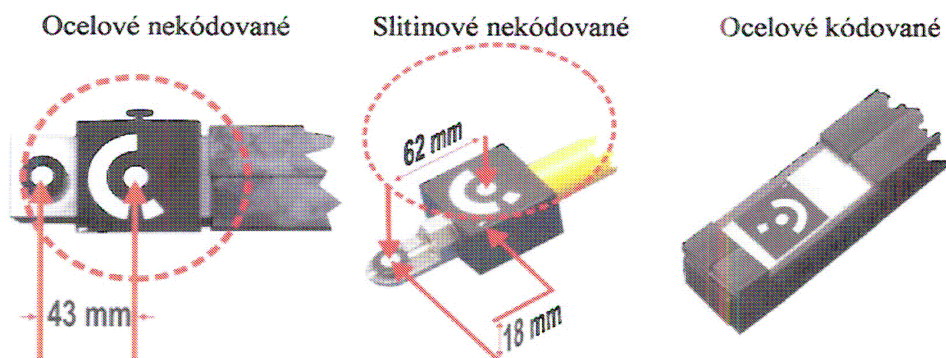


Zdroj: Uživatelská příručka, GOM International AG

Kalibrační tyče

Výběr kalibrační tyče, její velikost, závisí na rozměrech měřeného objektu. Kalibrační tyče se dělí na kódované a nekódované. Na tyčích je definovaná délka mezi body. Čísla kalibračních tyčí a vzdálenost bodů jsou jedny z klíčových údajů, které jsou zadávány do aplikačního softwaru Tritop. Ten si automaticky dokáže vyhledat danou tyč, pomocí definované vzdálenosti mezi body na tyči určí ostatní rozměry na měřeném objektu.

obrázek 22: Kalibrační tyče



Zdroj : Uživatelská příručka, GOM International AG

Kódované referenční body – jsou používány k identifikaci jednotlivých snímků a automatickému určování polohy fotoaparátu. Při měření je vhodné, aby každý snímek obsahoval tolik kódovaných bodů, kolik je jen možné, minimálně však pět. Systém Tritop pracuje se sadami bodů o velikosti 100kusů (10bitové), 300kusů (12bitové), 429kusů (15bitové). Sadou 100 je myšleno sada sta referenčních bodů, které jsou definovány čísla od 0 do 99. Při používání více sad je důležité, aby se vzájemně nepomíchali a stejný bod nebyl použit dvakrát. Systém není schopen rozpoznat více použitých sad najednou.

Výstupy z měření

- 3D souřadnice diskretních bodů,
- řezy,
- obrysové křivky,
- grafický a textový protokol o měření (HTML, ASCII).

Oblasti využití měřených dat

- kontrola kvality (Quality Control),
- reverzní inženýrství (Reverse Engineering),
- deformační analýzy,
- spolupráce se systémem ATOS pro měření velkých objektů. [7]

3.1.2 Systém ATOS – optické skenery

ATOS (Advanced Topometric Sensor) je mobilní bezdotykový optický 3D skener firmy GOM určený pro nejrůznější aplikace. Jeho vysoká výkonnost, velké rozlišení a široká flexibilita měřících objemů umožňuje přesnou a efektivní kontrolu kvality výroby (Quality Control) a ukládání optimalizovaných dat z design aplikací. Nejširší využití systému ATOS je v oblastech CAD, CAM a FEM kde je vyžadováno měření reálných objektů a jejich následné srovnání s matematickým modelem. Systémy ATOS mohou být doplněny o počítačem řízený rotační stůl, což je vhodné pro opakovaná měření stejných dílů. V modelové řadě je k dispozici i počítačem řízený průmyslový robot. Tento systém se používá pro statické měření, patří do skupiny „optické digitalizace“.[6]

Technické parametry (Atos II)

- měřené body : 1 400 000
- čas expozice : 1s
- měřící rozsah : 175 x 140 mm ÷ 2000 x 1600 mm
- vzdálenost mezi body : 0,12 mm ÷ 1,4 mm
- cena : cca 120 000 euro [6]

Základní rozdělení systémů ATOS

ATOS I je určený pro základní aplikace nevyžadující příliš vysokou přesnost a kvalitu výstupních dat. Rozlišení CCD čipu je v tomto případě 800 000 bodů na 1 záběr. Maximální měřící rozsah je 1000x800 mm při rozlišení 1 bod na 1 mm.

ATOS II má oproti systému ATOS I vyšší rozlišení CCD čipu (1 400 000 bodů na 1 záběr), přesnější projekční jednotku, laserové odměřování vzdálenosti skeneru od objektu a robustnější design. Maximální měřící objem je 2000x16000 mm. ATOS II má široký rozsah využití i v náročných aplikacích.

ATOS IIe je systém s vlastnostmi systému ATOS II, ale s výkonným zdrojem světla ze systému ATOS III.

ATOS III je nejvyšším systémem s rozlišením CCD čipu 4 000 000 bodů na 1 záběr. Oproti systému ATOS II má kvalitnější optické prvky a výkonnější zdroj světla. Maximální měřící objem je 2000x2000 mm. Je určen pro nejnáročnější aplikace jako například měření velkých dílů s malými detaily na povrchu.

ATOS SO je speciálně upravený systém pro měření malých dílů. Nejmenší měřící objem (30x30mm) je u systému ATOS SO 4M, který tak dosahuje maximálního rozlišení 66 bodů na 1mm.

ATOS XL je kombinace systému ATOS se systémem TRITOP. Hlavním přínosem kombinace těchto dvou systémů je zvýšení celkové přesnosti měření. Další výhody jsou prakticky neomezená velikost měřeného objektu, komfortnější měření nebo možnost získání barevné textury měřeného povrchu. [6]

obrázek 23 : Atos I, Atos I SO



Zdroj : *MCAE Systems* [online]. 2008 [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.mcae.cz/ATOS_Configuration_CS.html>

obrázek 24 : Atos II SO, Atos II



Zdroj : *MCAE Systems* [online]. 2008 [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.mcae.cz/ATOS_Configuration_CS.html>

Přednosti systému

- flexibilita,
- vysoké rozlišení (až 66 bodů na 1mm),
- mobilita (systém lze převážet v osobním automobilu),
- jednoduchost ovládání (automatický přepočít transformací),
- velikost měřeného objektu je prakticky neomezená,
- po úpravě povrchu lze měřit i lesklé a průhledné objekty (nutné zmatnění povrchu),
- lze měřit i měkké a křehké materiály.

Potřebný hardware a software

- jeden z modelů systému ATOS,
- stojan na upevnění hlavy,
- Výrobce doporučený PC,
- software pro vyhodnocení a analýzu. [6]

obrázek 25 : Stojany Aslai a Arobi



Zdroj : Uživatelská příručka, GOM International AG

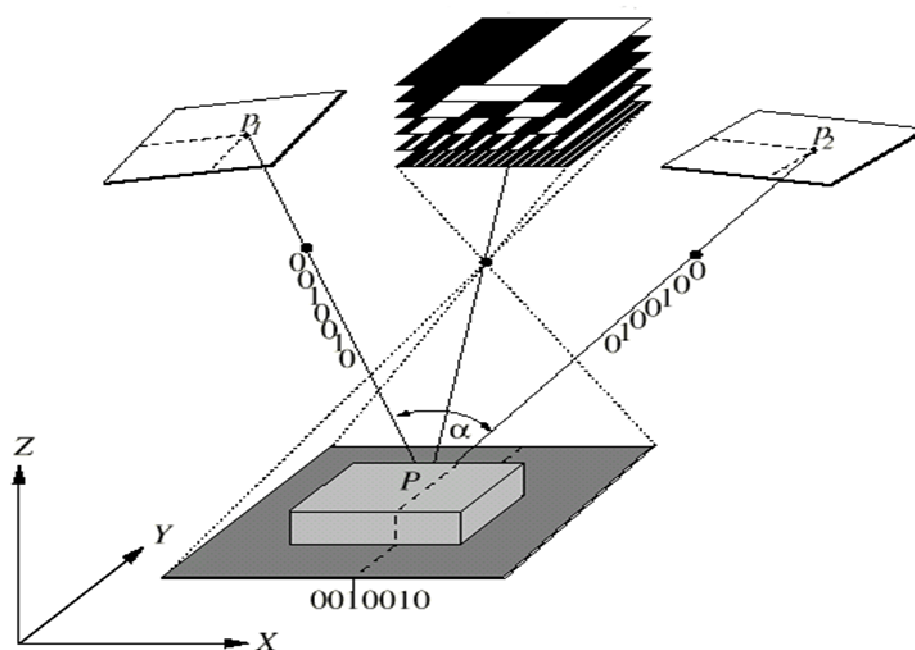
Proces měření

Jedním z prvních kroků před každým měření spočívá v přípravě modelu a jeho okolí. Pro následnou práci je nežádoucí přímé, ostré světlo. Lepší měřicí podmínky poskytuje spíše šero. Určitou roli hraje i barva skenovaného objektu. Povrch problematických barev (černá) lze poprášit slabou vrstvou křídý ve spreji. Tu je možné po měření celkem lehce odstranit.

Proces měření je založen na principech optické triangulace a fotogrammetrii. Na povrch objektu jsou promítány pruhy světla, které jsou snímány pomocí dvou kamer s CCD čipem. Software z těchto záběrů vypočítá prostorové souřadnice jednotlivých bodů a automaticky skládá jednotlivé záběry do jednoho celku. Skládání je realizováno pomocí referenčních značek umístěných na objektu nebo mimo něj.

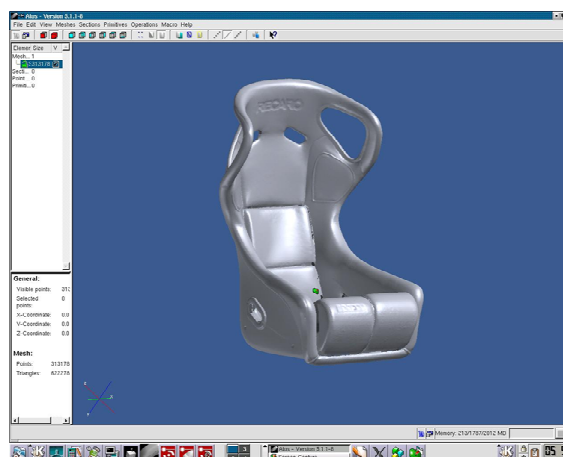
Při skenování velkého objektu lze pohybovat skenerem i měřeným objektem, systém se orientuje pomocí značených bodů umístěných na objektu. Přesnost měření je závislá na velikosti skenovaného tělesa, standardně se pohybuje v řádech desetin milimetrů. Pořízení jednoho snímku trvá přibližně 8 sekund. [6]

obrázek 26 : Princip snímání systému Atos



Zdroj : Optické metody měření 3D objektů. *Elektrorevue* [online]. 2005, č. 23 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html>>

obrázek 27: Focení tritopem a naskenovaný model pomocí Atosu

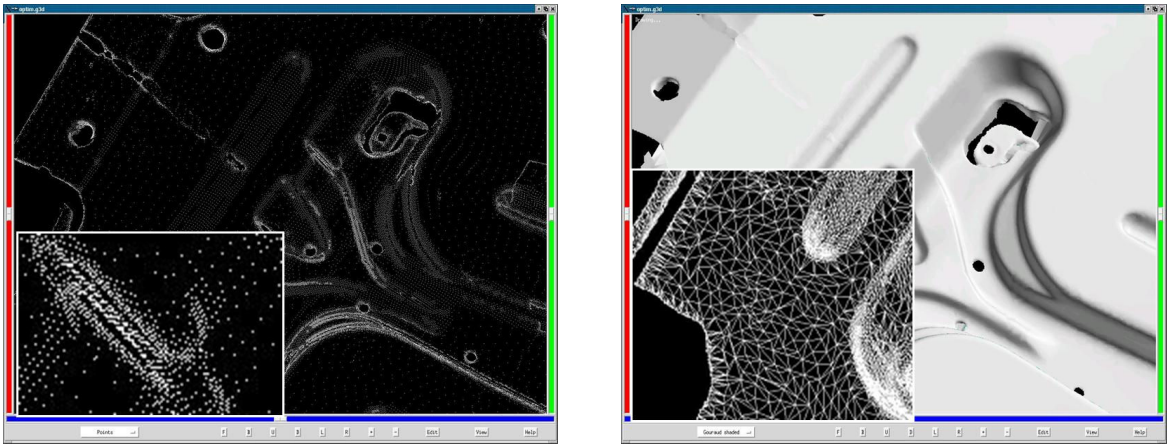


Zdroj: Interní materiály ŠKODA AUTO a.s.

Výstupy z digitalizace

- optimalizovaná polygonální síť (STL),
- mrak bodů,
- řezy,
- obrysové a kontrastní křivky,
- barevná mapy odchylek od CAD modelu,
- protokol měření (HTML, Word, PDF).

obrázek 28: Mračno bodů, polygonizované mračno bodů



Zdroj : Interní materiály Škoda Auto a.s.

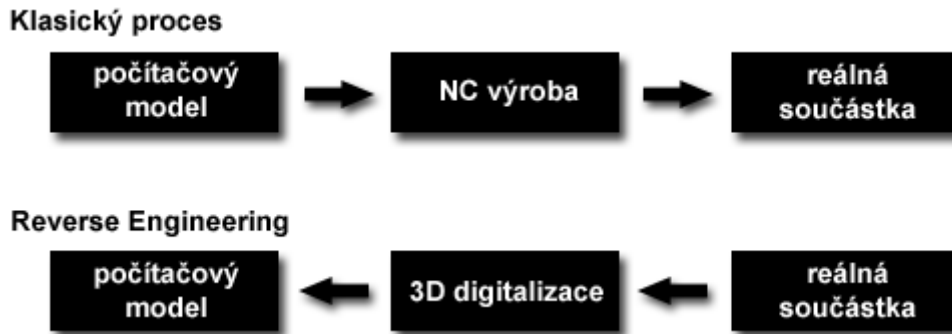
Oblasti využití digitalizovaných dat

- kontrola kvality (Quality Control),
- reverzní inženýrství (Reverse Engineering),
- rychlá výroba prototypů (Rapid Prototyping),
- virtuální realita (Virtual Reality),
- přímé obrábění (Direct Milling),
- simulace vstřikování plastů (Simulation of Injection Molding),
- simulace tažení plechu (Simulation of Sheet Metal Forming). [6]

3.1.3 Reverse Engineering

Klasický strojírenský proces vychází z CAD modelu a končí výrobou součástky. Proces Reverse Engineering je přesně opačný - na začátku je reálná součástka a ta se převádí do digitální podoby.

obrázek 29 : Porovnání procesů



Zdroj : *Robo hyperlink* [online]. 2002 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/re-teorie/main03.html>>

Fáze převodu reálné součásti do digitální podoby se nazývá 3D digitalizace, nebo také měření či skenování, a zařízení k tomu potřebné 3D skener, 3D měřicí zařízení nebo digitalizér. Počítačový model může mít v tomto případě několik podob:

- mrak bodů,
- mrak bodů - řezy v požadovaných místech,
- 3D křivky v požadovaných místech,
- polygonální model,
- plošný model - Rapid Surfaces,
- plošný model - Technical Surfaces,
- plošný model - High-Quality Surfaces,
- plošný model - Class A Surfaces.

