

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

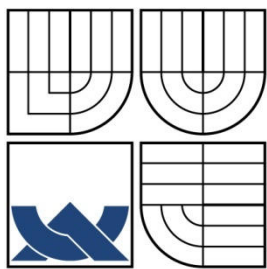
SIMULACE NÁRAZU VOZIDLA NA DOLNÍ KONČETINU CHODCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ JAŠKA

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SIMULACE NÁRAZU VOZIDLA NA DOLNÍ KONČETINU CHODCE

CAR IMPACT SIMULATION ON PEDESTRIAN LEG

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ JAŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVEL RAMÍK

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Jaška Lukáš

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Dopravní a manipulační technika (2301T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Simulace nárazu vozidla na dolní končetinu chodce

v anglickém jazyce:

Car Impact Simulation on Pedestrian Leg

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte výpočtovou simulaci nárazu vozidla na dolní končetinu chodce dle dané metodiky.

Cíle diplomové práce:

1. Proveďte rešerši současného stavu v oblasti bezpečnosti chodců a snižování následků střetu chodce s vozidlem.
2. Vytvořte výpočtový model impaktoru dolní končetiny člověka pro provedení analýzy jejího nárazu na přední část vozidla.
3. Připravte model přední části osobního automobilu.
4. Proveďte výpočtovou certifikaci připraveného modelu impaktoru dle požadavků daných příslušnými předpisy.
5. Proveďte počítačovou simulaci nárazu impaktoru končetiny na dopadové zóny v přední část vozidla.
6. Proveďte zhodnocení získaných výsledků s ohledem na použitou metodiku.

Seznam odborné literatury:

- [1] Euro NCAP Online Documentation [online], 2006, poslední revize 3.10.2006. Dostupné z: <http://www.euroncap.com>
- [2] Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost a pevnost I, VUT Brno, 1992
- [3] PAM-CRASH/SAFE 2005. Solver Reference Manual. ESI-Group, Paris, France, 2005
- [4] PAM-CRASH/SAFE 2005. Solver Notes Manual. ESI-Group, Paris, France, 2005

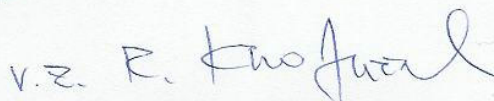
Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Ramík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 18.11.2007



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Simulace nárazu vozidla na dolní končetinu chodce

DP, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2008, str. 100, obr. 100

Obsahem diplomové práce je simulace nárazu lidské nohy na systém čelní ochrany automobilu. V úvodní části práce uvádí požadavky kladené na soudobé prvky pasivní bezpečnosti s ohledem na mírnění následků srážky vozidla a chodce, dále je práce zaměřena na konstrukci impaktoru lidské nohy, jeho certifikaci statickými a dynamickou zkouškou, vlastní simulaci nárazové zkoušky a její vyhodnocení. Vytvořený model a postup simulace je zpracován dle aktuálně platných předpisů a požadavků příslušných evropských norem a postupů Euro NCAP.

Summary

Car Impact Simulation On Pedestrian Leg

DW, Institute of Automotive Engineering, 2008, p. 100, fig. 106

This thesis seeks to simulate the impact on the human foot on the car bumper. The opening section deals with requirements as to the current passive safety features aiming to mitigate the consequences of such impact. The thesis also describes the construction of a human foot impactor, its certification via both static and dynamic tests, a simulation of the cash test and its evaluation. The designed model as well as the simulation procedure have been led according to the current Euro NCAP specifications.

Klíčová slova

Ochrana chodců, Euro NCAP, Impaktor nohy, Pam-Crash

Key words

Pedestrian protection, Euro NCAP, Lower Leg Impactor, Pam-Crash

Bibliografická citace

JÁŠKA, L. *Simulace nárazu vozidla na dolní končetinu chodce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 114 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma „Simulace nárazu vozidla na dolní končetinu chodce“ vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne 23.5.2008

.....
(podpis autora)

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval ing. Ivanu Sýkorovi, který se ochotně podělil o část svých znalostí nejen z problematiky ochrany chodců, dále ing. Ivoši Grácovi který mi dal příležitost se v rámci Evektoru realizovat a všem jejich kolegům, kteří mi byli při zpracování nápomocni. Za konzultace patří díky také ing. Pavlu Ramíkovi z Ústavu automobilního a dopravního inženýrství.

V Brně dne 23.5.2008

.....
(podpis autora)

Obsah

Úvod	10
1 Bezpečnost v silniční dopravě	10
1.1 Euro NCAP	12
1.2 Předpisy týkající se prvků ochrany chodců	14
1.2.1 70/156/EHS	14
1.2.2 2003/102/ES	15
1.2.3 2005/66/ES	16
1.2.4 2006/368/ES	20
1.2.4.1 Definice	21
1.2.4.2 Uspořádání zkoušky	22
1.2.4.3 Účel zkoušky	23
1.2.4.4 Zkušební body	23
1.2.4.5 Zkušební zařízení – impaktor:	24
1.2.4.6 Certifikační zkoušky impaktoru nohy:	25
1.2.4.7 Postup zkoušky	31
1.3 Soudobé prvky ochrany chodců na automobilech	33
1.3.1 Koncepce	33
1.3.2 Aktivní prvky ochrany chodců	34
1.3.3 Pasivní prvky ochrany chodců	36
2 Simulace pomocí metod MKP	39
2.1 Obecně	39
2.2 Pre a Postprocessing od BETA CAE Systems	42
2.2.1 ANSA	43
2.2.2 META POST	46
3 Impaktor	47

3.1	Konstrukce	47
3.1.1	Zjištění parametrů impaktoru	47
3.1.2	3D model impaktoru	48
3.1.3	Převod do kompatibilního formátu	53
3.1.4	Tvorba FE sítě	54
3.1.5	Sestavení a instrumentace FE modelu	57
3.2	Certifikace	64
3.2.1	Statická zkouška ohybem	64
3.2.2	Statická zkouška střihem	71
3.2.3	Dynamická zkouška	77
3.2.3.1	Nárazové těleso	77
3.2.3.2	Definování hmotnostních parametrů impaktoru	78
3.2.3.3	Sestavení zkoušky	81
3.2.4	Výsledné parametry impaktoru	88
4	Přední část automobilu	89
4.1	Chrysler Neon	89
4.2	Preparace a příprava pro simulaci	89
4.2.1	Výběr použitých komponentů	89
4.2.2	Svaření plechových dílů	90
4.2.4	Upevnění modelu	94
5	Simulace nárazové zkoušky	95
5.1	Sestava a polohování dílčích modelů	95
5.2	Kontakty	95
5.3	Okrajové a kinematické podmínky	96
5.4	Simulace	97
5.5	Vyhodnocení	98

5.5.1	Pozice Y0.....	102
5.5.2	Pozice Y510.....	102
5.5.3	Princip bodového hodnocení	102
6	Modifikace přední části automobilu	103
6.1	Provedení	103
6.2	Výsledky	103
7	Závěr	109
8	Seznam použitých zdrojů.....	110
9	Seznam použitých zkratek a symbolů	112
10	Seznam použitých veličin.....	114

