

## **Analýza bezpečnosti automobilov z hľadiska použitých materiálov v deformačných zónach karosérie**

Németh Stanislav · Strojárstvo

07.07.2014



Tento príspevok sa zaoberá analýzou využitia vysokopevných ocelí v bezpečnostných zónach konštrukcie automobilu. Poukazuje práve na ich najdôležitejšiu úlohu, ktorou je okrem dizajnu, aj poskytnutie bezpečnosti posádke automobilu pri nepredvídanej kolízii. Konštrukcia

karosérie je tá časť automobilu, ktorá sa najviac podieľa na ochrane pasažierov v prípade akéhokolvek nárazu. V dôsledku toho je nevyhnutá správna stratégia výberu materiálov pre jednotlivé komponenty karosérie. Nárazové testy podľa NCAP overujú správnosť výberu materiálu pre jednotlivé deformačné zóny karosérie automobilu.

### **Úvod**

Stratégia výberu materiálu pre jednotlivé komponenty karosérie automobilu je najdôležitejšia a najťažšia činnosť, ktorá zahrňa viaceré oblasti a spája technológov, dizajnérov, materiálových inžinierov, manažérov a ekonómov, nakoľko jednotlivé komponenty karosérie automobilu majú nezanedbateľný vplyv na celkovú spotrebu paliva, vplyv na ekológiu, jazdné vlastnosti, prevádzku a v neposlednom rade aj na celkovú bezpečnosť nie len automobilu, ale aj vodiča a ostatných pasažierov. Správne navrhnuté materiály v konštrukcii karosérie konkrétneho automobilu zohrávajú vo veľkej miere hlavnú úlohu pri ochrane vodiča a ostatných pasažierov z bezpečnostného hľadiska pri rôznych kolíznych situáciách ako pri čelnom a bočnom náraze, náraze do zadnej časti ale aj náraze na stĺp a pri prevrátení automobilu na strechu.

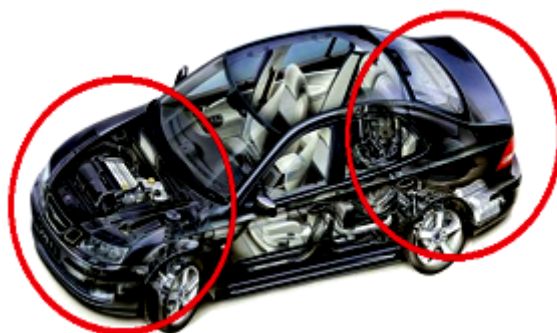
Cieľom súčasných moderných automobilových výrobcov je predovšetkým vo veľkej miere redukovanie hmotnosti jednotlivých dielcov konštrukcie karosérie z hľadiska čo najvýraznejšieho zlepšenia ako ich úžitkových vlastností (nárast zvýšenia výkonu, zníženie spotreby paliva, zabezpečenie predpísanej životnosti, zvýšenie aktívnej a pasívnej bezpečnosti a bezpečnosti chodcov), tak aj zabezpečenie komfortu vodiča a ostatných pasažierov, dostatočného zrýchlenia a pod. Najdôležitejšou úlohou správne navrhnutej karosérie automobilu je ochrániť vodiča a ostatných spolucestujúcich v prípade rôznych druhov nárazov, čo znamená aby karoséria zabezpečovala funkcie ako odolnosť proti pozdĺžnym, asymetrickým, ohybovým a torzným zaťaženiám.