Jednotlivé typy plošných modelů se od sebe liší přesností, hladkostí a napojením ploch. V praxi jsou nejčastěji požadovány polygonální modely a plošné modely v kvalitě Technical Surfaces (tečné napojení, odchylka od mraku bodů 0,15mm).

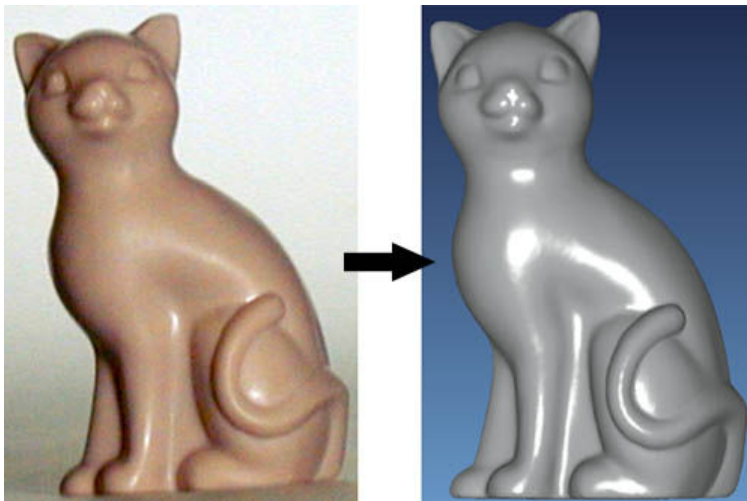
Oblasti využití

Původním cílem procesu Reverse Engineering bylo přenesení reálného modelu designéra do digitální podoby. S postupem času se objevovaly další aplikace pro Reverse Engineering, a to nejen ve strojírenství, ale také např. ve výzkumu historických objektů nebo ve vývoji počítačových her. Teoretických možností využití procesu Reverse Engineering je spousta, ale v praxi je to trochu jinak. Hlavním problémem je cena 3D skenerů a specializovaného softwaru, v obou případech jde totiž řádově o stovky tisíc až miliony korun. Z tohoto důvodu může být výhodnější využít služeb některé z firem, které se touto činností zabývají.

Design

Reverse Engineering je velkým přínosem zejména pro designéry, kteří vytvářejí reálné modely z modelovací hlíny, dřeva, PUR pěn nebo jiného materiálu. I přesto, že v době počítačů se takové navrhování designu může zdát zastaralé, je v mnoha případech efektivnější než počítačové modelování (designér se nemusí zabývat nastavováním parametrů v softwaru a může se soustředit pouze na designovou práci). Počítačový model je zde většinou požadován v podobě plošného modelu s charakteristikou High-Quality Surfaces nebo u složitých tvarů vyhlazený polygonální model.

obrázek 30 : Digitalizace modelu



Zdroj : *Robo hyperlink* [online]. 2002 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/re-teorie/main03.html>>

Své uplatnění nachází reverse engineering i v mnoha jiných oblastech. Nejpoužívanější je například aktualizace CAD modelu, softwarová analýza, zástavba jednotlivých dílů, rychlá výroba modelu metodami Rapid Prototyping.

3.2 Kontaktní měření

Dotykové skenery se používají s ručním nebo strojovým polohováním měřicího hrotu. První typ je vhodný pro rychlé přenesení měření základních designových rysů objektu s přesností řádově v desetinách milimetru. Zařízení jsou mobilní a relativně levné. Tyto zařízení vyrábí například Faro nebo Microscibe. Druhým typem dotykových skenerů jsou CMM (Control Measure Machine) nebo také frézky s dotykovou sondou. CMM se standardně používají pro přesnou kontrolu rozměrů výrobků, ale lze je také využít pro digitalizaci. Data jsou získávána s velkou přesností (řádově v tisícinách milimetru). Kromě toho, že systémy CMM nejsou mobilní (obr. 35, str. 51), jsou dalšími nevýhodami velká časová náročnost digitalizace, řídký sken a vysoké pořizovací náklady.

3.2.1 Systém FARO

Systém Faro Quantum je mobilní systém pro kontaktní měření statických bodů. Výrobce tohoto zařízení je firma FARO Technologies Inc. Princip zařízení je založen na snímání povrchu objektu v diskrétních bodech, z čehož vyplývá, že z digitalizovaný objekt je v počítači prezentován jako velký počet bodů v prostoru.

Technické parametry

- přesnost : 0,005 mm,
- měřicí rozsah : okruh 3,65 m,
- délka ramene : 2,5 m,
- cena : cca 40 000 euro. [10]

Přednosti systému

- mobilita (systém lze převážet v osobním automobilu),
- jednoduchost ovládání,
- skladnost zařízení,
- opakovatelné měření,
- relativně rychlé získání výsledků.

Potřebný hardware a software

- měřicí zařízení Faro,
- stativ pro upevnění zařízení,
- PC nebo notebook,
- software pro vyhodnocení a analýzu.

obrázek 31: Faro Quantum



- 1 – měřicí sonda se zabudovaným teploměrem
- 2 – upevňovací matice
- 3 – ergonomické držadlo
- 4 – teplotní kompenzace
- 5 – snímače mechanického napětí

Zdroj : FARO [online]. c2007 [cit. 2008-04-22]. Dostupný z WWW:
<<http://www.faro.com/quantum/en/features.html>>

Proces měření

System se skládá ze základny, která je upevněná na stativu nebo na desce, dvoudílného ramena a ergonomického držadla, na jehož konci se nachází měřicí sonda. Nedaleko sondy je zabudován teploměr pro kontrolu teploty během měření. V ramenech jsou umístěny senzory pro kontrolu mechanického napětí.

Pohyblivé členy přístroje FARO používají optické senzory, které přesně snímají polohu těchto členů a vypočítávají souřadnice měřeného bodu. System je možné velmi snadno nastavit a použít pro různé 3D aplikace. Mechanická ruka je pečlivě vyvážená, aby s ní bylo možné snadno manipulovat. Faro pracuje s fyzickými objekty jakéhokoliv tvaru, rozměru a materiálu. Zařízení se připojuje k počítači pomocí sériového nebo USB portu.

Výstupy z digitalizace

- mrak bodů,
- řezy,
- obrysové a kontrastní křivky,
- odchylky od CAD modelu,
- protokol měření. [10]

3.3 Analýza statických měření

Pro porovnání jednotlivých druhů měření může sloužit mnoho kritérií a parametrů dle dalšího použití dat, časové nebo finanční náročnosti.

Metody statické slouží k měření a určování nepohybujících se, ustálených dějů. Jejich využití je možné k optické digitalizaci povrchů, porovnávání skutečného stavu dílu s CAD daty nebo ke zjišťování změn dynamických jevů, jako jsou nárazové zkoušky. U statických jevů můžeme porovnávat pouze počáteční stav před zkouškou a konečnou podobu deformovaného vozidla po zkoušce.

Příprava měření

Pod pojmem příprava měření si lze představit všechen čas, který je nezbytně nutný k provedení všech úkonů, bez nichž by měření nemohlo proběhnout.

Tritop - zde časová náročnost není velká, naopak je ze všech tří uvedených metod nejkratší. Toto zařízení vyniká velkou mobilitou. K samotnému měření je zapotřebí fotoaparát s bleskem a paměťovou kartou. Pro kontrolu dostatečného počtu a kvality snímků je vhodné použití počítače nebo notebooku. Obsluhu i manipulaci zvládne jeden proškolený technik. Ten může zhruba 15 minut po příjezdu na místo začít měření. Fotoaparát je třeba pouze vhodně nastavit, před měřením provést kalibrační snímky. Další kalibrace ani změna nastavení během měření se neprovádí. Samotné měření můžeme realizovat, pokud je vozidlo opatřeno body, které jsou pro měření nezbytné. V případě prvního měření je nutné rozmístit kódované i nekódované body podle předem stanoveného postupu. Kódované body jsou opatřeny čísly, na každou část vozidla se používá jiná série bodů (obr. 32, str. 49). Rozmístění je systematické. Např. pro boční náraz je vzdálenost mezi body v ploše je 150 mm, body jsou v šesti přesně odměřených liniích, každá má svůj přesný název. Vzdálenosti na zakřiveních a hranách jsou různé podle typu zkoušky nebo požadavků na zkoumané místo. V případě bočního nárazu začíná lepení bodu v horním rohu předních dveří, dále se postupuje po předkreslených čarách ve zmiňované vzdálenosti 150 mm (obr.32, str. 49). Snahou je nalepit střed bodu co nejpřesněji do narýsovaného středu.

Vzhledem k tomu, že další měření bude prováděno po nárazové zkoušce, během níž bude automobil deformován, je nezbytně nutné vhodně umístit transformační body (obr. 34, str. 50). Tyto body je třeba situovat na místo, kde jsou předpokládány nulové nebo minimální deformace. V případě bočního nárazu se tyto body umísťují na opačnou stranu

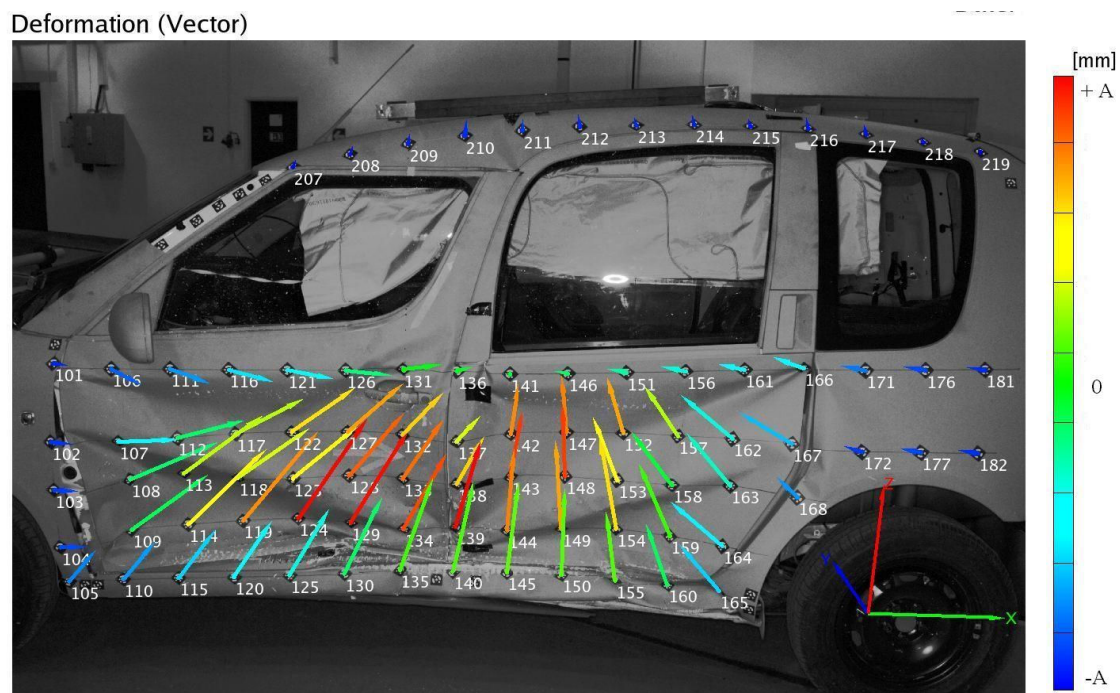
auta, než je strana nárazu. Transformační body slouží k následnému „svázání“ obou měření – před a po zkoušce. Tím můžeme porovnávat polohy jednotlivých bodů a zkoumat posunutí.

obrázek 32 : Rozmístění bodů na boku vozu



Zdroj : Interní materiály Škoda Auto a.s.

obrázek 33 : Doplnující body v deformovaných místech



Zdroj : Interní materiály Škoda Auto a.s.

obrázek 34 : Transformační body



Zdroj : Interní materiály Škoda Auto a.s.

Atos - Příprava systému Atos není o mnoho náročnější. Oproti Tritopu je zařízení rozměrnější, takže manipulace je pro jednoho člověka složitější. Zařízení je mobilní, ale jen do určité míry. Když pomineme okolní podmínky pro měření, mobilitu omezuje stativ, na kterém jsou upevněny kamery a projektor. Stojan je rozměrný a těžký, v jeho spodní části jsou malá kolečka pro snadnější manipulaci. Pohyb je možný pouze po zpevněném a rovném povrchu. Kromě stojanu s projektorem a kamerami je k funkci nezbytný PC a zdroj napětí pro jejich provoz. Využití tedy tento systém nachází hlavně v uzavřených prostorech, většinou na jednom pracovišti, kde nedochází k častým přesunům zařízení. Před měřením je nutné spustit kalibraci stroje. V případě snímání velkých objektů (celý automobil) je možná spolupráce se systémem Tritop. Tento způsob je náročnější, protože vlastně zahrnuje měření dvěma systémy.

Kontaktní měření - Jednou z dalších možností je měření pomocí dotykové sondy. Pro měření jednotlivých dílů nebo částí automobilů lze využít mobilních zařízení. V případě snímání bodů po celém voze je vhodnější použít CCM (Control Measure Machine). Tyto zařízení však nejsou mobilní, tudíž je nutné dopravit měřený objekt k nim, což představuje další časové i finanční nároky (obr. 35, str. 51). Pro porovnání uvažujme uvedenou mobilní 3D dotykovou sondu Faro (obr. 31, str. 47). Její obsluhu a přepravu zvládne jeden člověk, časová příprava je zhruba 2 x delší než u systému Tritop. Po rozložení systému do pracovní polohy je nutné provést kalibraci.

Kalibrace je nutná pro dodržení určité přesnosti měření. Po ní následuje ustavení dílu, případně celého vozu např. pomocí RPS bodů. Poté je možné provést samotné měření.

S automobilem nesmí být během celého měření pohybováno, musí být zajištěna jeho stálá poloha, stejně jako u předchozích měření.

obrázek 35 : Měřicí zařízení Zett-mess



Zdroj : *Hoffmann s.r.o* [online]. 2001-2006 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.kovovyroba-hoffmann.cz/images/merici-01.jpg>>

Proces měření

Tritop - v praxi se systém používá pro zjišťování deformací po nárazových zkouškách, nebo ve spolupráci se systémem Atos pro získání dat z modelů ve fázi vývoje. Pro zjišťování deformací při crash testech je nutné provést dvě měření. První probíhá před testem, kdy je automobil kompletní a nepoškozený (obr. 32, str. 49), druhé je realizováno po zkoušce. Před prvním měřením proběhne nastavení fotoaparátu, rozmístění bodů a kalibračních tyčí. Poté je možné provést samotné měření. Po dokončení snímání je vhodné fotografie zkontrolovat v počítači. Kontrola je nutná kvůli zjištění přítomnosti bodů v minimálním nutném počtu, aby bylo následně možno provést porovnání s pozicemi bodů po zkoušce. Před druhým měřením, po nárazové zkoušce musí technik vozidlo, respektive kódované body a značky očistit, poškozené nahradit jinými. U poškozených značek se volí náhrada jejich středu, který se co nejpřesněji přelepí. Tento postup je možný pouze u velkých deformací, kde má vnesená chyba přelepením značky minimální vliv na celkovou chybu měření. U malých deformací tento postup možný není. Měření se provádí stejným postupem jako před zkouškou (obr.33, str. 49).