Úvod

Dopravní nehoda je událost, která se do paměti zapíše na dlouhou dobu. Pokud navíc u některého z účastníků dojde k újmě na zdraví, účastník je vystaven tváří v tvář následkům a utrpení nebo dokonce smrti, je zážitek o to intenzivnější. Výrobci automobilů se použitím nejmodernějších prvků aktivní bezpečnosti snaží vzniku případných nehod zabránit, přesto všechno se ale v dopravě vyskytuje zcela neovlivnitelný a v mnohých případech nepředvídatelný faktor, člověk. Ač roste počet asistenčních systémů, automobily se snaží stále více práci a chování řidiče za volantem kontrolovat a korigovat, není možné případné srážce zcela zabránit. Pro tento případ jsou vozidla vybavena dalšími prvky, tentokrát pasivní bezpečnosti, s jejichž pomocí se snaží dopad nehody na účastníky silničního provozu stejně jako materiální škody alespoň zmírnit.

„Většina obětí dopravních nehod po celém světě jsou přitom ti nejzranitelnější uživatelé silnic - chodci, cyklisté. Oni tedy nemají vlastně žádný prospěch z té takzvané lásky k autům, ale všechno to odnesou“. [29] Takto se vyjádřil k problematice silniční dopravy Ian Roberts, působí jako profesor veřejného zdraví na Londýnské univerzitě hygieny a tropických nemocí. Podle jeho slov zemře na světě v dopravě každý den na 3000 lidí. Toto množství je přitom srovnatelné například s počtem objektů útoku na Světové obchodní centrum v USA. Desetkrát tolik lidí si pak při autonehodách poraní hlavu nebo utrpí úrazy s trvalými následky.

Problematikou ochrany chodců a bezpečnosti silniční dopravy jsem se zabýval po celou dobu studia na ÚADI a setkával jsem se s nejrůznějšími názory. Postoje některých lidí byly například vůči ochraně chodců vyloženě pasivní. Cyklisté jsou v očích většiny řidičů po dlouhou dobu považováni za jakési narušitele provozu na silnicích, stávají se často terčem posměšků. I když se o toto klišé možná svým chováním zasloužili sami, žijeme v civilizované společnosti, musíme se jejich přítomnosti přizpůsobit a není možné se k problému stavět zády. Objevují se i názory, že pokud ke srážce s člověkem dojde, není v takovém případě mnoho možností, jak mu lze pomoci. Mnohem důležitější je, aby k takové srážce vůbec nedošlo. Je nutné se věnovat spíše elektronickým systémům a prvkům, které budou vozidlo schopny v případě hrozící srážky zastavit, nebo vhodným způsobem ovládat“. Řídíme se přece heslem: „Kosti srostou, plech ne.“

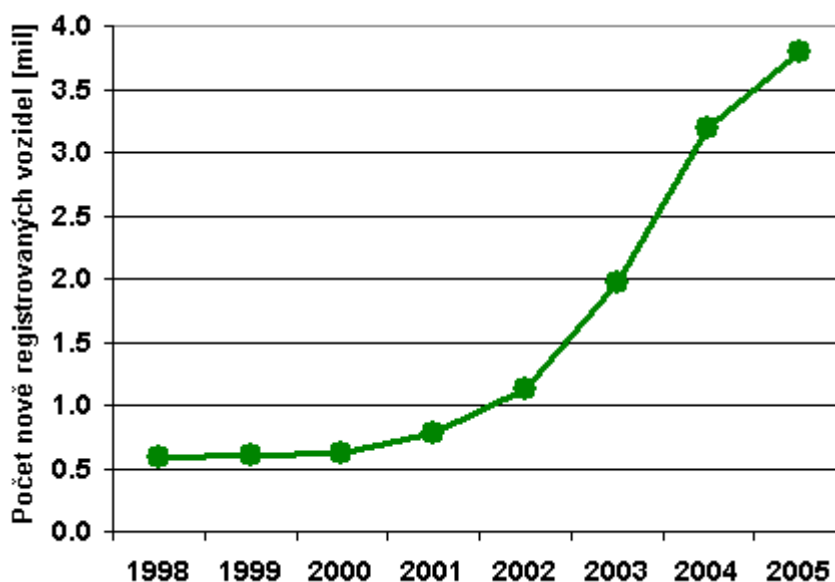
S tímto názorem se ale nemohu ztotožnit. Jak bylo řečeno v úvodu, lidský faktor je stále to, co činí automobilovou dopravu nebezpečnou a je bezpodmínečně nutné s jeho přítomností v ní počítat. Žádný elektronický systém nedokáže spolehlivě předvídat naše chování v kritických situacích. Naproti tomu prvky pasivní bezpečnosti na nás takzvaně čekají a v momentě kdy je třeba, zachraňují lidské životy spolehlivě. Automobilky prodávají desetitisíce vozidel ročně, dosahují obrovských zisků a chtějí-li držet krok s ostatními, rozhodně se musí problematice bezpečnosti dopravy věnovat stejně, jako vývoji v oblasti alternativních a hybridních pohonů.

1 Bezpečnost v silniční dopravě

V době, kdy byla automobilová doprava ještě v plenkách, by jen málo koho napadlo, jak katastrofální následky bude mít pro lidstvo o několik stovek let později. Bez jakýchkoli diskuzí je to výsledek obrovského rozmachu, který v posledních desetiletích v této oblasti zaznamenáváme. Smutné na této skutečnosti je, že zastavit tento pomyslný rozjetý vlak již

není možné a je nutné počítat s tím, že se negativní vliv na životní prostředí a populaci bude v budoucnu stupňovat.

V dnešní době si je ale většina populace těchto rizik vědomá a podniká řadu více či méně intenzivních opatření, která by měla následky alespoň zmírnit. Ať už se jedná o zhoršující se klima planety vlivem zvyšujících se emisí skleníkových plynů a globálního oteplování, nebo samotné miliony lidí kteří ročně v silniční dopravě zahynou. Smutnou skutečností potom je, že se v celosvětovém měřítku na negativních vlivech nejvíce podílí rozvojové země, kde jsou dopravní infrastruktura a zejména pak bezpečnostní politika dopravy v plenkách, nebo nejsou vypracovány vůbec. V lidnatých zemích, jako je například Indie se již objevují přirovnání, že největší počet dětí umírá denně na HIV, hladem, a také tzv. „na auto“. Mezi země s velkým počtem obyvatel patří také Čína. Na obr. 1 je graf znázorňující počet nově registrovaných automobilů v Číně, do roku 2005.