Z hľadiska bezpečnosti pasažierov sa na konštrukciu automobilu kladú dve základné a najdôležitejšie požiadavky vyplývajúce z hlavných deformačných zón karosérie. Tou prvou a vo všeobecnosti aj najdôležitejšou požiadavkou je, aby predná a zadná časť

(oblasť kufra a motora) – obr. 1b automobilu v prípade daného druhu nárazu bola schopná pohltiť čo najväčšiu časť deformačnej energie, ktorá vzniká pri spomínanom náraze. Za druhé musí byť oblasť pre pasažierov – obr. 1a (kabína) dostatočne tuhá a pevná, aby v prípade akejkoľvek nehody zostal zachovaný dostatočný priestor pre prežitie vodiča a ostatných pasažierov automobilu.



a) zóna kabíny pre pasažierov



b) zóna priestoru motora a kufra

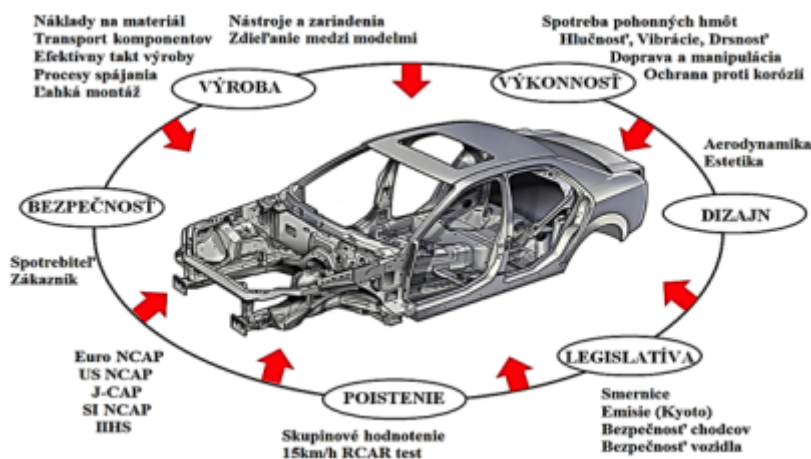
Obr. 1 Najdôležitejšie deformačné zóny karosérie automobilu

Skúmanie základných druhov nárazov a ich následná analýza je dôležitou vednou oblasťou v súvislosti s bezpečnosťou automobilu. Tento výskum v zásade poskytuje dôležité informácie o najčastejších druhov nárazov, v dôsledku pri akých rýchlostiach k nim dochádza a ktoré dôležité časti tela vodiča a ostatných spolucestujúcich sú najčastejšie poranené. Dôkladnou analýzou dopravných nehôd je taktiež možné získať prehľad o účinnosti rôznych bezpečnostných oblastí a opatreniach na automobile. Všetky druhy havárií, ale aj nárazov do automobilov sú sledované a skúmané už pomerne dlhý čas. Pri strete dvoch automobilov dochádza veľmi často k čelnej zrážke, k bočnej zrážke (z križovatky) a k nabehnutiu jedného automobilu na druhé zozadu. Z tohto dôvodu je stratégia výberu materiálov pre hlavné deformačné zóny karosérie automobilu veľmi dôležitá a z čoho následne vyplývajú požiadavky na ocelové plechy využívané v jej konštrukcii.

## 1. Analýza karosérie automobilu z hľadiska bezpečnosti

S rastúcim počtom automobilov na cestách a v súvislosti s ich rozvojom sa neodmysliteľne zvyšujú aj nadmerne vysoké požiadavky kladené hlavne na ich bezpečnosť. Každý nový automobil, ktorý sa uvádza na trh, neoddeliteľne musí spĺňať rad stanovených požiadaviek, ako napr. požiadavky týkajúce sa funkčných vlastností, požiadavky vzťahujúce sa k výrobe, prevádzke a k okoliu a samozrejme požiadavky

vzťahujúce sa k bezpečnosti karosérie automobilov – obr. 2 [1, 2].



Obr. 2 Požiadavky vzťahujúce sa na konštrukciu karosérie [1]

Na bezpečnosť pasažierov v prípade akéhokoľvek nárazu má pomerne značný vplyv celková konštrukcia karosérie automobilu. Z hľadiska všeobecných zásad je dôležité minimalizovať akúkoľvek pravdepodobnosť (kolíznej situácie) zrážky resp. nárazu a ak už k nemu dôjde, je potrebné zabezpečiť ochranu vodiča a ostatných cestujúcich v automobile, a zároveň určitým spôsobom čo najviac minimalizovať následky dopravnej nehody a ostatných účastníkov cestnej premávky [3]. Veľmi veľký dôraz je kladený na bezpečnostné požiadavky, ktoré sú predpísané platnou legislatívou v tej danej krajine kde je predávaný samotný automobil. Hlavným a tým najdôležitejším cieľom bezpečnosti konštrukcie automobilu je ochrana zdravia života vodiča a ostatných spolucestujúcich.