Tento systém není ovlivňován okolními podmínkami, jako je nedostatek světla, nepřízeň počasí nebo dosažitelný zdroj elektrické energie. Na fotoaparátu je připevněn blesk, který zajišťuje dostatečné osvětlení snímaného místa. Vlastní měření je rychlé, časová náročnost se odvíjí od rozměrů měřeného objektu, případně od dostupnosti bodů. Po ukončení měření se snímky z paměťové karty fotoaparátu přenesou do počítače, pak následuje vyhodnocení, tzv. postprocessing.

Atos - je to automatický systém optické digitalizace. V případě potřeby spolupracuje se systémem Tritop. Spolupráce je nutná při měření větších objektů, při kterém je nutné přemísťovat stojan s kamerami. Při měření malých objektů nebo jednotlivých dílů automobilu je systém schopen pracovat samostatně.

V praxi se používá k optické digitalizaci, což znamená, že z hmotného modelu lze pomocí toho zařízení získat počítačový model – data v elektronické podobě. Je tedy možné snímat celé plochy, získáme mračno bodů (obr. 28, str. 43), které je následně třeba polygonizovat nebo jinak vyhladit. Výstupem je většinou soubor ve formátu, který je kompatibilní s konstrukčními softwary např. catia.

Nevýhodou při použití této metody je vyšší náročnost jak na samotné měření, tak na objekt. Při scannování je nutné pracovat v šeru. Výhodnější je tedy používat uzavřených prostorů. Scanner sleduje přímo povrch tělesa (automobilu) nejen značené body. Při snímání tmavého nebo metalického laku vznikají problémy se zachycením povrchu a s přesností. Řešením je sprej s tekutou křídou, která se nanese na měřený objekt. Znamená to ale nejen další úkony měřicího technika, ale i prodlevy časové s nanášením a mytím křídou. Vyšší časovou náročnost má Atos i na samotné měření.

obrázek 36 : Skenování systému Atos



Zdroj : *Robo hyperlink* [online]. 2002 [cit. 2008-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main05.html>>

Kontaktní měření - měření pomocí dotykové sondy (obr. 37), je realizováno pomocí jednoho nebo dvou ramen, které se pohubují ve všech třech osách. Hlavní rozdíl u této metody spočívá v nutnosti dopravit automobil k měřicímu zařízení v případě nemobilního zařízení. V předchozích dvou případech tomu bylo naopak. Systémy tohoto typu (CCM) jsou napevno zabudované, tudíž nemobilní (obr. 35, str. 51). Jejich součástí je rovná kovová deska, ke které se měřený objekt (automobil) připevní. Druhou možností je použití zařízení mobilní (Faro, Mikroscribe). Pro měření platí pro oba druhy strojů stejné zásady. Měření může probíhat automaticky, kdy stroj měří předem nadefinované body nebo je řízen obsluhou, měření pak probíhá manuálně. Pro automatické měření je nutné mít CAD data automobilu, v měřicím softwaru (např. metrolog) nadefinovat snímané body a dráhy stroje. Největším omezením pro toto měření je omezená dostupnost sondy. Jelikož se jedná o měření kontaktní, je nutné, aby měřicí kulička byla s daným bodem v přímém kontaktu, což je leckdy nemožné na vozidle nepoškozeném. Měření vozidla po nárazové zkoušce je ještě problematictější. Měřicí hlava s dotykovou sondou má určitý rozsah, několik možností délky dotykové sondy a předem nadefinované a nakalibrované doteky. Přesto nelze zaručit 100% měřitelnost všech potřebných bodů. Hustotu snímaných bodů lze nastavit, stále se ale jedná o jednotlivé body. Z těchto bodů je možné vytvořit síť. Toto měření vyniká velkou přesností, měření je náročné na čas a možnost změření všech potřebných bodů.

obrázek 37 : Měřicí sonda Renishaw



Zdroj : *Label Metal s.r.o* [online]. 2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://label-metal.cz/images/image-mereni3-v.jpg>>

Vyhodnocení

Tritop – pro vyhodnocení jsou obě měření vztažena k transformačním bodům, data jsou dále zpracovávána. Vyhodnocovat lze dle požadavků celkové posunutí – vektory (obr.33, str. 49) nebo posunutí v jednotlivých osách. Ze změřených bodů lze vytvořit síť, která tvarem i barvou vystihuje posunutí bodů. Zkoumat je možné pouze body, které byly změřeny. V případě, že technik během vyhodnocování zjistí, že některý ze zkoumaných bodů systém nemůže určit např. kvůli nedostatečnému počtu snímků, na kterých je bod vidět, je možné několik snímků dodělat. Ovšem toto platí za předpokladu, že s automobilem nebylo dále manipulováno (otevření dveří, sundání kapot apod.). Postprocessing je časově zhruba 3 ÷ 4x náročnější oproti samotnému měření. Systém není zcela automatický, tudíž je na měřícím technikovi, aby zkontroloval správné přiřazení všech bodů, případně provedl korekce. Výsledkem vyhodnocení jsou reporty, ve kterých jsou jasně a přehledně výsledky prezentovány. Průměrné měření včetně přípravy před bočním nárazem na kúl trvá 3 ÷ 4 hodiny. Měření po nárazu je rychlejší, trvá přibližně 60 minut. Připočteme-li čas potřebný ke zpracování a vyhodnocení výsledků, stále je tento způsob velice operativní a je možné díky němu získat rychle potřebné výsledky s dostatečnou přesností, kdy se chyba pohybuje v řádu desetin milimetru.

Atos – v případě samostatné práce je automatický systém, takže snímané body přiřazuje sám (obr. 36, str. 52). Po provedeném měření se změřené mračno bodů v přiloženém softwaru vyhladí, utvoří se plochy. Při měření velkých objektů je práce náročnější, jak již bylo zmíněno. Vyhodnocení není zcela automatické, měřící technik postupuje obdobně jako u Tritopu. Je nutné kontrolovat správné přiřazení jednotlivých bodů a jejich viditelnost na snímcích. Po složení všech měření dohromady a následném vyhlazení jsou výstupem data ve 3D rozměru. Mezi výhody systému patří například fakt, že se jedná o bezkontaktní metodu. Nezáleží tedy na povrchu objektu, zda-li je měkký, křehký nebo jinak náchylný. Význam nabývá tato skutečnost při zrodu automobilu, kdy je třeba z hmotného modelu získávat počítačová data. Měřený model dokonce nemusí být ve skutečném měřítku, stačí zmenšený, ze kterého je systém Atos schopen zhotovit matematický model ve skutečném měřítku.

Nevýhodou je značná časová náročnost. Zhotovení jednoho snímku trvá přibližně 8s, takže při využití systému Atos na měření deformace po nárazové zkoušce, kdy by byla získána kompletní plocha celého dílu by znamenalo prodloužení doby získání výsledků na 4 ÷ 5ti násobek. Pro posouzení deformací stačí změřit vhodně umístěné body, měření ploch v tomto případě není třeba.

Kontaktní měření - tento systém podobně jako Tritop měří a porovnává pouze jednotlivé body, u kterých vyhodnotí posunutí v jednotlivých osách i celkové vychýlení (vektorové). V případě porovnání měření s CAD daty, je možné vidět naměřené hodnoty již během procesu měření. Vyhodnocení spočívá v kontrole bodů a jejich porovnání s datovým modelem. Výstupem jsou protokoly s uvedenými údaji o posunutí ve všech osách. Přesto, že toto zařízení vyniká velkou přesností, není kontaktní metoda pro tento účel nejvhodnější. Zařízení pracuje s určitou omezenou dostupností a hustota snímaných bodů je nízká. Při srovnatelném počtu bodů jako u měřicího systému Tritop by doba potřebná k měření vzrostla na 5 ÷ 6 násobek. Přesnost těchto zařízení je určuje spíše k měření modelů a zjišťování kvality povrchu. Při měření daných zkoušek postačuje přesnost v řádu desetin milimetru.

3.4 Vzájemné porovnání

Tritop – mobilní, kompaktní zařízení, které umožňuje měření statický jevů. Potřebné nástroje jsou kvalitní fotoaparát s bleskem, paměťové medium, kalibrační tyče, sady značek a počítač se softwarem k vyhodnocení. Systém je tedy velmi skladný, lze ho využívat v interiérech i exteriérech. Nepotřebuje zvláštní zdroje světla – má vlastní blesk. Možná spolupráce se systémem Atos je jedna z dalších výhod tohoto systému.

Pro měření je v případě užití Tritopu nutné dbát několika nezbytných pravidel, jako rozmístění a posloupnost jednotlivých značek, umístění kalibračních tyčí nebo dostatečný počet snímků pro vyhodnocení. Znamená to tedy, že práce s Tritopem vyžaduje určité znalosti a zkušenosti měřicího technika. Vyškolený personál je ovšem třeba pro jakékoliv měření, tudíž to nelze považovat za nevýhodu. Tritop umožňuje provádět různá měření exteriérů, interiérů, zkušebních figurín nebo jednotlivých dílů vozidel. Pro vyhodnocení nárazové zkoušky se provádějí dvě měření, obě v prostorách zkušebny provádějící testy. Měření je relativně rychlé, porovnáním obou měření lze získat relativní hodnoty, při ustavení vozu pomocí RPS bodů je možné zjistit i hodnoty absolutní. Pro hodnocení pomocí zařízení Atos by bylo nutné provést také dvě měření. Jelikož se ale jedná o měření téměř celého automobilu, musel by se použít i Tritop, se kterým Atos spolupracuje v případě měření velkých objektů. Znamenalo by to tedy provedení dvou měření. Výhodou by při použití Atosu byla možnost získat celé deformované plochy, což s Tritopem nelze. Ten měří pouze předem rozmístěné body. Systém Atos také udává lepší přesnost měření, což v tomto případě, stejně jako nasnímaná kompletní plocha, nebude využito. K posouzení posuvů a deformací je naprosto dostačující měření vytipovaných bodů. V případě nečekané

deformace v jiných místech lze před druhým měřením body doplnit. Tudíž jsou všechna potřebná místa zmapována a změřena s dostatečnou přesností. Velkou nevýhodou má Atos také v mobilitě a nutnosti dostupného napájení 230V. Měřicí zařízení Faro je oproti zmiňovaným systémům kontaktní metoda. Nemusí se tedy rozmísťovat a lepit značky, body se snímají kontaktem měřicí sondy s povrchem vozu. V případě dvou měření ovšem vzniká problém snímání bodů na stejných místech. I kdybychom zaručili stejnou polohu zařízení Faro a vozidla, k odměření bodů ve stejných místech dojde jen stěží. V případě zařízení, která umožňují předdefinování, bude systém hledat původní, nedeformovaný tvar karoserie, na kterém bylo provedeno první měření a nadefinovány body. V případě měření manuálního není technicky proveditelné trefit ten samý bod. Hlavní nevýhodou kontaktního měření je tedy porovnání pouze absolutních hodnot. Další záporem je bezesporu velká časová náročnost vzhledem k počtu měřených bodů. V neposlední řadě je Faro omezeno dosahem „ruky“. Při snímání bodů z celého automobilu by přístroj musel být několikrát přestaven. Systém Tritop tedy i přes větší pořizovací náklady vychází jako nejlepší volba k měření a vyhodnocování statických veličin.

4 Dynamické měření

je měření okamžité hodnoty veličiny nebo určení průměrné hodnoty veličiny v krátkém časovém intervalu nebo určení časové změny veličiny. [19]

Pro popis činnosti, parametrů a následné porovnání případů v úvahu zařízení Pontos HS a software FalCon napojený na vysokorychlostní kamery Redlake.

4.1 Systém Pontos HS

Pontos HS je mobilní optický systém pro dynamické měření pohybu diskrétních bodů, vibrací a deformací. Výrobce tohoto zařízení je firma Gom GmbH, stejně jako systému Tritop. Pontos je jakousi nadstavbou Tritopu, vychází ze stejných základních principů, používá podobné referenční body. Pontos je samostatný nezávislý systém, ale v případě měření velkých objektů je možná spolupráce se zmiňovanou technologií Tritop. Systém je často používán při testovacích měřeních v automobilovém a leteckém průmyslu. Je vybaven dvěma kamerami, které jsou synchronizovány a zaznamenávají snímky ve stereo nastavení. V těchto snímcích jsou zachyceny a graficky zobrazeny 3D souřadnice referenčních značek a jejich posunutí v různých deformačních stavech během zatížení objektu.

obrázek 38 : Pontos HS



Zdroj : *MCAE Systems* [online]. 2008 [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.mcae.cz/PONTOS_Configuration_CS.html>

Technické parametry

- měřicí objem : 0.5x0.4 m² až 2.5x2 m²,
- rozlišení kamer : 1280x1024 pixel, 8 bit digital,
- počet měřených bodů : neomezeně,
- snímkovací frekvence : 480 Hz při rozlišení 1280x1024 pixel,
960 Hz při rozlišení 1280x512 pixel,
- čas expozice : 0.05 ms ÷ 10 ms, řízení počítačem, asynchronní jednotka,
- přesnost : 0.05 mm,
- výsledky : 3D pozice, posunutí, deformace,
- rozměry : 1300x200x140 mm³,
- paměť : 2 ÷ 4 GB,
- cena cca 100 000 euro. [11]

Potřebný hardware a software

- měřicí stanice systému s výkonným PC,
- rameno z uhlíkových vláken, na koncích opatřeno úchyty pro umístění kamer s blesky,
- stojan pro upevnění ramena,
- software pro měření a vyhodnocení dat.

Přednosti systému

- bezkontaktní měření 3D souřadnic,
- mobilita, flexibilita, malá hmotnost,
- snímkovací frekvence nezávislá na počtu měřených bodů,
- snadné přizpůsobení různým úlohám a měřené oblasti,
- nezávislost na okolních podmínkách jako např. vibrace,
- spolupráce se systémem Tritop při měření velkých dílů.

Proces měření

Proces měření je založen na principech optické triangulace. Systém Pontos je připevněn na stativu před měřeným objektem. Počet měřených bodů je neomezený a je nezávislý na snímkovací frekvenci. Měřený objekt je označen optickými retro body, které jsou snímány pomocí dvou kamer s CCD čipem. Systém z těchto záběrů vypočítá prostorové souřadnice, posunutí a deformace jednotlivých bodů. Výsledky jako 3D souřadnice, absolutní a

relativní pohyby jsou zobrazeny ve výstupním protokolu nebo jsou exportovány do standardních formátů.

Výstupy z měření

- 3D souřadnice diskrétních bodů,
- posunutí, vektory deformace,
- grafický a textový protokol o měření (png, mpg, html, ascii).