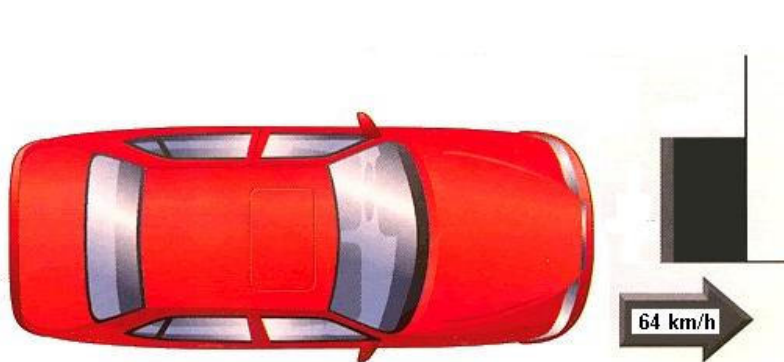
Obr. 1 - Počet nově registrovaných automobilů v Číně. [6]

Pokud jde o Českou Republiku, tak přesto že nepatří mezi rozvojové země, dochází v posledních letech i u nás k intenzivnímu nárůstu výše škod způsobených silniční motorovou dopravou. Centrum dopravního výzkumu [5] se sídlem v Brně, provedlo v roce 2000 průzkum, podle kterého dosáhly už v roce 1999 celkové náklady na náhradu škod způsobených silniční dopravou výše 7,096 mld. Kč. Do těchto škod je zahrnuto mimo jiné také odškodnění za újmy na zdraví, výplaty invalidních důchodů a mnohé další. Podle [23] dosáhly v rámci České Republiky celkové náklady související s dopravními nehodami výše 54 miliard. Statistiku zpracovalo Centrum dopravního výzkumu v Brně.

1.1 Euro NCAP

Název a zkratka společnosti Euro NCAP, pochází z anglických slov New Car Assessment Programme, tedy Program pro hodnocení nových vozidel, zejména po stránce prvků jejich pasivní bezpečnosti, viz [13]. Na právní úrovni se jedná o zcela nezávislé konsorcium, které sdružuje například vlády Velké Británie, Nizozemí, Švédska, Francie, Německa, dále několik významných automobilových asociací jako například francouzská FIA (Federation Internationale de l'Automobile) nebo v současnosti největší motoristickou organizaci na světě německou ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club). Dále také významné evropské výrobce automobilů. Všechny tyto zúčastněné subjekty se pak samozřejmě starají o financování chodu konsorcia, schvalování případných změn v testovacích procedurách, atd. Program je podporován také ze strany Evropské komise. Byl založen s úmyslem porovnávat bezpečnost nejpopulárnějších a tedy i nejprodávanějších vozidel na Evropském trhu a s postupem času narostl až do dnešních rozměrů. První výsledky byly zveřejněny v roce 1997, tehdy například pro vozidla Toyota Avensis, Nissan Primera, nebo Volvo S40.

Celý projekt bude mít samozřejmě smysl pouze tehdy, pokud budou všechny zkoušky porovnávat vozidla vzájemně zcela objektivně, tedy budou všem automobilkám takzvané „měřit stejným dílem“. Toho se konsorcium snaží dosáhnout mimo jiné také svým celoevropským složením co do členských subjektů. Po dobu existence se několikrát stalo, že právě tento stěžejní požadavek nebyl podle některých názorů beze zbytku naplněn. Například u Renaultu Laguna, který získal při nárazových zkouškách pět ze čtyř možných hvězdiček. Toto je samozřejmě dodnes přisuzováno skutečnosti, že právě automobilka Renault je v konsorciu významným podílníkem. Ať už Laguna prokázala při testech sebelepší výsledky, zanechala tímto v odborných kruzích na pověsti Euro NCAP hluboké šrámy. Internetová prezentace Euro NCAP pro Českou Republiku [14] je také pod vlajkou značky Renault a snaží se všemožnými způsoby vyzdvihovat úspěchy, kterých francouzský výrobce v této oblasti dosahuje. Upozorňuje na svoji vedoucí pozici v této oblasti, což je bezesporu velmi dobrý reklamní tah, ale zároveň je na zvážení každého, zda skutečně takto nevrhá na Euro NCAP stín pochybnosti.



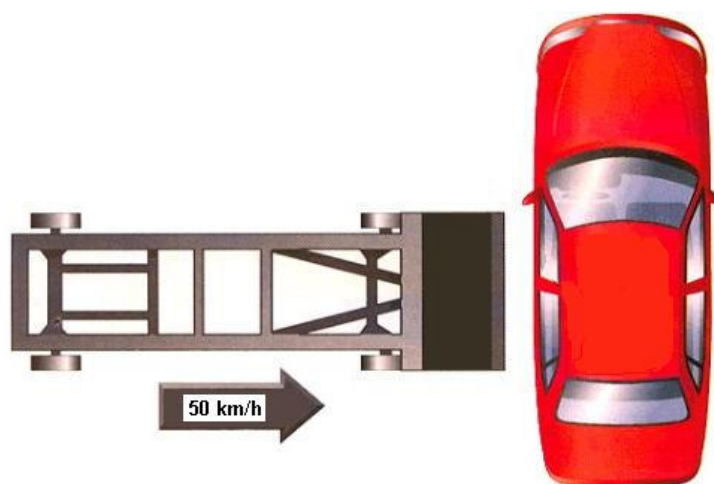
Obr. 2 - Čelní náraz. [15]

Samotné typy nárazových zkoušek pak vychází z dlouholetých statistických průzkumů dopravních nehod a snaží se vystihnout takové uspořádání, které je v dnešním provozu z dlouhodobého hlediska nejvíce pravděpodobné. Zaměřuje se tedy na oblast čelního a bočního nárazu, nárazu na sloup (dnes patří k volitelným zkouškám) a zabývá se také ochranou chodců. Blíže specifikováno

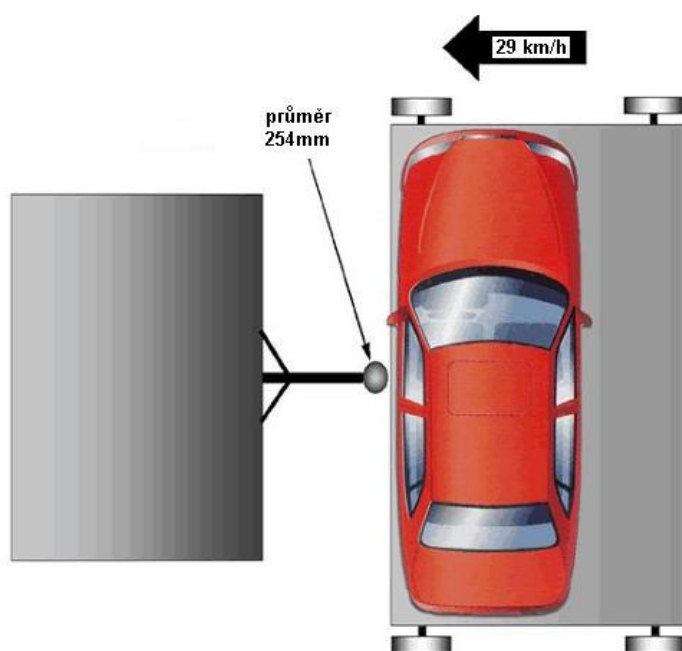
v [15] a [16].