### 1.1 Štruktúra karosérie

Štruktúra karosérie musí z hľadiska pasívnej bezpečnosti spĺňať dve dôležité funkcie. Nosná štruktúra musí mať pri nehode podľa druhu namáhania dostatočnú schopnosť absorpcie energie, ktorá zaručuje neprekročenie biomechanických tolerančných limitov. To znamená, že nosná štruktúra karosérie musí mať pri svojej deformácii takú silovú charakteristiku, aby oneskorenie človeka vo vozidle neprekročilo medzné hodnoty. Na druhej strane nesmie byť deformácia nosnej štruktúry tak veľká, aby bol narušený vnútorný priestor pre posádku (kompresívne alebo rezné zranenie osôb) [2].

Vnútorný priestor musí byť dostatočne tuhý, upevňovací systém musí byť bezpečne zakotvený, lokálne vniknutie časti vozidla do kabíny čo najmenšie a musí byť zachovaný dostatočne veľký priestor pre prežitie. Pevný priestor pre cestujúcich musí byť bezpečný. Má tri zóny k zachyteniu síl vznikajúcich pri nehode. V prípade čelného nárazu slúži ako hlavná deformačná zóna predný rám. V hornej časti je zaťaženie prenášané k prednému stĺpiku výstuhami blatníkov, ktoré siahajú až k svetlometom. Zvlášť tuhý pomocný rám tvorí spodnú deformačnú zónu. Ak prichádza nárazová energia len z jednej strany, priečny člen predného blatníka prenáša silu aj na bok vozidla, ktorý sa rovnako zúčastní deformačného procesu.

Mimoriadne tuhá karoséria je základom pri všetkých typoch nehôd. V oblastiach pre posádku je požadovaná len minimálna deformácia. Preto hlavne pre tieto oblasti sa využívajú vysokopevné materiály a to pre dosiahnutie dostatočnej tuhosti karosérie.

Vyžadovaná je preto robustná konštrukcia prahov a stĺpikov. Pri moderných automobilov je vďaka prednej a zadnej časti automobilu, ktorá je progresívne deformovateľná, zaistený optimálny priebeh deformácie k čo najväčšiemu pohlteniu vzniknutej energie pri náraze. Vhodnou konštrukciou prednej a zadnej časti automobilu je tak možné dosiahnuť lepšiu ochranu priestoru pre cestujúcich. Staršie automobily mali nesprávne volené deformačné zóny a dochádzalo tak k extrémne rýchlemu spomaleniu pri náraze. Pre zabránenie vniknutiu motora automobilu do priestoru pre posádku je požadovaná špeciálna konštrukcia uloženia motora. Motor automobilu je tak v prípade nárazu smerovaný do priestoru pod posádkou. Deformačná charakteristika prednej časti automobilu by mala mať stupňovitý progresívny priebeh zložený z piatich stupňov [2, 3]:

- ochrana pri nízkych rýchlostiach (parkovacie manévri),
- kompatibilita (ochrana spoluúčastníka nehody),
- vlastná ochrana (musia sa dodržať biomechanické kritéria),
- priestor pre prežitie,
- ochrana chodcov.



a) pri čelnom náraze



b) pri bočnom náraze

Obr. 3 Rozloženie energie nárazu [3]

Veľkosť kinetickej energie nárazu, ktorá musí byť premenená v deformačnej práci štruktúrou obklopujúcou priestor pre cestujúcich závisí na intenzite nárazu a smere nárazu. K absorpcii nárazovej energie sú vhodné predné a zadné časti vozidla (Obr.