Aplikace

- 3D měření pohybů, deformací a vibrací,
- ověření koncepčních designových návrhů a počítačových simulací,
- analýza sekvenčních pohybů,
- alternativa k měření s akcelerometry do 250 Hz,
- dynamika spár a přesazení,
- měření relativních pohybů,
- měření v aerodynamickém tunelu,
- zatěžování, tečení a zkoušky stárnutí,
- měření dynamického chování. [11]

4.2 Vysokorychlostní kamery

Vysokorychlostní (rychlostní, rychloběžná) kamera, zkráceně rychlokamera (anglicky High Speed Camera), je přenosné optoelektronické zařízení pro vytváření obrazového záznamu velmi vysokou frekvencí snímání. Soudobé moderní vysokorychlostní kamery jsou stejně jako klasické "pomalé" kamery digitální. Poskytují tedy digitalizovaný záznam obrazu. Rychlokamery mohou být jak barevné, tak černobílé. Černobílý záznam může být u rychlokamer za určitých okolností výhodnější s ohledem na menší objem zpracovávaných a přenášených dat. Rychlokamery se od běžných digitálních kamer liší i svým vzhledem. Jejich plechový obal má zpravidla tvar poměrně nevzhledný, kvádrovitý s vystupujícím objektivem. Kamery jsou bez displeje a s minimem ovládacích prvků, neboť k nastavení parametrů záznamu a ovládání kamery slouží externí zařízení, nejčastěji řídicí panely nebo PC. Neatraktivní vnější vzhled vysokorychlostní kamery je v kontrastu s její vnitřní strukturou, která obsahuje špičkové optoelektronické prvky. V současné době jsou v celosvětovém měřítku používány především vysokorychlostní kamery firem Olympus a Redlake.

Mezi rychlokamerou a obyčejnou kamerou je propastný rozdíl v rychlosti (frekvenci) snímání. Zatímco běžná kamera snímá standardní rychlostí 25 obrázků za sekundu, u rychlokamery jsou běžné frekvence od tisíce snímků za sekundu až po statisíce snímků za sekundu, tedy o 2 až 4 řády vyšší.

Vysoká frekvence snímání však vyžaduje zpracování obrovského množství dat. Např. při dnes běžné snímkovací frekvenci 20 000 fps (frames per second - snímků za sekundu) a rozlišení dílčích snímků obrazového záznamu 250 x 200 bodů je třeba uložit za sekundu 1GB dat.

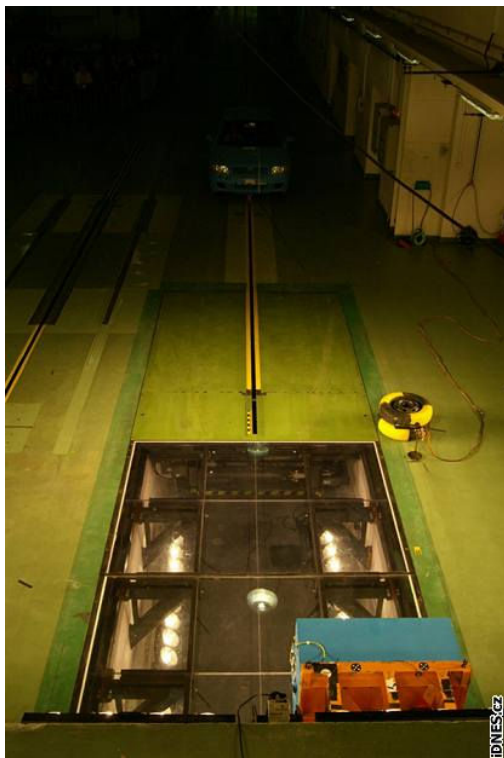
Výraznou předností digitálního záznamu je, že je použitelný nejen ke kvalitativní analýze zobrazeného děje nebo jevu, ale umožňuje i analýzu kvantitativní. Což představuje hodnocení s využitím aktuálních hodnot fyzikálních veličin. Vzhledem k tomu, že k jednotlivým obrázkům záznamu lze přiřadit reálný relativní čas, je možné porovnáním sousedních obrázků stanovit vektory rychlosti a zrychlení pohybujících se prvků, rychlosti změny tvaru těles či vizuálních projevů zkoumaných jevů apod. Přesnost takto stanovených hodnot analyzovaných veličin je ovlivněna především rozlišením (kvalitou) záznamu, dále bitovou hloubkou záznamu, metodou kvantifikace dat a kvalitou použité optické soustavy (objektivu), která je zatížena vadami zobrazení (distorze, astigmatismus apod.). Pokud jsou použité objektivy kvalitní, vady jsou zanedbatelné. Velkou roli hraje i správné zaostření objektivu na snímání objekt po celou dobu trvání záznamu, zejména při snímání pohybujícího se tělesa.

Rychlokamery nejsou produktem současného digitálního světa. Byly používány už v minulém století v éře analogového záznamu na filmový pás. Pomocí speciálního mechanismu se pás filmu určité (omezené) délky uvedl do pohybu relativně vysokou rychlostí a záznam o vysoké frekvenci byl proveden s využitím soustavy rotujících zrcadel. Současné digitální rychlokamery mají proti historickým analogovým výhodu nejen ve vyšší variabilitě volitelné frekvenci záznamu, ale i v celkové době snímání děje, která je omezena pouze kapacitou paměťového média, a také možností snímání děje i v čase před spuštěním kamery (tzv. pretrigger).

Digitální záznam lze navíc ihned po jeho provedení prohlédnout na externím monitoru, posoudit, zda je zdařilý a v případě neúspěchu jej opakovat (je-li to ovšem možné). Určitým problémem je závislost rozlišení obrazového záznamu na frekvenci snímání, která vyplývá z omezené rychlosti datových toků ze záznamových čipů na paměťové médium. To v praxi znamená, že při nejvyšších rychlostech snímání je rozlišení záznamu velmi nízké.

Jednou z nejdůležitějších věcí při použití rychlokamery je dostatečné osvětlení snímané scény (obr. 39) . Při použití současných kamer snímajících s frekvencí řádově v desítkách tisíc obrázků za sekundu může být (z pohledu kamery) i na přímém poledním slunci šero či dokonce tma. Vysoké frekvence snímání proto vyžadují použití velmi výkonného osvětlení scény. Používají se halogenová, nebo výbojková svítidla o příkonu několika kilowattů (40). [12]

obrázek 39 : Osvětlení prostoru při testu



Zdroj : *iDnes* [online]. c1998-2008 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <http://auto.idnes.cz/na-vlastni-oci-crashtesty-skodovek-duv/automoto.asp?c=A060919_160332_automoto_fdv>

obrázek 40 : Světelné zdroje



Zdroj: *Olympus* [online]. c2008 [cit. 2008-05-09]. Dostupný z WWW: <http://www.olympus.cz/industrial/28_731.htm>

4.2.1 Kamery Redlake HG 100-K

obrázek 41 : Redlake HG 100-K



Zdroj : *Ruce vzhuřu* [online]. 2006 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.rucevzhuru.cz/video/popis/redlake.htm>>

REDLAKE HG-100K je kamera určená pro záznam velmi rychlých dějů rychlostí až sto tisíc snímků za sekundu. Číslo 100 v názvu znamená dovolené přetížení kamery 100 g (tj. stonásobek tíhového zrychlení) při působení setrvačných sil v případě zrychlení, resp. zbrždění nosiče kamery. Tato kamera je tedy vhodná např. ke snímání jevů uvnitř vozidel při nárazu v rámci crash testů. Výstupem z kamery je série snímků, které jsou následně zpracovány v softwaru FalCon. [12]

Technické parametry (Redlake HG 100-K)

- Rozlišení : 1504 x 1128 obrazových bodů (1,7 megapixelů) při 1000 snímků /s,
64 x 24 obrazových bodů při 100 000 snímků / s,
- rozměry : š / v / d - 135 / 105 / 282 mm,
- hmotnost : 5kg,
- napájení : 24V – 50V,
- čas expozice : 10 – 1000 s⁻¹,
- cena programu FalCon : cca 80 000euro,
1 kamera Redlake : cca 55 000 euro. [13]

Potřebný hardware a software

- Vysokorychlostní kamera,
- Stojan pro upevnění kamery,
- PC pro vyhodnocení snímků a případnou kalibraci,
- Dostatečné osvětlení,
- Software pro analýzu,
- Software pro stažení záznamu z kamer do PC.

Přednosti systému

- Bezkontaktní snímání velmi rychlých dějů,
- Mobilita, flexibilita, malá hmotnost,
- Volitelná snímkovací frekvence,
- Snadné přizpůsobení různým úlohám. [13]

Proces měření

Vlastní měření s rychlokamerami trvá velmi krátkou chvíli. Měření nárazové zkoušky nelze opakovat, proto musí být přípravě měření věnována maximální péče a pozornost. Na začátku je nutné si uvědomit, jak se budou dále zpracovávat výstupní data, jaké jsou požadavky zákazníka. Výstupem z kamer je série fotek, které jsou uloženy v interní paměti každé kamery. Jejich počet a kvalita je dána nastavením snímkovací frekvence a rozlišení. Chceme-li s fotografiemi dál pracovat, vytvářet z nich videa, sledovat dráhu jednotlivých bodů, posunutí jednotlivých dílů karoserie a celkovou deformaci, je nutné provést kalibraci kamer. V procesu kalibrace se provádí série kalibračních snímků, ze kterých se následně vytvoří video. Video je použito při analýze trajektorií. Pro kalibraci musí být kamery ve stejné poloze jako při snímání nárazu při zkoušce. Nutné je nastavit clonu a dobu expozice, pak je možné provést kalibraci. Po úspěšné kalibraci, kontrole osvětlení a za předpokladu připravenosti zkuškového vozidla může být provedeno měření. Samotné měření proběhne velmi rychle. Každá kamera má interní paměť, kam ukládá snímky v délce, která se odvíjí od nastavení snímkování a FPS. Spouštění všech kamer zajišťuje trigger, který je umístěn na deformovatelné bariéře.

Výstupy z měření

- Patřičný počet snímků z každé kamery.

Aplikace

- 3D měření pohybů, deformací,
- analýza sekvenčních pohybů,
- měření relativních pohybů,
- balistické zkoušky.

4.3 Analýza dynamického měření

Pro zachycení dynamických dějů lze použít různé metody a zařízení stejně jako u měření statického. Pro porovnání vhodnosti uvažujme dvě uvedené zařízení využívané firmou Škoda Auto a.s. Jedná se o zařízení Pontos HS a software FalCon spolupracující s vysokorychlostními kamerami Redlake. Tyto systémy slouží k měření a následné analýze rychlých a velmi rychlých dějů, které jsou lidským okem nepostřehnutelné.

Příprava měření

System Pontos HS – příprava systému na měření spočívá v jeho rozložení do polohy k měření, upevnění kamer na stojan a propojení s měřicí ústřednou. Zařízení Pontos je mobilní, ale pouze do určité míry. Mobilní v tomto případě znamená, že je možné ho složit do beden určených k transportu a převést na jiné místo. V místě měření ale musí být v dosahu zdroj elektrické energie – 230V. Kromě stojanu s kamerami obsahuje toto zařízení měřicí ústřednu v níž je obsažen výkonný PC a komunikační rozhraní pro kamery (obr 38, str. 57). Ústředna je pro jednodušší manipulovatelnost opatřena kolečky. Po rozložení a zapojení systému je nutné provést kalibraci. K ní slouží kříž opatřený definovanými značkami, podobně jako u kamer kalibrační deska. Kříž je na jednom z ramen opatřen páskou pro snazší orientaci obsluhy. Po spuštění kalibrace, program sám navádí, jak kalibraci úspěšně provést. Na tuto činnost je vhodný dvoučlenný měřicí tým, neboť je nutné kromě držení a otáčení kříže také kontrolovat a potvrzovat snímky v PC. Kalibrace trvá zhruba 30 minut. Poté je přístroj připraven k měření. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2.1, je Pontos HS jakousi nadstavbou systému Tritop. K vlastnímu měření jsou tedy třeba kódované a nekódované body, které se vhodně rozmístí na měřený objekt. V tomto případě rozmístění značek závisí na požadavcích na měření, neplatí zde tedy vzdálenost 150 mm jako v případě měření bočního nárazu. Při sledování velkých objektů a případném přemísťování stojanu s kamerami je možná spolupráce se systémem Tritop.

Redlake HG 100-K – prvním krokem při přípravě měření s rychlokamerami je jejich vhodné umístění. Upevňují se do stojanů a držáků podle polohy a pohledu, který snímají. Zejména uvnitř automobilu je velice důležité věnovat uchycení kamery a držáku velkou pozornost. Během nárazu působí na všechny hmoty uvnitř vozu vysoké hodnoty zpomalení (přetížení). Dalším úkonem je správné nasměrování objektivu na vytipované místo a seřízení. Při měření s rychlokamerami je velmi důležité dostatečné nasvětlení snímaného místa. Zkouší se tedy nastavení kamer na patřičné místo a zároveň osvětlení

daného místa. Seřízení a vhodné nastavení všech kamer zabere dost času. Každé z nich je ale nutné věnovat pozornost, protože crash test je proveden jen jednou a vše musí fungovat na 100%. Kamery jsou rozmístěny po celém okolí v místě nárazu vozidla. V případě čelního nárazu je použito 19 kamer. Dvě jsou pod úrovní podlahy, snímají body na motoru, převodovce a podvozku (obr. 42). Vizualní kontakt je realizován přes silné desky z vrstveného plexiskla. Horní díl těchto desek se mění před každou zkouškou. Kromě dvou kamer je pod úrovní podlahy i několik výkonných zdrojů světla (obr. 43, str. 67). Další kamera je uvnitř vozidla, ta je namířena na řidiče. Po levé straně automobilu je v různých výškách umístěno 6 kamer, z pravé strany o jednu méně. Nad bariérou jsou upevněny dvě kamery, jedna pozoruje deformaci bariéry, druhá řidiče. Poslední dvě kamery jsou ve stojanu těsně nad zemí z pravé zadní strany vozidla. Jejich objektivy směřují k bodům umístěným ve spodní zadní části automobilu.

obrázek 42 : Umístění bodů na spodní části vozu



Zdroj : Interní materiály Škoda Auto a.s.