Čelní náraz - probíhá při rychlosti 64km/h a vozidlo naráží do deformovatelné bariéry, 40% šířky své přední části. Často se také používá výraz přesazený test. (obr. 2) Poddajná bariéra je naladěna tak, aby odpovídala tuhosti přední části průměrného automobilu a simulovala tak věrně chování struktury. Na předních sedadlech jsou měřicí figuríny odpovídající průměrnému dospělému člověku, přičemž se v současnosti používají figuríny generace Hybrid III. Na zadních sedadlech jsou v dětských autosedačkách připoutány figuríny dětí ve věku 18 měsíců a 3 let. Zajímavostí je, že při homologaci nového vozidla je nárazová rychlost (proti požadavku Euro NCAP) pouze 56km/h. Ač se tento rozdíl nemusí zdát velký, nárazová energie, která musí být pohlcena, je takto o 30% vyšší. To samo vypovídá o náročnosti zkoušek Euro NCAP.

Boční náraz – probíhá při rychlosti nižší, 50km/h a uspořádání zkoušky znázorňuje obr. 3. Vždy ze strany řidiče do vozidla naráží vozík, jehož celková hmotnost je 950kg. Tento je vybaven stejně jako u čelního nárazu deformovatelnou bariérou, jejíž tuhost odpovídá tuhosti struktury přední části průměrného vozidla. Na místě řidiče je umístěna zkušební figurína, jejíž označení je EuroSID (Side Impact Dummy). Jedná se o figurínu, která je pro boční náraz co do instrumentace patřičně uzpůsobena. Zajímavostí v tomto případě je, že podle statistik celá polovina zranění při dopravních nehodách je důsledkem právě bočního nárazu. Bezesporně je to díky absenci hmoty, deformační zóny, která by pohltila kinetickou energii případného bočního nárazu. Navíc lidské tělo je na zrychlení působící v příčném směru citlivé více, než ve směru podélném.



Obr. 3 - Boční náraz. [15]



Obr. 4 - Náraz na sloup. [15]

Náraz na sloup – tato zkouška je zavedena do testovacího programu od roku 2000. Snaží se postihnout riziko poranění hlavy, ke kterému může dojít při nárazu na úzkou překážku, jako je sloup nebo strom. Vozidlo je umístěno na vozíku, který se s ním pohybuje rychlostí 29km/h a naráží do sloupu o průměru 254mm. (rozměr vychází z míry udávané v palcích = 10“) Tato zkouška vyžaduje u vozidla velmi dobrou tuhost bočních partií, náraz je soustředěn do velmi malého místa a sloup tak často proniká hluboko do kabiny. Tato zkouška se dnes používá pouze u

vozidel, která jsou vybavena bočními a hlavovými airbasy, čímž se ověřuje jejich funkce a efektivita. Náraz stejně jako u předchozí zkoušky probíhá ze strany řidiče. Uspořádání znázorňuje obr. 4.

Ochrana chodců – je dalším odvětvím, kterým se Euro NCAP při současných zkouškách na vozidlech zabývá. Přední část vozidla se rozdělí na definovaná místa a do nich se naráží speciálními tělesy, tzv. impaktory. Tyto simulují jednotlivé části, končetiny lidského těla a pomocí nich jsou pak získávány potřebné informace o vlastnostech struktury vozidla s ohledem na dopad chodce. Jedná se o modely nohy, kyčle, hlavy dítěte a dospělého člověka. Dopadová místa jsou vybírána tak, aby se při zkoušce postihly pro chodce jak nejvíce nebezpečné, tak nejvíce přívětivé podmínky dopadu. Snímá se převážně zrychlení/zpomalení a součet nárazových sil, působících na impaktor v čase. Simulace nárazu impaktoru nohy na nárazník je předmětem této diplomové práce.



Obr. 5 - Ochrana chodců. [15]

Ať už je historie udělování hvězdiček opředená jakýmikoli mýty nebo pověrami, byly dosud všechny zveřejněné výsledky vždy veřejností i odbornými kruhy akceptovány. Zejména pak ze strany automobilek, pokud je jejich vozidlo hodnoceno kladně. Dodnes je v této oblasti metodika Euro NCAP jediným měřítkem pro porovnání prvků pasivní bezpečnosti svého druhu, které je uznáváno a má dána jasná pravidla provádění.

1.2 Předpisy týkající se prvků ochrany chodců

1.2.1 70/156/EHS

6. února 1970 byla vydána směrnice Evropského parlamentu a Rady [22], o sblížení právních předpisů členských států týkajících se schvalování typu motorových vozidel a jejich přípojných vozidel. Směrnice reflektovala na skutečnost, že členské státy Evropského hospodářského společenství používaly ke schvalování provozu vozidel různé technické požadavky. Společenstvím bylo toto chápáno jako bariéra v možnostech vytváření a fungování společného trhu, kterou bylo nutné omezit, nebo lépe zcela odstranit. Právě za tímto účelem pak byla vydána výše zmiňovaná směrnice 70/156/EHS.

Tato obsahuje požadavky, které byly a jsou členské státy povinny plnit vedle nebo namísto svých stávajících zažitých právních předpisů. Směrnice obsahuje definice základních pojmů jako například co se rozumí vozidlem, schválením typu nebo EHS schválením typu. Dále přesně definuje veškeré náležitosti EHS schválení typu vozidla, přechodná opatření uplatněná po dobu zabíhání nových pravidel, obecná a závěrečná ustanovení, například o zřízení Výboru pro přizpůsobování směrnic. V neposlední řadě také vzor informačního dokumentu s poznámkami a vzor certifikátu EHS schválení typu motorového vozidla. Jestliže pak v některé z členských zemí prošlo vozidlo takto definovaným schvalovacím procesem, je dle směrnice mimo jiné povinná zaslat kopii certifikátu o schválení typu ostatním členským

zemím, aby byly s touto skutečností seznámeny a mohly podniknout v rámci sjednocení patřičné kroky. Stejně tak v případech, kdy může být z nejruznějších důvodů certifikát odebrán. Interval pro výměny těchto informací je 1 krát za měsíc. Rozsah směrnice v českém jazyce je 15 stran, dostupná ve formátech HTML, doc a pdf.