3a) vzhľadom k dostatočným dĺžkam deformačných zón. Bočná štruktúra umožňuje len malé množstvo absorpcie energie (Obr. 3b), pretože posledné deformačné dĺžky sú veľmi malé [2].

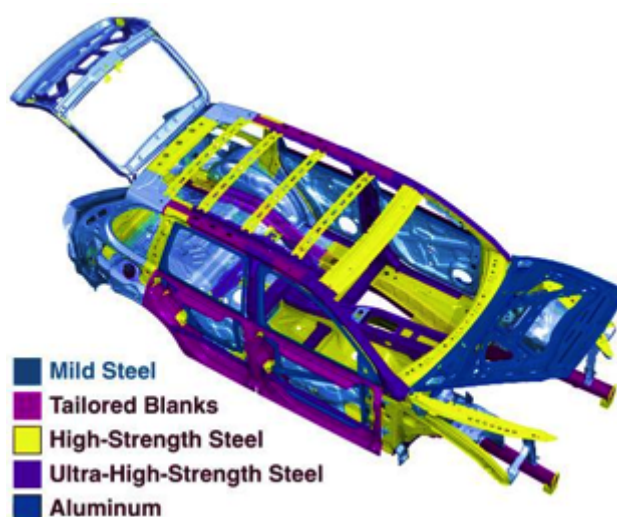
## 1.2 2 Analýza materiálov využívaných pri výrobe komponentov karosérie

Materiály použité v konštrukcii vozidiel musia spĺňať celý rad kritérií pre ich správnu aplikáciu vo výrobe automobilov. Súčasná tendencia zvyšovania úžitkových vlastností výrobkov smerujú k vývoju a aplikácii rôznych druhov ocelových plechov s vyššími pevnostnými vlastnosťami. Do tejto kategórie ocelí s vyššími pevnostnými vlastnosťami môžeme radiť všetky tie, ktoré majú medzu klzu  $Re \geq 210\text{MPa}$ , a zároveň majú dobrú lisovateľnosť. Bežné uhlíkové ocele s takou istou medzou klzu majú podstatne nižšiu lisovateľnosť. Výrobcom sa využívajú k dosiahnutiu požadovaných plastických aj pevnostných vlastností plechov rôzne mechanizmy spevňovania ocelí [1, 4].

Tab. 1 Požiadavky na vlastnosti materiálov v AP

Požiadavky kladené na automobilový priemysel	Reakcia automobilového priemyslu	Možnosti materiálového inžinierstva
Bezpečnosť: pevnosť, tuhosť, schopnosť absorpcie energie..	Redukcia spotreby materiálov a energie redukciami hmotnosti automobilov	Aplikácia materiálov s nízkou hustotou, vyššími pevnostnými vlastnosťami a dobrou tvárnosťou
Redukcia nákladov	Zníženie nákladov na vývoj a výrobu	Aplikácia materiálov s nízkou cenou a nízkonákladových procesov

V súčasnej dobe je vo výskume najväčšia pozornosť orientovaná na moderné vysokopevné ocele AHSS a ultravysokopevné UHSS. Dané skupiny ocelí sú veľmi dobre tvárniteľné. Vystihuje ich veľmi dobrá kombinácia životnosti, pevnosti, zvariteľnosti, pohlcovania rýchlosti deformácie a deformačného spevnenia. Spomínané charakteristiky týchto ocelí poskytujú predovšetkým znížiť hmotnosť konštrukcie automobilu a zvýšiť bezpečnosť posádky pri nehodách [1, 2].