Kamery jsou užity při každém z nárazových testů. Například při bočním nárazu je strategicky rozmístěno 21 kamer. Pouze snímky ze zkoušky při čelním přesazeném nárazu jsou dynamicky vyhodnocovány softwarem FalCon. Kamery zde slouží pouze jako prostředek k zachycení pohybu sledovaných bodů. K analýze trajektorií slouží několik vybraných zařízení, konkrétně 8 z celkového počtu 19 rychlokamer. U nich je nutné provést

kalibraci. V procesu kalibrace se zhotoví série kalibračních snímků, z té se před vlastní analýzou vytvoří video. Pro kalibraci musí být kamery ve stejné poloze jako při snímání nárazu při zkoušce. Nutné je nastavit clonu a dobu expozice, pak je možné provést kalibraci. K ní slouží normovaná kalibrační deska z uhlíkových vláken o rozměrech 1,2 m x 0,8 m. Na desce jsou nalepeny definované černobílé body. Deska se umístí do míst, která budou ze snímků dané kamery dále zkoumána. I při kalibraci je pro dobrou kvalitu fotek nutné velmi intenzivní osvětlení. Provádí se 8 snímků při různých polohách kalibrační desky. Polohy se mění otáčením desky o 90° přes její rohy (4 polohy) a vykláněním zhruba o 30° do všech směrů v jedné z prvních poloh (4 polohy). Tento postup se provádí u všech kamer, jejichž snímky budou použity pro dynamickou analýzu. Výstupem kalibrace je kalibrační mřížka, ve které je obsaženo „posunutí“ středu čočky. Při analýze je poté díky kalibraci možno zohlednit zakřivení a zkreslení objektivu, tudíž zlepšit výslednou přesnost měření.

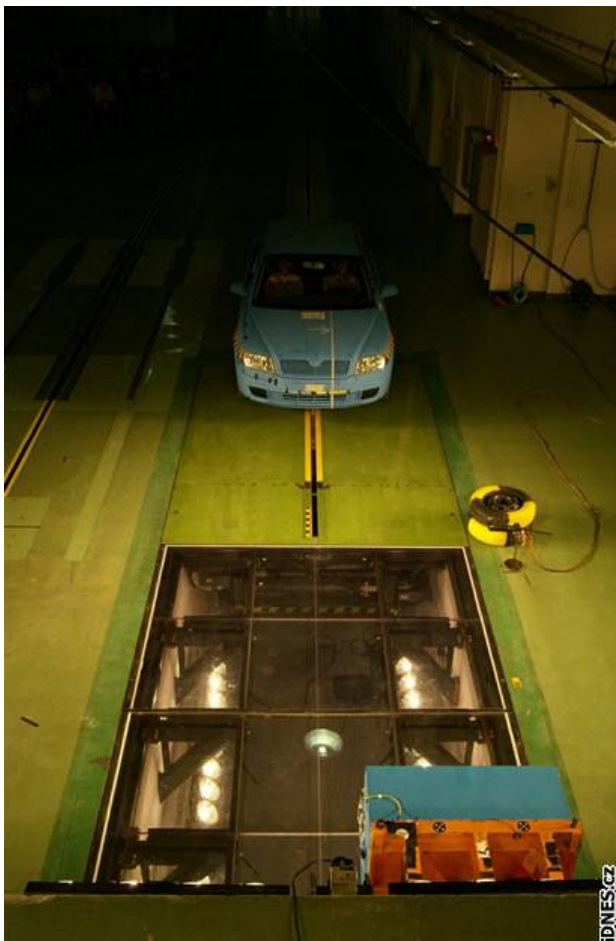
Proces měření

Pontos HS – praktické využití tohoto zařízení je při sledování a vyhodnocování dlouhodobých zkoušek, zjišťování deformací, kolizí, tepelné roztažnosti apod. Toto zařízení je využíváno především při cyklických zkouškách zavírání dveří nebo kapot. Tyto zkoušky obsahují 100 000 cyklů, někdy i více. Měření je prováděno v předem stanovených intervalech, například v cyklu po 5000. Během zkoušky se pouze měří, vyhodnocení je prováděno až následně. Samotné měření je realizováno automaticky podle předem definovaného nastavení. Nastavit je možné rychlost snímání a délku intervalu. Při maximálním snímání je interval měření 1,5 s. Oproti rychlokamerám není třeba nadměrného osvětlení. Zařízení je vybaveno diodovými blesky, které potřebnou světelnou intenzitu vytvoří. Pontos je automatické zařízení, tudíž měřené body vyhledá, určí a přiřadí jim prostorové souřadnice. V postprocessingu následně spočítá posunutí a deformace jednotlivých bodů.

Redlake HG 100-K - vlastní měření s vysokorychlostními kamerami trvá je velmi krátký okamžik. Je-li vše připraveno pro provedení zkoušky, jsou všechny světla rozsvícena, kamery zapnuty a automobil ve startovní poloze na začátku zkušební dráhy. Po startu lano s hákem rozjede automobil na požadovanou rychlost 64km/h, automobil jede proti bariéře (obr. 43, str. 67) a naráží do ní. V ten okamžik kamery začínají nahrávat. Celý proces měření je ovládán spouštěcím triggerem, který je umístěn na deformovatelné bariéře. Při prvním kontaktu automobilu s bariérou dojde k spojení dvou vodících pásků v triggeru, což

spustí nahrávání všech kamer. Během měření vytvoří každá z kamer 1000 snímků, které uloží do své interní paměti. Fotky jsou následně přeneseny do počítače k vyhodnocení nebo dalšímu zpracování.

obrázek 43 : Čelní náraz Škody Octavia II

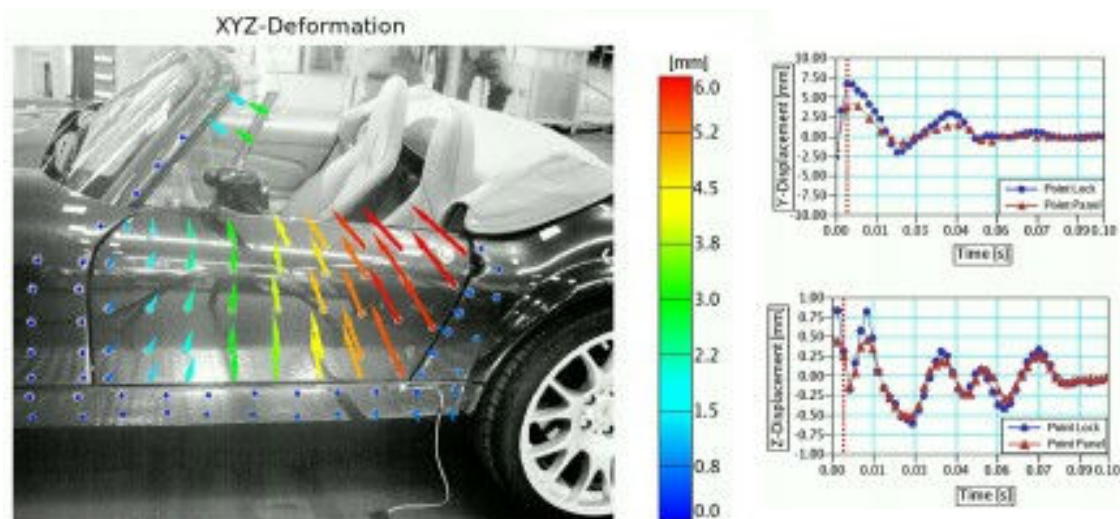


Zdroj : *iDnes* [online]. 1998-2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <http://auto.idnes.cz/na-vlastni-oci-crashtesty-skodovek-duv-/automoto.asp?c=A060919_160332_automoto_fdv>

Vyhodnocení

Pontos HS – pro vyhodnocení jsou zpracována naměřená data. Analýza se provádí v softwaru dodávaném k měřicímu zařízení. Výsledky ve výstupním protokolu mohou být v podobě 3D souřadnice, absolutního a relativního pohybu nebo lze vytvořit tabulku dat ve formátu xls nebo asci. Nejlepší podobou měřených dat je video se znázorněnými body a jejich vektory a současně zobrazený graf naměřených hodnot. V grafu se pohybuje svislá přímka určující okamžitou polohu bodů synchronizovanou se zobrazeným videem (obr. 44, str. 68). Výstupní data mohou být okamžitě použita a porovnána s CAD daty vozidla např. pro zjištění kolizí.

obrázek 44 : Pontos - výstupní protokol

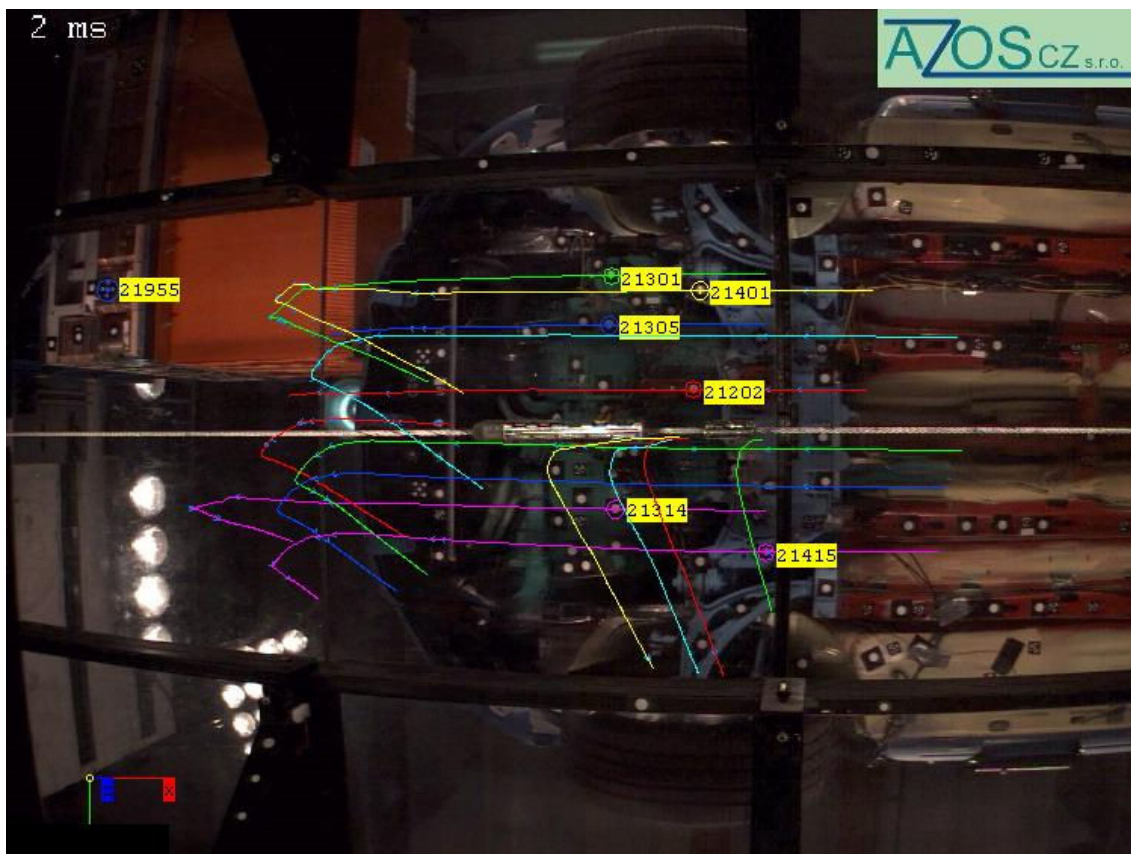


Zdroj : *MCAE Systems* [online]. c2008 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW: <http://www.mcae.cz/PONTOS_CS.html>

FalCon - výstupem z kamer je soubor snímků, který lze považovat za konečný výsledek a dané snímky lze zkoumat a hodnotit nebo je možné s nimi dále pracovat. Rychlokamery jsou použity při každém prováděném crash testu, ale pouze v případě čelního nárazu je vyhodnocován dynamický pohyb měřených bodů. K tomu je třeba zmiňovaného softwaru FalCon. U něj lze využít kompatibility s různými měřicími zařízeními, které nejlépe odpovídají stanoveným požadavkům. V našem případě jde o kamery Redlake. Postprocessing je zde 10 x náročnější než příprava a samotné měření. K dynamické analýze jsou předem určeny pouze soubory fotek z kalibrovaných kamer.

Před samotným hodnocením měřených bodů je nutné zpracovat kalibrační snímky. Z nich se za pomoci programu FalCon vytvoří kalibrační video. To je použito ve fázi analýzy měřených bodů pro zohlednění zakřivení a zkreslení objektivu. Nyní následuje zpracování souborů pořízených snímků. V další fázi jsou postupně trackovány jednotlivé body, které jsou na snímcích zachyceny. Software provádí trackování automaticky až do chvíle, kdy se mu daný označený bod „ztratí“. Může to nastat ve chvíli, kdy je část na níž je bod umístěn deformována tak, že do výhledu mezi kameru a bod vnikla jiná část, nebo výhled kamery na bod omezuje třeba tažný řetěz (spodní pohled), který je připevněn v přední spodní části vozidla. Objevili-li se sledovaný bod na některém z dalších snímků, je nutné ručně nastavit pokračování určení trajektorie na onom snímku. Takto se postupuje a určují se dráhy pro sledované jednotlivé body. Výstupem z analýzy jsou souřadnice jednotlivých bodů. Ty lze upravit do podoby videa nebo fotky v libovolném čase, na které jsou zvýrazněny a barevně odlišeny trajektorie jednotlivých bodů (obr. 45, str. 69).

obrázek 45 : Trajektorie sledovaných bodů



Zdroj : Interní materiály Škoda Auto a.s.

4.4 Vzájemné porovnání

Systém Pontos HS je speciálně přizpůsobený pro měření dynamických dějů. Volitelná snímkovací frekvence může dosahovat hodnoty až 500Hz. Spouštění měření je možné předem nadefinovat nebo spouštět externím signálem. Zdálo by se tedy, že v použití tohoto zařízení pro měření dynamických pohybů během nárazových zkoušek nic nebrání. Kdyby se jednalo pouze o dynamickou analýzu, bylo by za určitých podmínek možné systém využít. Kromě nízké hodnoty maximální snímkovací frekvence je dalším omezením možnost snímání pohybů pouze mimo vozidlo. Na zařízení pořizující snímky uvnitř vozidla jsou kladené vysoké konstrukční nároky, což kamery Pontosu nespĺňují. Hodnotu přetížení při nárazu by jejich uchycení nevydrželo. Za předpokladu měření vnějších částí vozidla je sledována i jeho spodní část. Vizuální kontakt mezi podlahou, motorem a převodovkou je možné díky části podlahy z vrstveného plexiskla. V případě použití diodových blesků u systému Pontos by plexisklo mohlo mít vliv na určité zkreslení vlivem odražených paprsků od jeho povrchu. Fotografie by opět bylo možné využít pouze k vyhodnocení dynamického děje. Vizuální kontrola vzhledem k barvě a kontrastu fotografií není možná. V neposlední řadě berme v úvahu fakt, že systém Pontos používá pouze dvě kamery. Ty jsou umístěné na

stativu, jenž je součástí zařízení, jejich vzdálenost je přesně definována a činnost synchronizována. Mohlo by se tedy sledovat pouze jedno vytipované místo, což je vzhledem k náročnosti a nákladnosti provedení jedné nárazové zkoušky nedostačující. Výhodou, oproti rychlokamerám, je vlastní zdroj osvětlení měřeného objektu. Nasvícení je dostačující pro systém, aby rozpoznal a určil měřené body. Ovšem k další analýze nebo jinému použití jsou snímky nevyhovující, neboť na nich jsou jasně vidět pouze sledované body.