1.2.2 2003/102/ES

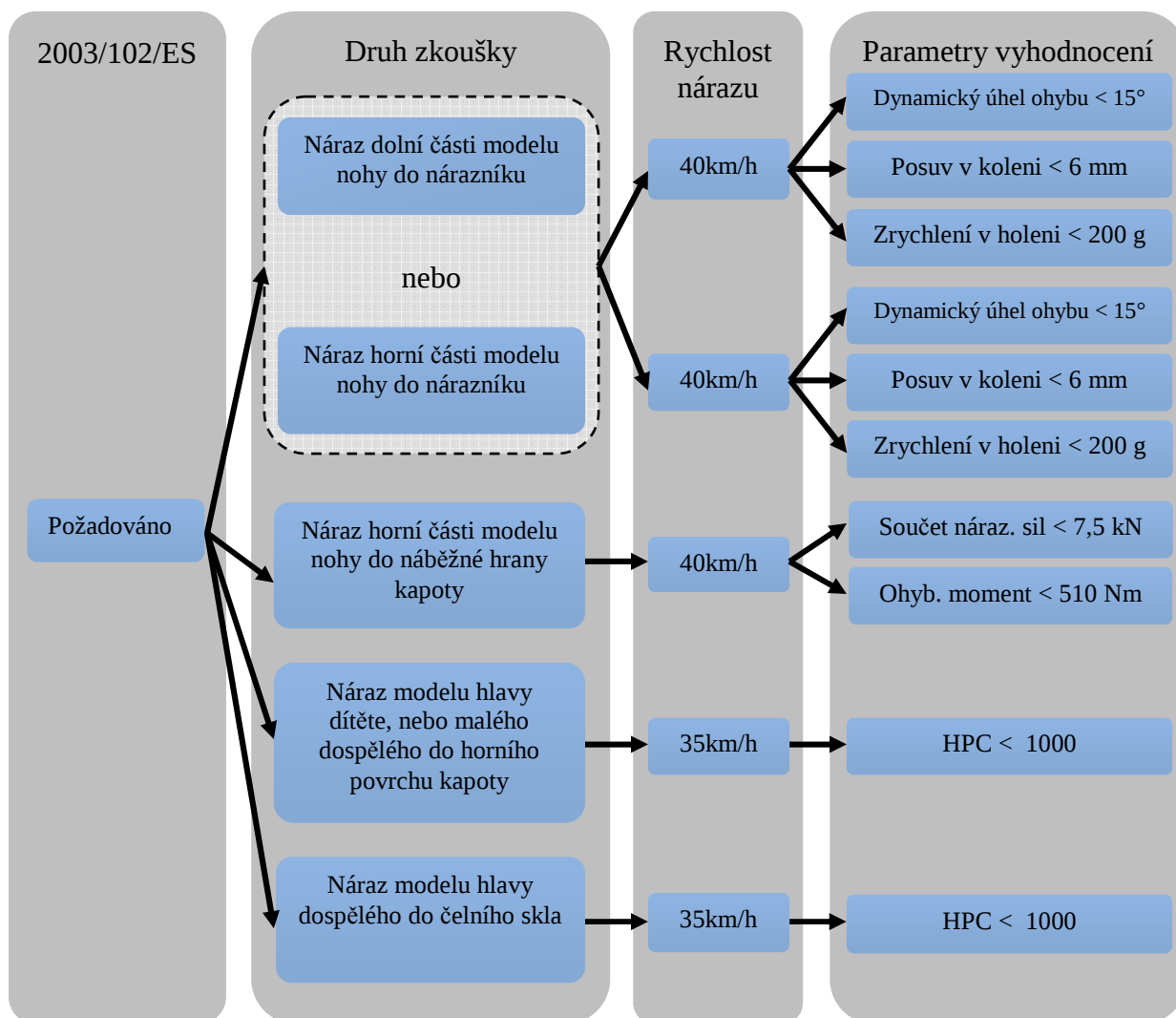
17. listopadu 2003 byla vydána navazující, Směrnice 2003/102/ES o ochraně chodců a ostatních nechráněných účastníků silničního provozu před střetem a v případě střetu s motorovým vozidlem. [19] Tato se již konkrétně týká ochrany chodců. Zahrnuje mimo jiné i změny směrnice jí v tomto předcházející, tedy 70/156/EHS. Změny přitom spočívají v zahrnutí všech zde přijatých opatření, zpětně do směrnice předchozí. Stejně jako v předchozí směrnici 70/156/EHS, je i zde věnována pozornost zachování jednoty v rámci členských zemí, tedy aby byly patřičné požadavky nebo předpisy v rámci Evropského společenství totožné. Směrnice navrhuje postup, kdy by mělo být potřebné úrovně ochrany chodců dosaženo vzájemnou kombinací prvků aktivní a pasivní bezpečnosti, což je spíše formální definice. Konkrétně pak bylo navrženo převzetí stávajících doporučení pro ochranu chodců, která byla vydána Evropským výborem pro zvýšení bezpečnosti vozidel (EEVC) v červnu roku 1999. Tato doporučení navrhuji zavedení funkčních požadavků, na přední části motorových vozidel některých kategorií, s cílem snížení jejich nebezpečnosti. Všechna doporučení shledalo Evropské společenství jako vyhovující a tudíž byla převzata.

Směrnice pak obsahuje soubor právě těch požadavků, které byly definovány dle EEVC již v roce 1999. V příloze III této směrnice, jsou uvedeny již konkrétní požadavky týkající se ochrany chodců. Definovány jsou zde zkoušky, kterými musí systém čelní ochrany automobilu projít a mezní hodnoty parametrů určených pro jejich vyhodnocení. Zároveň je vznesen také požadavek na přezkoumání těchto možností, tedy rozšíření působnosti na všechna vozidla s maximální hmotností nepřevyšující 3,5 tuny nezávislou komisí a její závěry mají být Evropskému parlamentu a Radě sděleny. V souladu s touto směrnicí se asociace zastupující evropské, japonské a korejské výrobce automobilů zavázaly, že zahájí používání první sady doporučení dle EEVC. Jednak dodržení zkoušek, mezních hodnot, dohodnutých alternativních opatření a to v následujícím rozsahu:

od roku 2005	80% všech nových vozidel
od 1. 7. 2010	90% všech nových vozidel
od 31. 12. 2012	všech nových vozidel

Tab. 1 - Zkoušky prováděné u nových vozidel dle 2003/102/ES.

Směrnice přesně obsahuje změnové úkony pro 70/156/EHS, definice několika základních pojmů, technická ustanovení typů požadavků na zkoušky a správní ustanovení pro ES schválení typu. Směrnice je v českém jazyce dostupná pouze ve formátu HTML, rozsah je 9 stran. Veškeré požadavky by se pak daly shrnout do následujícího schématu, viz obr. 6.



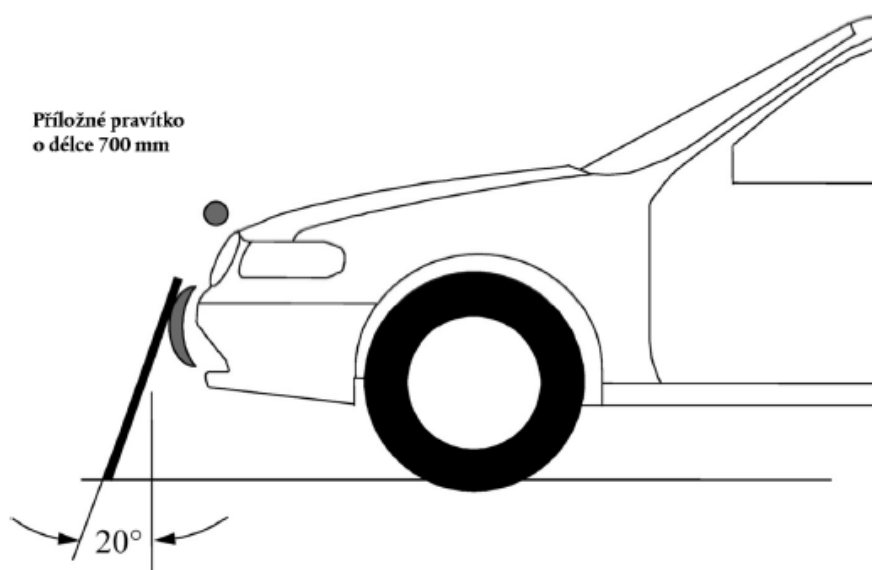
Obr. 6 - Rozdělení a požadavky na zkoušky systému čelní ochrany dle 2003/102/ES.