Obr. 4 Materiály využité v konštrukcii karosérie [4]

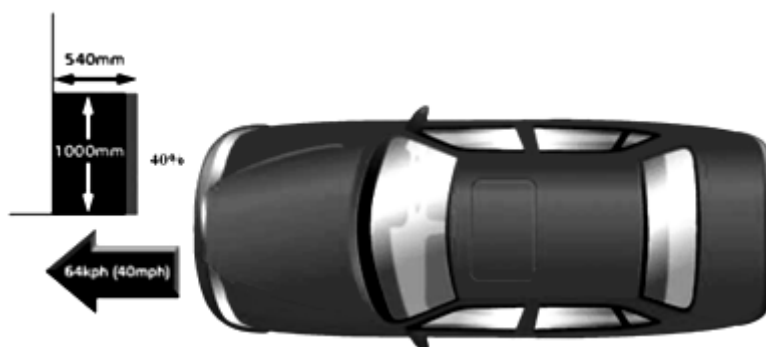
Hlavným a základným rozdielom medzi vysokopevnými HSS a moderne vysokopevnými AHSS je v ich mikroštruktúre. HSS charakterizujeme ako jednofázové feritické ocele. AHSS sú v najväčšej miere multifázové ocele, ktoré obsahujú vo svojej štruktúre okrem perlitu a feritu aj iné fázy ako bainit, martenzit alebo zvyškový austenit v takom množstve, ktoré postačuje pre výhodné mechanické vlastnosti [1].

## 2. Nárazové skúšky automobilov

Problematikou správania sa vozidiel pri nárazoch sa zaoberajú nezávislé inštitúcie ako Euro NCAP (European New Car Assessment Programme), NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) a IIHS (Institute for Highway Safety), ktoré testujú jednotlivé možnosti nárazov vozidiel na pevné prekážky (crash testy) s cieľom hodnotiť bezpečnosť posádky pri rôznych situáciách. Na základe týchto testov sa vyhodnocuje bezpečnosť vozidiel, ktoré sú rozdelené do jednotlivých tried. Výsledok je udávaný počtom hviezdíčiek, kde 5 hviezdíčiek je maximálny možný počet získaných hviezdíčiek a znamená, že automobil dosiahol najlepšie výsledky pri konkrétnych testoch a tým je najviac bezpečný. Tieto testy sa realizujú pri nárazoch automobilu ako je [5, 6]:

### 2.1 Čelný náraz

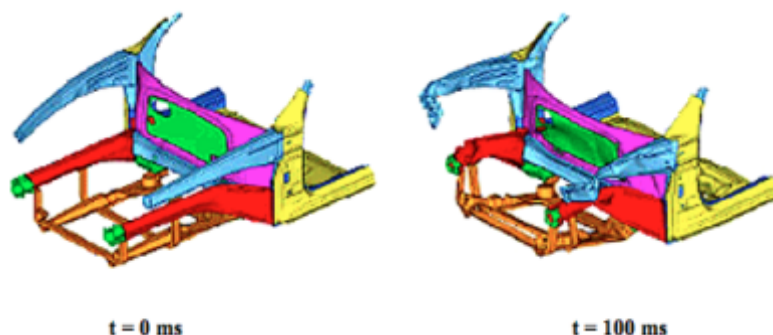
Nakoľko najčastejším z druhov nárazov je čelný náraz, oblasť výskumu bola zameraná najmä na usporiadanie prednej (čelnej) štruktúry automobilu. Taktiež veľká časť existujúcich bezpečnostných prvkov a ich predpisov je zameraná na prevedenie a skúšanie prednej (čelnej) časti automobilu. Čelná štruktúra osobného automobilu je zvyčajne tvorená dvoma pozdĺžnymi nosníkmi, ktoré sú pri čelnom náraze zaťažované najmä v smere pozdĺžnej osi automobilu. Najvýznamnejšou bariérovou skúškou je čelný náraz (Obr. 5). Ide o najčastejší druh havárií (nárazu) v reálnej prevádzke. Automobil idúci rýchlosťou 64 km/h narazí do deformovateľnej bariéry presadením 40 % šírky automobilu (bez spätných zrkadiel) [5].