Vysokorychlostní kamery jsou svou konstrukcí k využití v crash testech předurčeny. Uplatnění najdou i v dalších oblastech, jako třeba balistika. Vyznačují se snadnou manipulací vzhledem k jejich váze a rozměrům. Snímat dané body mohou v jakékoliv poloze. Kamera je nezávislé zařízení s vlastní interní pamětí, kam po stanovenou dobu ukládá vytvořené fotografie. Není tedy problém použití téměř neomezeného počtu kamer najednou, což je při bariérových zkouškách využíváno. Výstupními daty jsou série snímků, které se využívají k mnoha účelům. Pro dynamickou analýzu (z kalibrovaných kamer) ale i pro hodnocení jednotlivých poloh vozidla a posádky v reálném čase. Zmiňovaný požadavek, dostatečné osvětlení exponovaného místa, je tedy velmi důležitý pro kvalitu pořízených snímků v širokém spektru jejich použití.

Software FalCon, jenž je využíván k sledování trajektorií měřených bodů je stejně jako kamery Redlake nezávislý systém. Lze vyhodnocovat snímky z jiných kamer nebo rychlostních snímacích zařízení. Pontos HS toto neumožňuje. Je dodáván jako ucelený měřicí systém. Systém FalCon k prováděným analýzám vyžaduje výkonný počítač, jeho umístění je ale nezávislé na měřicím zařízení. Zpracovávat data je možné téměř kdekoliv.

Opačné použití zařízení by tedy bylo možné pouze ze strany vysokorychlostních kamer Redlake, které by funkci systému Pontos mohly plnohodnotně zastat. Ovšem pouze za podmínek dokonalého nasvícení snímané scény. Sledování bodů při nárazových zkouškách pomocí systému Pontos HS by značně zúžilo možnost použití výstupních dat. Nebyla by možná vizuální kontrola snímků ani jejich jiné využití, ale pouze dynamická analýza měřených bodů.

5. Laserové měření

Laser a moderní optoelektroniku lze využít mnoha způsoby. Jedním z možných použití je i přesné měření, kde je možné bez zásahu člověka rychle zjistit rozměry, opotřebení a poškození měřených objektů. Laserové měřicí přístroje tedy nacházejí v automobilovém průmyslu široké spektrum uplatnění.

Metoda laserového skenování je nejnovější a nejmodernější metodou sběru 3D měření. Je založena na principu odrazu laserového paprsku jako u laserových dálkoměrů. Její jedinečnost a přednost je v rychlosti měření, přesnosti a množství měřených dat a informací.

5.1 Leica ScanStation 2

Je laserový skener primárně určený k geodetickým účelům. Jedná se o skener, který má oproti svému předchůdci ScanStation výrazně vyšší rychlost snímání a ještě větší dosah. ScanStation 2 má také 4 základní vlastnosti moderních stanic, tj. plné zorné pole 360°x 270°, dvouosý kompenzátor, možnost přesné horizontace, centrace a orientace včetně volného stanoviska. [15]

Technické parametry

- Měřicí rozsah : horizontálně 360° , vertikálně 270° , dosah až 300 m,
- Rozlišení kamery : 1024 x 1024 pixelů (1 megapixel),
- Přesnost měření : 6 mm,
- Hmotnost : 18,5kg skener, 12kg baterie,
- Barva laseru : zelená,
- Napájení : 36V,
- Skenovací rychlost : 50 000 bodů / s,
- Pracovní teplota : 0° C ÷ 40° C,
- Cena cca 120 000 euro. [15]

Potřebný hardware a software

- hlava skeneru,
- stojan pro upevnění hlavy,
- PC nebo notebook,
- 2 baterie,
- software Cyclone pro skenování a práci s daty.

Přednosti systému

- Bezkontaktní snímání, neohrožuje zkoumaný povrch,
- Mobilita, flexibilita, operativnost,
- Plné zorné pole 360°x270°,
- Měřický dvouosý kompenzátor,
- Možnost orientace, volného stanoviště a polygonového pořadu,
- výpočty souřadnic v reálném čase,
- Snadné přizpůsobení různým úlohám. [15]

obrázek 46 : Leica Scan Station 2



Zdroj : Gefos [online]. 2008 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW:
<<http://www.gefos.cz/cz/foto.php?id=81#>>

Proces měření

Proces měření – skenování je s tímto zařízením velmi rychlé. Po sestavení stativu je nutné provést vyrovnání do vodorovné hladiny. Poté je možné upevnit hlavu a následně spustit ověření funkčnosti a náběh do provozního stavu, což trvá přibližně 15 minut. Čas potřebný na samotné měření se odvíjí od rozměrů skenovaného objektu. Považujeme-li za průměrné měření snímání osobního automobilu, pak lze říci že potřebný časový interval je asi 1-1,5 hodiny. Systém pracuje se softwarem Cyclone. Obsluha skener ovládá přes uvedený software. Provede zaměření a výřez patřičného místa, nebo objektu určeného ke snímání, následně je spuštěno skenování.

obrázek 47 : Scan Station 2 v činnosti



Zdroj : Gefos [online], 2008 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW:
<http://www.gefos.cz/public/img/produkty/laserove-skenery/3d/scanstation/scanstation2_letak_cz.pdf

Výstupy z měření

- 3D sken snímaného místa.

Aplikace

- 3D měření deformací,
- měření různých prostorových scén,
- zaměřování ulic, silnic, křižovatek.

5.2 Leica Tracker LTC 700

Laser tracker je mobilní tříosý měřicí systém pro měření rozměrů objektů. Principiálně vychází z laserového interferometru, který sleduje polohu hranolu a určuje jeho polohu s přesností 10 mikrometrů na metr. Systém může změřit až 1000 bodů za sekundu a v radiálním směru má dosah 35 metrů. Měřená data mohou být porovnávána s diskrétními nominálními souřadnicemi X , Y , Z nebo se spojitými obecnými CAD plochami. Verze laser trackeru LTD700 nabízí možnost spojení s unikátními periferními součástmi T-Probe a T-Scan, s jejichž pomocí je nejen možno měřit téměř "za pochodu", ale též snadno a rychle digitalizovat zkoumaný objekt.

obrázek 48 : Kompletní měřicí systém od firmy Leica



Zdroj : *Leica Geosystems* [online]. 2008 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_69047.htm>

Technické parametry

- Měřicí rozsah : 14 m (35m),
- Hmotnost : 22 kg tracker, 1,5 kg T-Scan, 0,6 kg T-Probe,
- Barva paprsku . červená,
- Napájení : 230 V,
- Skenovací rychlost : 1000 bodů / s,
- Přesnost určení polohy : 10 μm / 1 m,
- Pracovní teplota : 0° C ÷ 40° C,
- Cena cca 400 000 euro. [16]

Potřebný hardware a software

- Leica Tracker LTC700,
- T –Cam, T- Probe, T- Scan,
- PC nebo notebook,
- Měřicí stanice,
- Software pro měření, skenování a práci s daty.

Přednosti systému

- Bezkontaktní snímání neohrožuje zkoumaný povrch
- Mobilita
- Velký měřicí rozsah 14 m (35 m)
- Nezávislost na klimatických podmínkách
- výpočty souřadnic v reálném čase
- Přizpůsobení různým úlohám [16]

Proces měření

Zařízení zjišťuje 3D souřadnice měřených bodů třemi způsoby:

- 1) *pomocí malé nebo velké zrcadlové kuličky,*
- 2) *snímáním jednotlivých bodů pomocí zařízení T- probe,*
- 3) *skenováním s připojením T-scanu.*

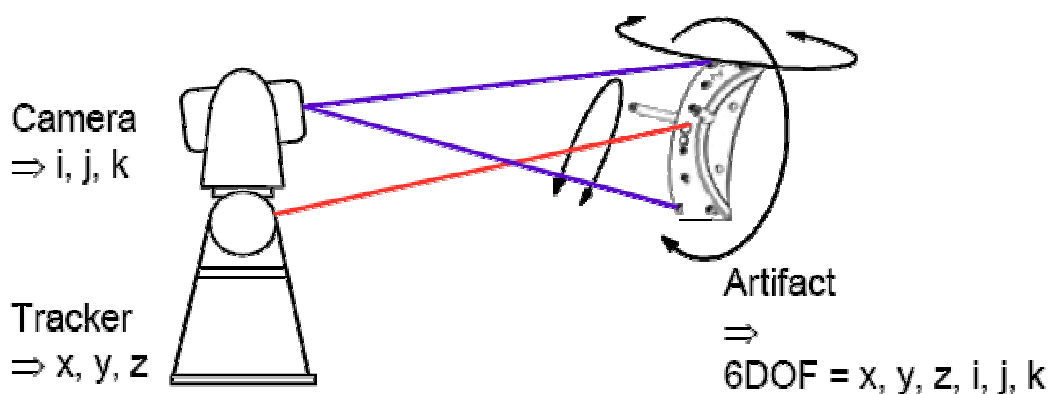
Při první možnosti zjišťování rozměrů se používají speciální kuličky, které jsou uvnitř vybaveny soustavou zrcadel. V nich se odráží laserový paprsek vysílaný z trackeru ke kuličce, tam se odráží a vrací zpět k následnému vyhodnocení. Kulička se postupně vkládá do předem upevněných magnetických lůžek, pak se provádí měření pozic umístěné kuličky. Tento způsob se většinou používá při ustavování měřícího zařízení nebo vyrovnání k již měřenému objektu.

Druhá možnost je kombinací kontaktního měření dotykovou sondou s bezdrátovým přenosem naměřených hodnot (obr. 49, str. 76). Zařízení jenž je napájeno pomocí nabíjecí baterie umožňuje nebývalou flexibilitu měření díky své schopnosti měřit a kontrolovat prostorovou polohu bodů uvnitř komponentů a nástrojů bez újmy na přesnosti. Používáno je dále ke kontrole ploch, měření otvorů, přesahů apod. Hustota snímání bodů je určována pouze měřícím technikem, který zařízení ovládá. Při této metodě je kamery využíváno pro přesné určení polohy měřeného bodu. Na zařízení T-probe je umístěno 10 diod, jenž jsou s kamerou T-cam synchronizovány. Laserový paprsek sleduje reflektor umístěný uprostřed

T-probu. K vlastnímu snímání bodu je na T - Probe připojena výměnná měřící sonda Renishaw. Sondu je možné připojit jak ve spodní tak i v zadní části přístroje.

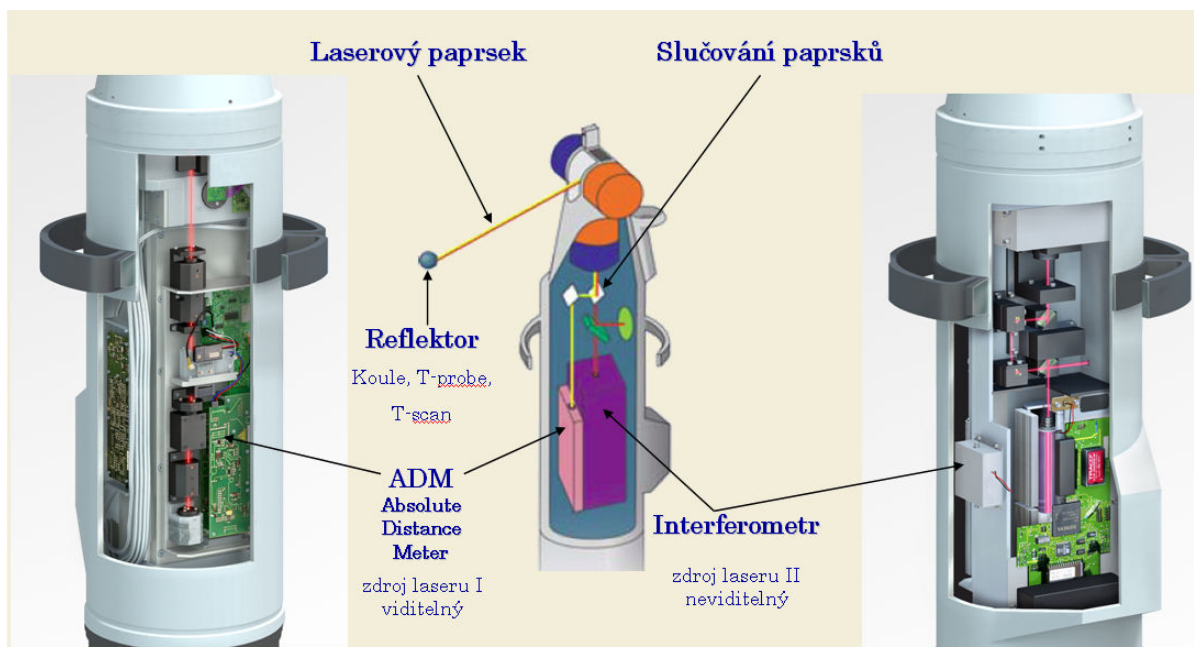
Pro tvorbu získání ucelených povrchů se používá skenovací hlava T-Scan. K sledování polohy T-Scanu při měření slouží opět kamera T-cam. Ta sleduje polohu pěti diod, s nimiž je synchronizována (obr. 54, str. 80). Lze tak přesně stanovit polohu skeneru. Naměřená data jsou přenášena po kabelu, který je zapojen do počítače.

Obrázek 49: Sledování modulu T - Probe



Zdroj : *Leica Geosystems* [online]. 2008 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_69047.htm>

Obrázek 50 : Funkce zařízení LTC700



Zdroj : *Leica Geosystems* [online]. 2008 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_69047.htm>

Výstupy z měření

- 3D sken snímaného místa.

Aplikace

- 3D měření deformací,
- měření různých prostorových scén.

5.3 Analýza laserového měření

Optika ve spolupráci s moderními elektronickými systémy a integrovanými obvody se postupně dostává do všech oblastí lidského života a práce, zvláště pak ta využívající laser. Ten v posledním desetiletí, díky zjednodušení jeho výroby a tím i nižší ceně, postupně zasáhl téměř všechny oblasti spotřební elektroniky i průmyslu. Jedním z mnoha využití světla a laseru je měření rozměrů a kvality materiálů v oblasti strojírenství, tzv. Laser Measuring Technology.

Příprava měření

Leica ScanStation 2 – zařízení vyniká vysokou flexibilitou a mobilitou. Účel, k němuž je zařízení využíváno do jisté míry zaručuje, že měření probíhá vždy na jiném místě.

První krok po dosažení místa měření je správná lokalizace jednoho či více bodů, kde bude skener umístěn. Následuje rozložení stativu, jeho vyrovnání a uvedení do stabilní polohy.

Teprve pak je možné připevnit skener. V případě špatné polohy stojanu je obsluha informována prostřednictvím chybového hlášení od skenovací hlavy, že je nutné provést nové srovnání do vodorovné hladiny. Po upevnění se měřící zařízení propojí s notebookem a zdrojovou baterií. Součástí systému jsou dvě napájecí baterie. Každá z nich zaručuje šesti hodinový provoz skeneru. Možné je připojit obě najednou. K indikaci stavu napájecího napětí slouží led diody umístěné na snímací hlavě. Poslední nutný a velmi důležitý úkon před spuštěním samotného měření je ověření funkčnosti přístroje a jeho náběh do pracovního stavu, což zabere zhruba 15 minut.