1.2.3 2005/66/ES

26. října 2005 vydal Evropský parlament a Rada směrnici 2005/66/ES [20] o použití systémů čelní ochrany na motorových vozidlech a také o změně výše zmíněné směrnice Rady 70/156/EHS. Tato směrnice se týká kontroly prvků systémů čelní ochrany vozidel, které jsou montovány dodatečně a to bez rozdílu, zda byly tyto prvky na vozidle montovány již výrobcem nebo jsou k vozidlu dodávány dodatečně jako volitelné příslušenství. Účelem je samozřejmě také sjednotit požadavky napříč členskými zeměmi. Dle nařízení jsou tyto země povinny od 25. srpna 2006 odebrat nebo udělit certifikát ES schválení typu vozidla, které splňuje nebo nesplňuje požadavky stanovené v příloze I a II této směrnice. Zároveň také říká, že má-li vozidlo certifikát shody dle směrnice starší (70/156/EHS) a nesplňuje nově stanovené požadavky, má být tento prohlášen za neplatný. Směrnice obsahuje základní definice, prováděcí opatření a změny, vstup v platnost a přílohy. Příloha pak dále obsahuje konstrukční požadavky na systémy čelní ochrany, opět také konkrétní požadavky na typ prováděných zkoušek a maximální hodnoty měřených parametrů, kterých by mělo být dosaženo.

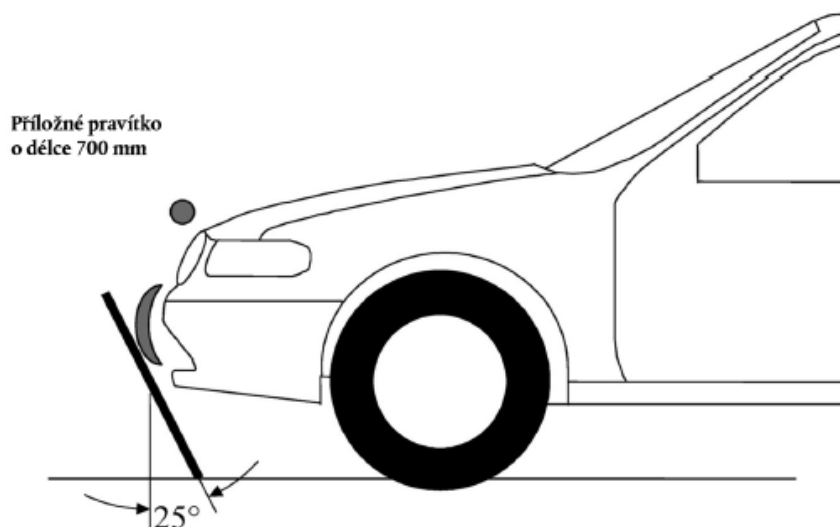
Uvedu zde několik pojmů, které směrnice definuje a které jsou s ohledem na téma této práce významné:

- *Systém čelní ochrany* – samostatná konstrukce, jako například pevný ochranný rám, nebo přídavný nárazník, který je umístěn nad nebo pod nárazník stávající a který je součástí původního vybavení vozidla. Montuje se za účelem ochrany vnějšího povrchu vozidla před poškozením, v případě střetu s předmětem. Konstrukce, jejichž celková hmotnost je menší než 0,5 kg a jsou určeny k ochraně světel vozidla, se z této definice vyjímají.
- *Nárazník* – čelní, vnější, spodní část vozidla. Zahrnuje veškeré prvky, jejichž účelem je chránit vozidlo v případě čelního střetu s jiným vozidlem v nízké rychlosti. Součástí nárazníku jsou také přídavná zařízení, jako například podložky pro připevnění registrační značky. Naopak nezahrnuje zařízení, která jsou k vozidlu připevněna až po schválení typu a jejichž účelem je dodatečná čelní ochrana vozidla.
- *Horní vztažná čára systému čelní ochrany* – geometrické místo nejvyšších bodů dotyku přiloženého pravítka o délce 700mm se systémem čelní ochrany, (nebo s přední částí vozidla - podle toho, čeho se dotkne) když se s pravítkem skloněným pod úhlem 20° dopředu, pohybuje ve svislé rovině, příčně podél přední části vozidla. Přitom se musí stále dotýkat vozovky i vozidla současně. Jedná se o množinu horních bodů, kterých se dotýká chodec. Postup je znázorněn viz obr. 7.



Obr. 7 - Postup stanovení horní vztažné čáry systému čelní ochrany. [21]

- *Dolní vztažná čára systému čelní ochrany* - geometrické místo nejnižších bodů dotyku přiloženého pravítka o délce 700mm se systémem čelní ochrany, (nebo s přední částí vozidla - podle toho, čeho se dotkne) když se s pravítkem skloněným pod úhlem 25° dopředu, pohybuje ve svislé rovině, příčně podél přední části vozidla. Přitom se musí stále dotýkat vozovky i vozidla současně. Jedná se o množinu spodních bodů, kterých se dotýká chodec. Postup je znázorněn viz obr. 8.