Obr. 5 Čelný náraz podľa Euro NCAP [5]

Túto skúšku vyvinula Európska komisia pre bezpečnosť vozidiel - EEVA. Táto skúška simuluje najčastejší a najdôležitejší druh nárazu v bežnej prevádzke, ktorej dôsledok je nezlučiteľný so životom. Napodobňuje čelný náraz s automobilom, ktorý má rovnakú hmotnosť. Čelný náraz v reálnych podmienkach nie je situovaný na úplnú šírku automobilu, preto je pri tejto skúške volené presadenie o 40% šírky automobilu. Skúšobná bariéra je deformovaná tak aby skutočne predstavovala reálny náraz dvoch automobilov. Rýchlosť pri ktorej sa simuluje náraz dvoch vozidiel je 64 km/h, kde každé z nich sa pohybuje približne 55 km/h. Rozsiahle výskumy ukázali, že spomínaná rýchlosť pokrýva celý rad smrteľných nehôd v reálnej prevádzke. Pre túto skúšku sa

využíva testovacia figurína HYBRID III, kde prostredníctvom snímačov sa na nej skúmajú parametre, z ktorých sa jednoducho dá určiť rozsah poranení pasažierov pri náraze automobilu. Pri homologizácii vždy nového vozidla je zrážková rýchlosť 56km/h a pohltená nárazová energia je pri 64 km/h o 30% vyššia ako pri rýchlosti 56 km/h, čo zobrazuje aj vysoká náročnosť daných skúšok podľa Euro NCAP [6].

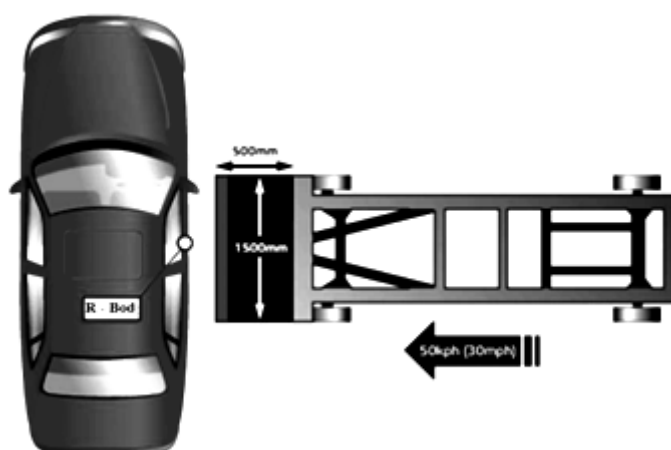


Obr. 6 Čelný náraz – pozdĺžny deformovaný tvar

Z hľadiska čelného nárazu je dôležité aby predná časť karosérie automobilu bola schopná absorbovať neuveriteľne veľké množstvo kinetickej – nárazovej energie. Pri deformácií sa však nesmie deformovať tak, aby bol obmedzený priestor vodiča a spolucestujúcich a tým by došlo k ich veľkému ohrozeniu [5].

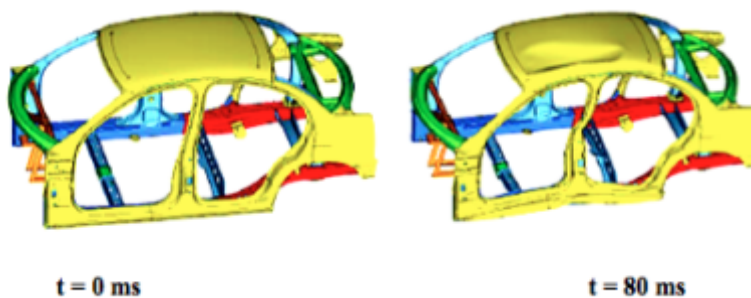
## 2.2 Bočný náraz

Druhou najdôležitejšou skúškou je simulovaný náraz dvoch automobilov, kde bariéra napodobňujúca automobil idúca určitou rýchlosťou naráža do boku druhého automobilu. Skoro štvrtina nehôd končiacich sa smrťou je v Európe zapríčinená práve týmto bočným nárazom. Organizácia Euro NCAP simuluje tento náraz s pohybujúcou sa bariérou, ktorá pri rýchlosti 50 km/h naráža do dverí automobilu [6].