Leica tracker LTC 700 – i tento systém je do jisté míry mobilní, má však určitá omezení. Vzhledem k jeho rozměrům a hmotnosti je případné přemístění částečně omezeno. Systém je koncipován do mobilního vozíku (obr.51, str.78), na kterém je umístěn i tracker.

Zařízení je vybaveno záložním zdrojem pouze pro ovládací počítač. Pro funkci celého systému je nutná dostupnost napájení 230V.

Podobně jako u předchozího skeneru spočívá první úkon v umístění trackeru do vhodné polohy. Zde je lokalizace místa ještě důležitější nežli je tomu u Scan Stationu 2. Jednak je to z hlediska povrchu, dále pak z důvodu rozdílných dosahů při snímání. Tracker se může pohybovat pouze na pevném podkladu, na kterém je možná stabilní poloha. Při měření by jen malá změna polohy měla za následek velké nepřesnosti v měření, tudíž by se snímání muselo opakovat. Po ustavení trackeru následuje upnutí otočné hlavy a propojení s měřicí ústřednou. Je-li přístroj v pracovní poloze, provede se spuštění měřícího softwaru, inicializace a příprava laseru. Inicializace znamená kontrolní pohyb kamery T – Cam do všech krajních poloh. Tracker je pak nutné před vlastním měřením nechat v ustálené měřicí poloze, dokud laser nedosáhne pracovní teploty. To obvykle trvá 20-30 minut. Po dosažení pracovní teploty je přístroj připraven k měření.

obrázek 51 : Leica Tracker TLC700 a příslušenstvím, měřicí ústředna



Zdroj : Interní materiály Škody Auto a.s.

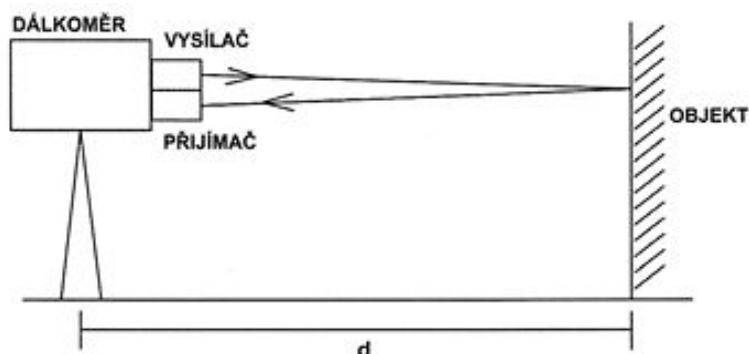
Proces měření

Leica ScanStation 2 – sběr dat pomocí tohoto zařízení je, jak již bylo zmíněno, velmi rychlou operací. Měřicí technik obsluhuje systém pomocí používaného softwaru Cyclone. Laserový paprsek je promítán a usměrněn na patřičné místo. Tam dojde k jeho odražení, následnému návratu do snímací hlavy a vyhodnocení získané vzdálenosti.

Laserovým skenerem získáme souřadnice tisíců bodů v nastaveném systematickém kroku, bez ohledu na to, jedná-li se o jakkoli konstrukčně významné body. Snímáno je vše

v nastaveném rozsahu skeneru. Na získaném skenu je možné dodatečně cokoliv vyhodnocovat, a to bez dalšího měření v terénu.

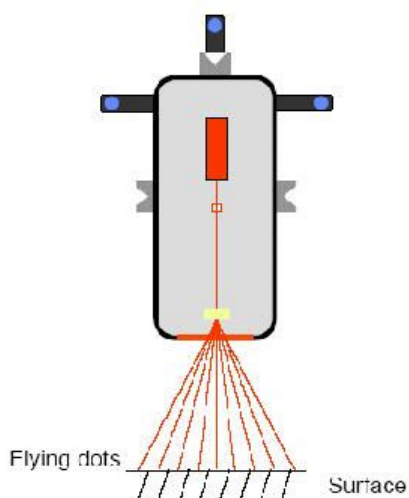
obrázek 52 : Princip laserového skenování



Zdroj: Geovap [online]. 2001-2007 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.geovap.cz/html/laser_scan_teorie.htm>

Leica tracker LTC 700 – snímání povrchů pomocí T - Scan je principiálně stejné, technické provedení je odlišné. Laser pracuje na stejném principu jako předchozí uvedený model, snímací hlava je zde v podobě přenosného zařízení, spojeného kabelem s měřicí ústřednou pro přenos naměřených bodů. T- cam zde slouží k přesnému určení polohy snímacího skeneru, z čehož jsou následně určeny souřadnice jednotlivých bodů. Při práci s tímto systémem je tedy nutná viditelnost kamery na snímací hlavu a to ve stanovené vzdálenosti. Minimum jsou 2 metry, maximální dosah je omezen délkou propojovacího kabelu. Měření se provádí ve vzdálenosti cca 10-15 cm od měřeného povrchu, šířka skenovaného pásu je zhruba 10 cm. Snímány jsou pouze plochy v přímém směru vůči skeneru. Výsledkem provedeného měření je opět 3D sken snímaného objektu.

obrázek 53 : Činnost zařízení T- Scan



Zdroj : Geovap [online]. 2001-2007 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.geovap.cz/html/laser_scan_teorie.htm>

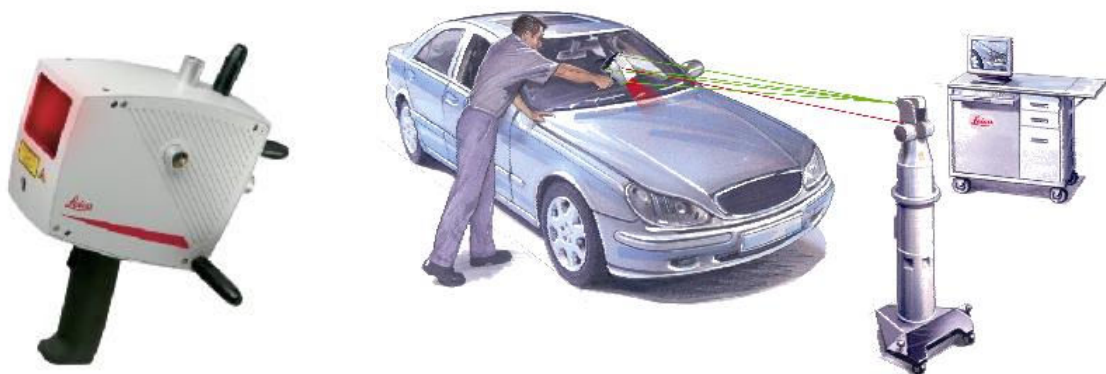
Vyhodnocení

Leica ScanStation 2 – analýzu naměřených skenů lze provést pomocí různých softwarů k tomu určených (polyworks, metrolog). Postprocessing je v tomto případě 2 x náročnější než samotné měření. Vyhodnocení je prováděno na PC nezávisle na místě provedení měření. Náročnost analýzy se odvíjí od velikosti a členitosti zhotovených skenů.

Data dodaná k zpracování jsou v podobě mračna bodů. Jedním z prvních úkonů je odebrání nepřesných okrajů snímaného objektu, případně odebrání špatných nebo zavádějících skenů. Následně jsou mračna bodů tvořící plochy softwarově vyhlazeny a přepočítány. Finální podoba modelu je pro další práci exportována ve formátu STL. Pro názornost je možné jednotlivé plochy nebo části zvýraznit širokou škálou barev. Formát STL je kompatibilní s většinou konstrukčních programů, je tedy snadné provést porovnání s CAD daty.

Leica Tracker LTC 700 – postprocessing je podobný jako u zařízení Scan Station 2. Po nasnímání požadovaného skenu není nutné dále setrvávat na místě měření. Nasnímané mračno bodů je třeba ořezat, ponechat pouze zkoumanou část vozidla nebo dílu. Ořezání se provádí z důvodů zjednodušení výpočtu a pro celkové zpřesnění měření. Prováděný výpočet a vyhlazení je náročné časově i hardwarově. Je tedy zbytečné vyhodnocovat větší část objektu nežli je požadováno. Po přepočítání a vyhlazení jsou data ve formátu STL připravena k vyhodnocení, porovnání nebo další analýze.

obrázek 54 : Leica T - Scan



Zdroj : *Leica Geosystems* [online]. 2008 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_1836.htm>

5.4 Vzájemné porovnání

Obě výše uvedená zařízení jsou od stejného výrobce – Leica Geosystems, jejich možnosti využití se však značně liší.

Zařízení ScanStation 2 je mobilní skener, původně určený ke geodetickým účelům. Využití najde i v jiných oborech, což jasně dokládá jeho použití v rámci projektu Výzkum dopravní bezpečnosti, který provádí Škoda Auto a. s.

ScanStation 2 je svou konstrukcí a technickými možnostmi předurčen pro vnější užívání. Jeho měřicí dosah až 300 metrů téměř nemá konkurenci. Rychlost skenování závisí na velikosti měřené plochy, obecně však lze říci, že práce s tímto zařízením je velmi rychlá. V praxi je využíváno, jak již bylo zmíněno, k výzkumu a měření dopravních nehod vozů Škoda. Rozměry a hmotnost zařízení dovolují jeho transport a obsluhu jedním člověkem. V reálu se jedná o snímání přímé nehody včetně deformovaných automobilů, nebo o měření místa, kde k nehodě došlo bez přítomnosti zúčastněných vozidel. Skenování nehody je pro výjezdní tým podmíněno dosažitelností jak časovou tak i vzdáleností. Během skenování jednoho vozidla je skener přemístěn do čtyř různých pozic pro zachycení celého vozu. Toto měření trvá 1-1,5 hodiny. V případě klasické dopravní nehody dvou automobilů půjde zhruba o 3 ÷ 4 hodinové měření. Za tuto dobu ovšem lze získat neocenitelné komplexní údaje z místa nehody. Ty jsou následně využity při testování stávajících i výrobě nových automobilů značky Škoda. Mezi nevýhody systému patří nemožnost činnosti při nepříznivém počasí a zhoršené snímání tmavých barev, především černé. Použití skeneru za deště není možné z principu jeho činnosti. Snímání tmavých barev je možné řešit podobně jako u systému Atos – křídovým sprejem. Určitým omezením je umístění skeneru na stativ. Znemožňuje to měření nízko nad zemí odvrácených rovin nebo kompletní snímání interiéru vozidla. Rozměry stativu a skeneru spolu s neměnnou polohou určují ScanStation 2 k měření větších objektů nebo okolní krajiny, což je případ snímání dopravní nehody. Jeho předností je především velká skenovací rychlost, což se zkracuje čas na nebezpečných místech i vypracování celkových výsledků. V neposlední řadě také fakt, že přístroj před zahájením práce není nutné kalibrovat.

Leica Tracker LTC 700 není natolik mobilní, jako předešlé zařízení. Lze ho snadno přesunovat v rámci jednoho objektu za předpokladu zpevněného povrchu bez velkých převýšení (např. schody). V případě potřeby měření na vzdálenějším místě musí být tracker demontován a uložen do transportních beden. Pro přepravu zařízení je třeba prostorného automobilu. Naložení měřicí ústředny, vzhledem k její váze, není možné v počtu menším než tří osob. Proto je zařízení využíváno převážně v rámci jedné firmy. Skenovací hlava je

zde přenosná. Manipulace je proto snazší, rozsah možných měřených ploch větší. Mobilitu skeneru lze využít například k měření interiéru vozidla nebo snímání drobných členitých dílů. Při měření s T – Scan je důležité, aby mezi kamerou T – Cam a skenovací hlavou T - Scan byla dodržena určená vzdálenost a zároveň v prostoru mezi nimi nebyla žádná překážka. V případě přerušení laserového paprsku přestane kamera sledovat synchronizované diody na skeneru, tudíž nelze určit polohu bodů – měření je přerušeno. Zejména při měření na frekventovaných místech je tedy nutné jasně označit prostor nezbytný k prováděnému měření a zamezit tak přístupu nepovolaných osob.

Nevýhoda zařízení spočívá především v náročnosti na okolní prostředí při měření. Podobně jako systém Atos vyžaduje pro optimální měřicí výkon šero. Stejně jako u předešlého skeneru nastávají problémy při snímání tělesa s černou nebo metalickou barvou. Mobilita je vykoupena fyzickou náročností kladenou na obsluhu při snímání větších ploch nebo rozměrných objektů. Dosah toho zařízení je proti ScanStation 2 mnohokrát menší, měření je však mnohem přesnější. Udávaná chyba měření se zde pohybuje v řádech setin milimetru. U ScanStationu je udávaná chyba v řádech milimetrů. Pro účel, ke kterému je ScanStation používán, je to dostačující.

Vzájemná záměna systémů v jejich plnohodnotné činnosti tedy není možná. Systém Leica tracker LTC 700 by mohl být použit jako vhodný doplněk pro snímání malých ploch.

5.5 Výzkum dopravní bezpečnosti – použití ScanStation 2 v praxi

Škoda Auto odstartovala v lednu 2008 ve spolupráci s Policií ČR, Hasičským záchranným sborem ČR a dalšími zainteresovanými složkami ministerstva vnitra, dopravy a zdravotnictví, projekt zaměřený na výzkum vozidel při reálných dopravních nehodách. Získané poznatky pak budou přímo aplikovány do vývoje automobilů Škoda. V rámci projektu se zaměří speciálně zřízený výzkumný tým útvaru Technického vývoje Škoda Auto ve spolupráci s dalšími institucemi na analýzu reálných dopravních nehod aktuálně vyráběných vozů Škoda, při kterých došlo k aktivaci airbagu, zranění přepravovaných osob nebo ke střetu s chodcem či cyklistou. Vlastní analýza se skládá ze tří základních částí.

- 1) *technické* (konkrétní poškození vozu a jeho chování při nehodě),
- 2) *biomechanické* (zranění osob a možnosti jeho minimalizace),
- 3) *psychologické* (příčiny nehody).

Takto získané poznatky budou spolu s informacemi zjištěnými během standardních nárazových zkoušek sloužit k dalšímu zlepšování aktivní i pasivní bezpečnosti současně vyráběných a především nově vyvíjených automobilů. Při realizaci projektu se vycházelo z velice dobrých zkušeností a z metodiky značek VW a Audi, které na německých silnicích provádějí obdobný výzkum již několik let.