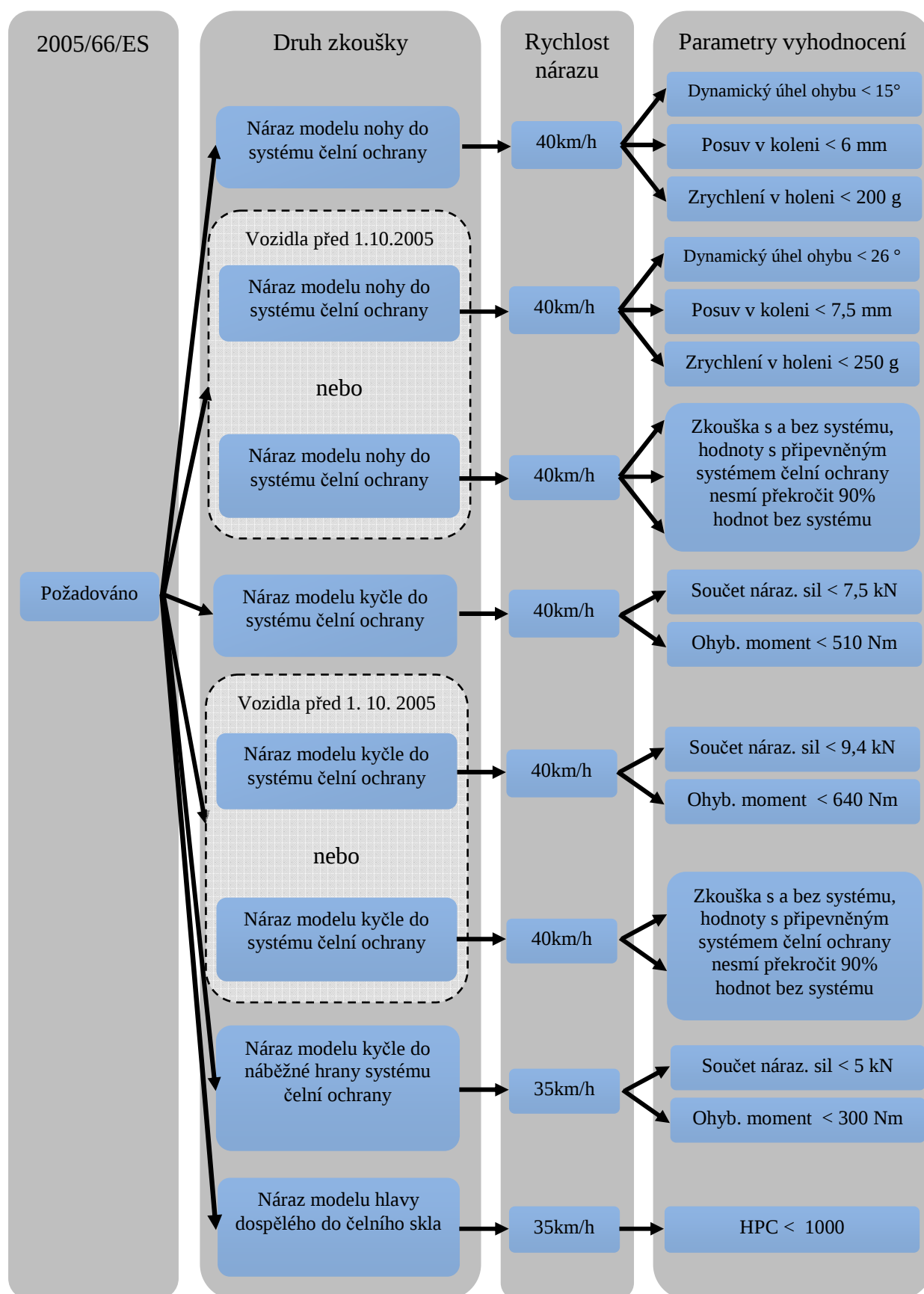
Obr. 8 - Postup stanovení dolní vztažné čáry systému čelní ochrany.

Ostatní směrnici definované pojmy se přímo netýkají nárazu impaktoru nohy, proto je zde nebude uvádět.

Pro systémy čelní ochrany jsou pak dále definovány následující požadavky:

- Musí být vyroben tak, aby veškeré pevné plochy, kterých se může dotknout koule o průměru 100mm, měly minimální poloměr zakřivení 5mm.
- Celková hmotnost systému čelní ochrany včetně veškerých úchytů a držáků nesmí přesáhnout 1,2% hmotnosti vozidla, pro nějž je určen, přičemž maximální povolená hmotnost je 18kg.
- Systém nesmí v žádném bodě převyšovat vztaznou čáru náběžné hrany kapoty o více než 50mm
- Systém nesmí rozšířit vozidlo, k němuž je připevněn. Představuje-li systém čelní ochrany více než 75% šířky vozidla, musí být kvůli snížení rizika zachycení konce zahnutý směrem k vnějšímu povrchu vozidla. Tento požadavek je považován za splněný, pokud je mezera mezi vozidlem menší než 20mm, nebo je systém zapuštěný do karoserie.
- Vzdálenost systému čelní ochrany od vozidla nesmí být větší než 80mm.
- Musí být zachována funkce nárazníku, takže vzdálenost systému od nárazníku nesmí být větší než 50mm.
- Systém nesmí být nakloněn vpřed od svislice a jeho nejvyšší části nesmí přechýlávat vzhůru, ani dozadu k čelnímu sklu o více než 50mm.
- Spolu se systémem čelní ochrany musí být dodáván seznam vozidel, pro nějž je použitelný a také srozumitelný návod k montáži.

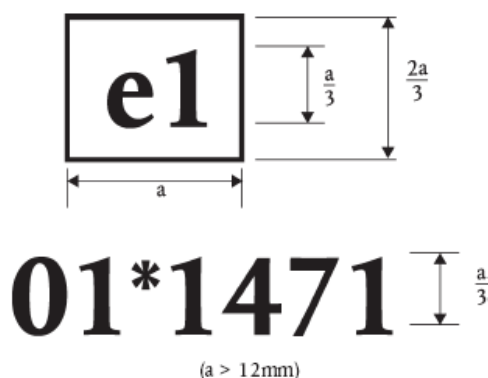
Definované zkoušky jsou znázorněny ve schématu, viz obr. 9, na následující straně.



Obr. 9 - Rozdělení a požadavky na zkoušky systému čelní ochrany dle 2005/66/ES.

Jak je ze schématu patrné, u zkoušky nárazu impaktoru nohy a kyčle umožňuje norma výjimku pro vozidla, kterým byl udělen certifikát ES schválení typu před 1. 10. 2005. Zde se buď připouští vyšší dovolené hodnoty, nebo se provádí měření na vozidle bez tohoto systému a s ním, kdy je dán požadavek, aby hodnoty s namontovaným systémem čelní ochrany tvořily nejvýše 90% hodnot na vozidle bez něho.

V závěru směrnice je vzor certifikátu ES schválení typu a příklad značky ES schválení typu.



Obr. 10 - Příklad značky ES. [21]

Zařízení opatřené touto značkou ES schválení typu je pro systém čelní ochrany, jehož typ byl schválen v Německu (e1) v souladu s touto směrnicí (01) pod základním číslem schválení typu 1471. Hvězdička pak znamená, že systém čelní ochrany byl pro zkoušky impaktoru nohy schválen za upravených podmínek. Jedná se tedy o vozidlo s ES schválením typu uděleným před 1. 10. 2005. Nebyl-li tento postup orgánem schválen, je hvězdička nahrazena mezerou. Značka musí být na systému čelní ochrany umístěna tak, aby byla nesmazatelná a jasně čitelná i pokud je systém připevněn na vozidlo. Pro úplnost zde uvedu také číselné symboly jednotlivých členských zemí.