Obr. 7 Bočný náraz podľa Euro NCAP [5]

Bezpečnosť vodiča je vyhodnocovaná prostredníctvom skúšobnej figuríny Euro SID II (Side Impact Dummy). Pri tomto druhu náraze je najviac ohrozená hlava vodiča automobilu. Vďaka tejto skúške bočného nárazu sa pri výrobe nových automobilov dbá na ochranu vodiča a spolucestujúcich pri náraze z boku.

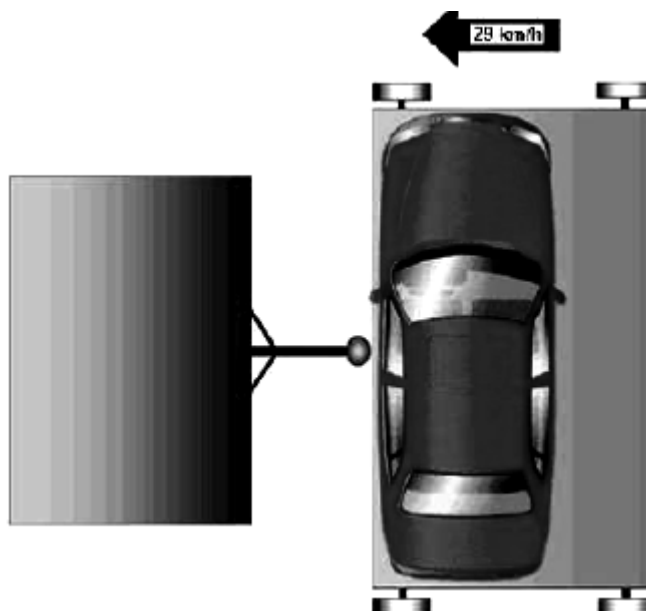


Obr. 8 Bočný náraz - deformovaný tvar bočnej konštrukcie automobilu

Pri náraze z boku sú kladené veľmi vysoké požiadavky z hľadiska vysokej tuhosti karosérie automobilu. Tento náraz do dverí automobilu je zo všetkých spomínaných nárazov najnepriaznivejší a najhorší a to preto, lebo na rozdiel od nárazu do prednej časti automobilu, posádka automobilu od prekážky delí iba niekoľko málo centimetrov hrubé dvere. Preto je požiadavka tuhosti konštrukcie karosérie automobilu v oblasti dverí neuveriteľne dôležitá [6].

### 2.3 Bočný náraz na stĺp

Daná skúška simuluje náraz automobilu z boku na pevný stĺp pri definovanej rýchlosti 29 km/h. Pri skúške stĺp má priemer 254 mm a pri zrážke vniká hlboko do bočnej časti automobilu. Hlava vodiča automobilu je najviac zraniteľnou časťou. Pri náraze na stĺp ak nie je automobil vybavený airbagom pre hlavovú oblasť dochádza k poraneniám hlavy končiace smrťou. Najtypickejším kritériom daného poranenia hlavy je hodnota Head Injury Criterion - HIC = 5000, čo je asi hodnota 5x vyššia ako limitná hodnota - HIC = 1000, kedy dochádza k vážnemu poraneniu hlavy. Ak je automobil vybavený airbagmi hlavy, je možné dosiahnuť priaznivých hodnôt HIC = 100 - 300 [5].



Obr. 9 Bočný náraz na stĺp podľa Euro NCAP [5]

### 2.4 Zrážka s chodcom

Jedná sa o sériu skúšok, pri ktorých sú napodobňované nárazy s účasťou chodcov premávky. Spomenutá skúška prebieha za rýchlosti 40 km/h. Miesto nárazu je