Zprávu o konkrétní dopravní nehodě předá týmu Výzkumu dopravní bezpečnosti přímo Policie, pokud protokolující policisté zjistí, že jsou splněna výše uvedená kritéria. Nehodu může od 15. ledna 2008 oznámit každý na bezplatnou telefonní linku 800 634 639. V případě možnosti a na základě dohody s příslušným útvarem Policie ČR pak může tým Výzkumu dopravní bezpečnosti vyjet přímo ke konkrétní nehodě. K tomuto účelu jsou k dispozici speciálně vybavené vozy Škoda Octavia Scout s odpovídající dokumentační a měřicí technikou. Specialisté pak mohou přímo na místě, pokud to okolnosti umožní, pořídit údaje o místě nehody, o havarovaných vozidlech a jejich technických parametrech, hmotných škodách a především o eventuálních zraněních.[16]

obrázek 55 : Výjezdové vozidlo s vybavením



Zdroj : Fabia Club [online]. 2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW:
<http://fabioclub.skodahome.cz/505-skodaauto-startuje-projekt-vyzkum-dopravni-bezpecnosti>

6. Závěr

Především ve 20. století došlo k rychlému rozvoji dopravních prostředků všech druhů. Dnes je automobilový průmysl nejrychleji se rozvíjejícím odvětvím. Nová vozidla stále přinášejí celou řadu převratných novinek, objevů a zlepšení. Proto je dnešní běžný osobní automobil prakticky nesrovnatelný se svým předchůdcem, i když jen o pouhých pár let starším.

Se vzrůstajícím počtem automobilů pohybujících se po našich silnicích roste i hustota provozu. Výstavba nových dálnic a rychlostních komunikací zdaleka nestačí tempu nárůstu počtu automobilů. Stále větší hustota provozu je tedy logickým důsledkem. Ovšem nejtragičtější důsledek je stále se zvyšující počet dopravních nehod s následky zranění nebo smrti. Předcházet těmto nešťastným koncům se snaží výrobci automobilů řadu let. V posledním desetiletí byl však pokrok v oblasti aktivní i pasivní bezpečnosti velmi významný. Pro neustálé zlepšování pasivní bezpečnosti jako komplexního celku je prováděno mnoho zkoušek, testů a měření. Zkoušky jsou prováděny jak nezávislými organizacemi, tak i výrobci vozidel. Před realizovanými testy, během nich, i po jejich skončení, jsou realizována různá měření, která mají přispět ke zvýšení pasivní bezpečnosti.

Tato diplomová práce se zabývá metodami a postupy, které se při těchto měřeních používají. V první části jsou zmíněny statistiky nehod a crash testy, které jsou prováděny dle metodik EURO NCAP. V dalších kapitolách jsou uvedeny jednotlivé způsoby měření rozdělené podle provedení a účelu. V závěru každého celku autor provedl analýzu a porovnání daných postupů.

Při tvorbě práce autor vycházel ze zkušeností nabytých při odborné praxi ve vývojovém centru Škoda Auto a.s. a z materiálů poskytnutých firmou Azos CZ s.r.o, která zmiňovaná měření realizuje. Analýza a následné hodnocení byla provedena po účasti autora na vybraných typech hodnocených měření. Pro dokonalé porovnání výše uvedených metod bylo v plánu změřit jednu část automobilu nebo jeden díl všemi metodami. Výsledky měření by pak bylo možné zveřejnit, potřebné časy, přesnosti a případné překážky lehce porovnat. Upuštěno od tohoto záměru bylo hlavně z časového důvodu. Především časová vytíženost uváděných zařízení včetně jejich obsluhy a časové možnosti autora nedovolily kromě seznámení a názorné ukázky také praktické měření. Tuto diplomovou práci je tedy možno využít jako teoretickou část a doplnit o praktické měření.

Z provedených analýz vyplynula důležitost statických i dynamických měření, jejich vzájemné rozdílnosti a zároveň nenahraditelnost.

V porovnání vhodnosti statických metod jsou patrné značné výhody systému Tritop. Nejméně vhodná metoda se jeví kontaktní měření dotykovou sondou. Přestože měřící

rameno od firmy Faro lze pořídit za poloviční náklady nutné k nákupu hardwaru a softwaru Tritop, omezení měřicího dosahu, nutnost kontaktu s měřeným povrchem a nemožnost změření některých deformovaných míst mluví v jasný neprospěch systému Faro. Zařízení Atos nabízí podobné výhody bezkontaktního měření jako Tritop, ovšem neměří pouze body, ale výstupem z něj je mračno bodů, z kterého se za pomoci softwaru vytvoří plochy. Časová náročnost je ovšem proti práci s Tritopem značná. Další nevýhodou Atosu je i omezená mobilita a nutnost napájení 230 V. Jeho výhodou je ve větší přesnosti, která však u daných úloh postačuje v řádech desetin milimetru. Velký význam má systém Atos v designu, při zrodu automobilu. Zde je Atos využíván k optické digitalizaci povrchu vytvořené makety, tedy k získání datového modelu.

Z porovnání dynamických měření lze usoudit na výrazně kladnější hodnocení systému FalCon a vysokorychlostních kamer Redlake. A to především díky možnostem širšího využití výstupních dat. Snímky daných ploch při bariérových zkouškách jsou hodnoceny pracovníky certifikované zkušebny, slouží ke snadné vizuální kontrole a porovnání. Vybrané soubory fotografií z předem kalibrovaných kamer určené k dynamické analýze trajektorií sledovaných bodů zpracovává software FalCon. To je stejně jako kamery nezávislý systém. V případě potřeby je tedy možné provést vyhodnocení jakýchkoliv snímků z jiných vysokorychlostních snímacích zařízení. Zařízení Pontos je v tomto ohledu daleko méně flexibilní. Je to ucelený systém, který nelze kombinovat s jiným. Mobilita je další věc, která staví do popředí kamery. Jejich váha 5kg a možnost měření s téměř neomezeným počtem kamer nemá Pontos čím vykompenzovat. V neprospěch rychlokamer nutno uvést potřebu velké intenzity osvětlení sledovaného místa. U systému Pontos potřebné světlo k jeho měření dodají diodové blesky. Světla je pouze tolik, kolik je nezbytné k identifikaci bodů. Dobře viditelné jsou jenom měřené body. Snímky z tohoto zařízení se používají pro analýzu měřeného pohybu, nikoliv však k jiným účelům. I přes svoje zápory si Pontos najde využití. Například při vysoko cyklových zkouškách zavírání dveří nebo kapot.

Nejpodstatnějším zjištěním při hodnocení laserového měření byla vzájemná nenahraditelnost uvedených přístrojů. Zatímco LeicaScan Station 2 je určena k měření velkých ploch a objektů, ale nelze s ní měřit drobné součástky nebo interiéry vozidel, Leica Tracker LTC 700 s připojeným zařízením T - Scan umožňuje skenování i méně přístupných míst, snímání ploch v téměř jakékoliv poloze, ale nemá měřicí dosah 300 m ani nelze dosáhnout takové skenovací rychlosti jako se ScanStation 2. Právě rychlost práce, mobilita a měřicí rozsah jsou silnými stránkami ScanStation 2. Leica Tracker LTC 700 naopak vyniká vyšší udávanou přesností a větším spektrem využití díky dalšímu zařízení T - Probe,

jenž je součástí systému. Leica Tracker LTC 700 by mohla být vhodným doplňkem systému ScanStation 2 pro skenování menší dílů nebo částí interiérů v rámci projektu Výzkum dopravní bezpečnosti.

Zvyšování pasivní bezpečnosti je pouze jedna z mnoha věcí, která se snaží snížit vysoké číslo usmrčených osob na našich silnicích. Nutná je především radikální změna v chování většiny řidičů, protože právě chyba lidského faktoru stojí za většinou promarněných lidských životů.

Seznam grafů, tabulek a obrázků

<i>graf 1 : Vývoj počtu nehod a jejich následků.....</i>	<i>12</i>
<i>graf 2 : Porovnání nehod leden - březen 2006,2007,2008</i>	<i>13</i>
<i>tabulka 1: Přehled viníků a zavinění nehod.....</i>	<i>11</i>
<i>tabulka 2 : Hlavní příčiny nehod motorových vozidel</i>	<i>12</i>
<i>obrázek 1 : Nárazová zkouška Škody 100, rok 1972.....</i>	<i>17</i>
<i>obrázek 2 : První systém pro optickou digitalizaci.....</i>	<i>17</i>
<i>obrázek 3 : Čelní náraz Škody Fabia.....</i>	<i>20</i>
<i>obrázek 4 : Čelní náraz Škody Octavia I</i>	<i>20</i>
<i>obrázek 5 : Čelní náraz Škody Superb</i>	<i>21</i>
<i>obrázek 6 : Čelní náraz Škoda Octavia II.....</i>	<i>21</i>
<i>obrázek 7: Vyhodnocení četnosti nárazů ze statistik dopravních nehod.....</i>	<i>22</i>
<i>obrázek 8 : Souřadný systém vozu</i>	<i>23</i>
<i>obrázek 9 : Čelní náraz s přesazením</i>	<i>25</i>
<i>obrázek 10 : Deformovatelná bariéra pro čelní náraz</i>	<i>25</i>
<i>obrázek 11 : Boční náraz</i>	<i>26</i>
<i>obrázek 12 : Boční náraz na sloup.....</i>	<i>27</i>
<i>obrázek 13 : Střet vozidla s chodcem.....</i>	<i>28</i>
<i>obrázek 14 : Hodnocení testu střetu s chodcem.....</i>	<i>28</i>
<i>obrázek 15 : Figuríny Hybrid III Euro SID II.....</i>	<i>30</i>
<i>obrázek 16 : 6 Mpix fotoaparát s bleskem</i>	<i>33</i>
<i>obrázek 17 : Kalibrační tyče a referenční body.....</i>	<i>34</i>
<i>obrázek 18 : Body používané při měření.....</i>	<i>35</i>
<i>obrázek 19 : Pohyb fotoaparátu při měření.....</i>	<i>36</i>
<i>obrázek 20 : Postup při snímání 3D objektu.....</i>	<i>36</i>
<i>obrázek 21 : Metoda skládání.....</i>	<i>37</i>
<i>obrázek 22: Kalibrační tyče.....</i>	<i>37</i>
<i>obrázek 23 : Atos I, Atos I SO</i>	<i>40</i>
<i>obrázek 24 : Atos II SO, Atos II</i>	<i>40</i>
<i>obrázek 25 : Stojany Aslai a Arobi</i>	<i>41</i>
<i>obrázek 26 : Princip snímání systému Atos</i>	<i>42</i>
<i>obrázek 27: Focení tritopem a naskenovaný model pomocí Atosu.....</i>	<i>42</i>
<i>obrázek 28: Mračno bodů, polygonizované mračno bodů.....</i>	<i>43</i>
<i>obrázek 29 : Porovnání procesů</i>	<i>44</i>
<i>obrázek 30 : Digitalizace modelu</i>	<i>45</i>
<i>obrázek 31: Faro Quantum.....</i>	<i>47</i>
<i>obrázek 32 : Rozmístění bodů na boku vozu</i>	<i>49</i>
<i>obrázek 33 : Doplnující body v deformovaných místech</i>	<i>49</i>
<i>obrázek 34 : Transformační body</i>	<i>50</i>
<i>obrázek 35 : Měřicí zařízení Zett-mess</i>	<i>51</i>
<i>obrázek 36 : Skenování systému Atos.....</i>	<i>52</i>
<i>obrázek 37 : Měřicí sonda Renishaw</i>	<i>53</i>
<i>obrázek 38 : Pontos HS.....</i>	<i>57</i>
<i>obrázek 39 : Osvětlení prostoru při testu.....</i>	<i>61</i>
<i>obrázek 40 : Světelné zdroje</i>	<i>61</i>
<i>obrázek 41 : Redlake HG 100-K.....</i>	<i>62</i>
<i>obrázek 42 : Umístění bodů na spodní části vozu.....</i>	<i>65</i>

<i>obrázek 43 : Čelní náraz Škody Octavia II</i>	67
<i>obrázek 44 : Pontos - výstupní protokol</i>	68
<i>obrázek 45 : Trajektorie sledovaných bodů</i>	69
<i>obrázek 46 : Leica Scan Station 2</i>	72
<i>obrázek 47 : Scan Station 2 v činnosti</i>	73
<i>obrázek 48 : Kompletní měřicí systém od firmy Leica</i>	74
<i>Obrázek 49: Sledování modulu T - Probe</i>	76
<i>Obrázek 50 : Funkce zařízení LTC700</i>	76
<i>obrázek 51 : Leica Tracker TLC700 a příslušenstvím, měřicí ústředna</i>	78
<i>obrázek 52 : Princip laserového skenování</i>	79
<i>obrázek 53 : Činnost zařízení T- Scan</i>	79
<i>obrázek 54 : Leica T - Scan</i>	80
<i>obrázek 55 : Výjezdové vozidlo s vybavením</i>	84

Zdroje:

- [1] SLAMKA, Juraj, a kol. *Bezpečnost v silničním provozu*. Pardubice, 2006. 200 s
- [2] *Ministerstvo vnitra* [online]. 2005 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.mvcr.cz/statistiky/nehody.html>>
- [3] *The official site of the european new car assessment programme* [online]. 2005 [cit. 2008-02-05]. Dostupný z WWW: <http://www.euroncap.com/history.aspx>
- [4] *Tipcar* [online]. 2005-2008 [cit. 2008-05-14]. Dostupný z WWW: <http://www.tipcar.cz/mladoboleslavske_vozy_v_testech_euro_ncap-2336.html>
- [5] *AUTO.CZ* [online]. c1995-2008 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW: http://www.auto.cz/main.php?site=crashtesty_hodnoceni
- [6] *MCAE Systems* [online]. 2008 [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.mcae.cz/ATOS_CS.html>
- [7] *MCAE Systems* [online]. 2008 [cit. 2008-04-18]. Dostupný z WWW: <http://www.mcae.cz/TRITOP_Deformation_CS.html>
- [8] *The official site of the european new car assessment programme* [online]. c2005 [cit. 2008-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.euroncap.com/Content-Web-Page/824956bc-6a5e-4ddd-af9c-d500167327b0/meet-the-drivers.aspx>>
- [9] Interní materiály Škoda Auto a.s.
- [10] *FARO technologies Inc* [online]. c2007 [cit. 2008-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.faro.com/content.aspx?ct=uk&content=pro&item=2>>
- [11] *MCAE Systems* [online]. 2008 [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.mcae.cz/PONTOS_Configuration_CS.html>
- [12] *Ruce vzhuru* [online]. 2006 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.rucevzhuru.cz/video/popis/rychllokamera.htm>>
- [13] *IDT Vision* [online]. c2008 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.idtvision.com/imaging/hseries2.php>>
- [14] *Ruce vzhuru* [online]. 2006 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.rucevzhuru.cz/video/popis/redlake.htm>>
- [15] *Gefos* [online]. 2008 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.gefos.cz/cz/leica/produkty/81/scanstation>>
- [16] *Leica Geosystems* [online]. 2008 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_69047.htm>
- [17] *Škoda Auto a.s.* [online]. c2008 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <http://new.skoda-auto.com/CZE/news/info/press/news/Pages/2008_02_VyzkumDopravniBezpecnosti.aspx>

[18] LIŠKA, Tomáš. *Metody nárazových zkoušek pasivní bezpečnosti a jejich srovnání*. [s.l.], 2007. 114 s. České vysoké učení technické . Diplomová práce.

[19] *Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický* [online]. 2005-2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.vugtk.cz/slovník>>