hodnotené slovne ako dobré, slabé alebo nevyhovujúce z hľadiska skúšania a bezpečnosti. K skúšaniam sa využívajú jednotlivé časti tela skúšobných figurín, nakoľko pri použití celého tela skúšobnej figuríny by bolo náročné hodnotiť ochranu bezpečia chodcov. Napodobnenou maketou dolnej končatiny sa hodnotí ochrana pri údere do nárazníka automobilu a maketou hlavy sa hodnotí zrážka do hornej časti kapoty. Vo všeobecnosti platí, že chodci či už ide o deti alebo dospelých sú najviac zraniteľnými účastníkmi cestnej premávky a ich šance na prežitie sú minimálne. Veľkú možnosť prežitia zrážky bez vážnych následkov majú iba pri rýchlostiach automobilu do 30 km/h. Odhady odborníkov sa síce líšia, ale pri zrážke pri cca rýchlosti 50 km/h neprežije približne polovica chodcov premávky. Pri rýchlosti 60 km/h umierajú traja zo štyroch chodcov a pri vyšších rýchlostiach nárazu sú už šance na prežitie prakticky blízke sa nule [6].



Obr. 10 Schéma zrážky vozidla s chodcom

## Záver

Cieľom tohto článku bolo poukázať na prednosti vysokopevných materiálov z hľadiska kritérií bezpečnosti karosérie automobilov vo fáze jej návrhu. Aplikácia vysokopevných ocelových plechov v konštrukcii automobilu, je zameraná na zníženie hmotnosti automobilov, zlepšenie ich úžitkových vlastností a to hlavne bezpečnosť posádky a zabezpečenie podmienok vyplývajúcich z právnych predpisov.

Keďže z hľadiska bezpečnosti automobilu sú na karosérie vyrobené z ocelových plechov kladené požiadavky z týkajúce sa nárazov, pre oblasť absorpcie energie sa požadujú materiály s čo najvyššou schopnosťou pohlcovania deformačnej (nárazovej) energie, vysokou pevnosťou a nižšou tuhosťou. Pre splnenie týchto požiadaviek sa používajú viacfázové ocele ako DP - dvojfázová oceľ, TRIP a TWIP oceľ ale aj austenitické ocele. Vďaka ich mikroštruktúre je možné tieto ocele spracovať operáciami plošného tvárnenia. Majú zvýšenú únavovú životnosť a taktiež sa vyznačujú lepšou schopnosťou absorpcie energie pri nárazových testoch. Pre oblasť kabíny posádky sa požadujú materiály s nižšou schopnosťou pohlcovania deformačnej práce, vysokou pevnosťou a tuhosťou. Pre splnenie týchto požiadaviek sa používajú materiály ako martenzitické a bórové ocele.

## Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-0273-12 - Podpora inovácií komponentov karosérie z prístrojov

ocelových plechov zameraných na bezpečnosť, ekológiu a znižovanie hmotnosti automobilov a grantovým projektom: VEGA č. 1/0824/12 - Štúdium tribologických aspektov lisovateľnosti povrchovo-upravených plechov a prístrihov na mieru

## Literatúra

1. ZHU, X.: Current Status of Advanced High Strength Steel for Auto-making and its Development in Baosteel. Baosteel research institute, Shanghai. [online] China. [cit. 2014-05-02] Dostupné na internete:  
<http://www.baosteel.com>
2. VLK, F.: Karosérie motorových vozidel. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000, 243s. ISBN 80-238-5277-9
3. COUFAL, T. - VÉMOLA, A. Zpomalení působící na posádku vozidla při čelním nárazu. In ExFoS 2012 Expert Forensic Science sborník XXI. mezinárodní vědecké konference soudního inženýrství. Brno: VUT v Brně, 2012, s. 202-220. ISBN: 978-80-214-4412
4. Great Designs in Steel. SteelWorks [online] American Iron and Steel Institute, 2013 [cit. 2014-05-14]. Dostupné na internete:  
<http://www.steel.org/en/The%20New%20Steel/Automotive.aspx>
5. Euro NCAP Online Documentation [online], 2012, [cit. 2014-05-20]. Dostupné na internete:  
<http://www.euroncap.com>
6. CHVÁLA, R. - ŠPERKOVÁ, A.: Ako funguje Euro NCAP [online]. Bratislava, 2005. [cit. 2014-05-25]. Dostupné na internete:  
<http://auto.sme.sk/c/2247701/ako-funguje-euro-ncap.html>