č.	země	9	Španělsko	26	Slovinsko
1	Německo	11	Spojené království	27	Slovenská Republika
2	Francie	12	Rakousko	29	Estonsko
3	Itálie	13	Lucembursko	32	Lotyšsko
4	Nizozemsko	17	Finsko	36	Litva
5	Švédsko	18	Dánsko	49	Kypr
6	Belgie	20	Polsko	50	Malta
7	Maďarsko	21	Portugalsko	IRL	Irsko
8	Česká Republika	23	Řecko		

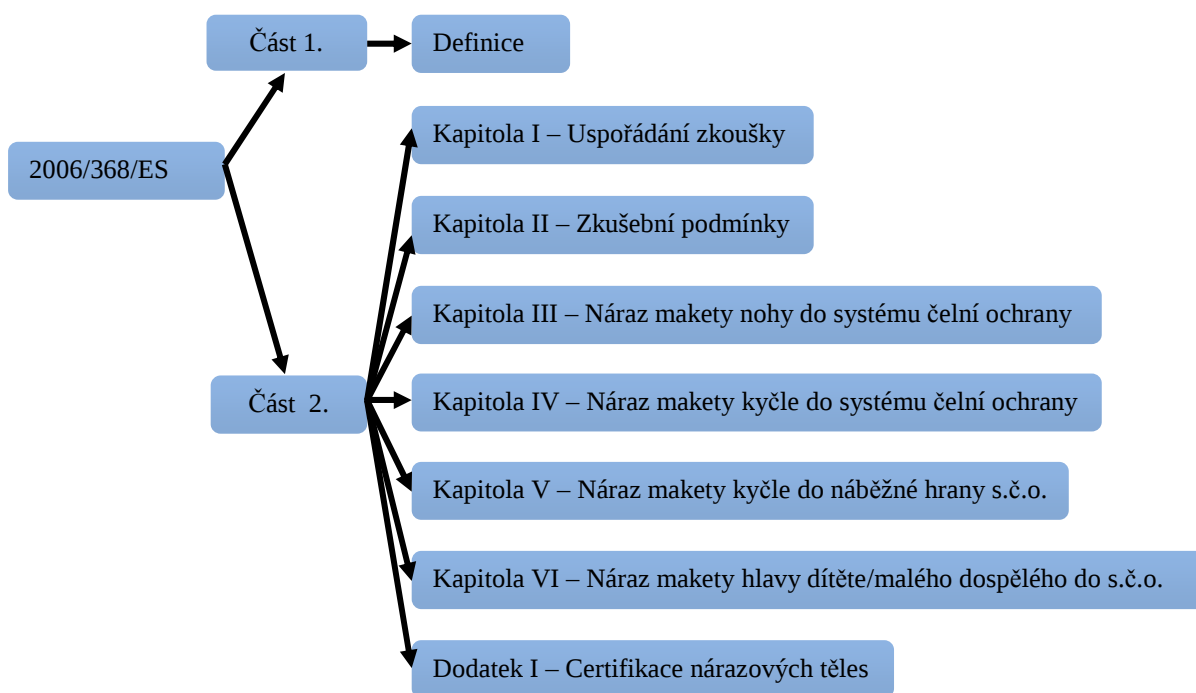
Tab. 2 - Členské státy a jim odpovídající číselný kód ve značce ES schválení typu.

Směrnice je v českém jazyce dostupná ve formátech HTML, doc a pdf, rozsah je 18 stran.

1.2.4 2006/368/ES

20. března 2006 pak byla vydána zatím poslední směrnice, týkající se ochrany chodců a to konkrétně 2006/368/ES. [21] Odvolává se na předchozí směrnice 70/156/EHS, 2005/66/ES a stanovuje podrobné technické požadavky na zkoušky, které byly stanoveny v bodě 3, přílohy I, druhé z uvedených směrnic. Schéma rozdělení zkoušek je pak uvedeno viz obr. 9. Vzhledem k tomu, že byly tyto zkoušky převzaty z předpisů EEVC, měly by z doporučení EEVC vycházet také podrobné technické požadavky. Tyto jsou zde uvedeny. Je zde také uvedeno, že v případě použití jednoho univerzálního typu systému čelní ochrany pro více vozidel, je nutné provádět zkoušky na každém vozidle samostatně. Od dodatečných zkoušek lze upustit pouze tehdy, uzná-li zkušební orgán tyto zařízení za dostatečně podobné. Toto nařízení se dnes uplatňuje stále více, zejména v době koncernových uspořádání automobilek, kdy jsou tyto sdruženy do velkého celku a v rámci snížení výrobních nákladů

vyrábí velkou část stejných komponentů pro více modelových řad a značek. Obsah směrnice je znázorněn na obr. 11.



Obr. 11 - Struktura směrnice 2006/368/ES.

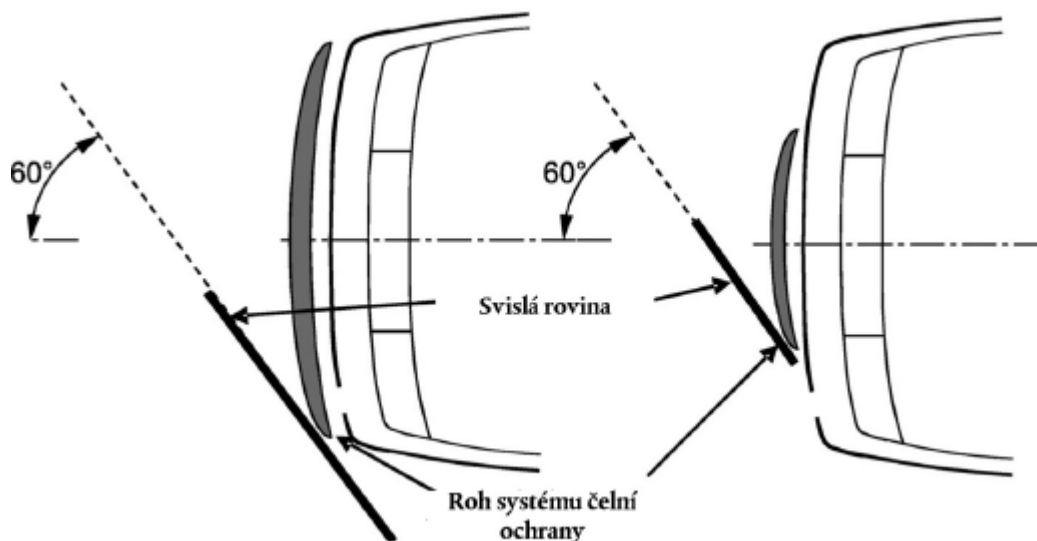
Směrnice tedy definuje požadavky na provádění vlastních zkoušek a v dodatku I také požadavky na nutnou certifikaci nárazových těles (dále impaktorů). Zaměřím se tedy blíže na obsah směrnice v souvislosti s nárazem impaktoru nohy na systém čelní ochrany a uvedu zde několik podrobností.

1.2.4.1 Definice

Směrnice po stránce definic navazuje také na směrnice předchozí. Uvedu zde definici pouze těch pojmů, které se vyskytují v souvislosti se zkouškou nárazu impaktoru nohy.

- *Vztažná úroveň vozovky* – rozumí se jí vodorovná rovina, představující úroveň vozovky pro vozidlo stojící v klidu, na rovinném povrchu, se zataženou ruční brzdou, v normální jízdní poloze.
- *Roh systému čelní ochrany* – je to bod dotyku systému čelní ochrany se svislou rovinou, svírající s podélnou osou vozidla úhel 60°. Spodní okraj roviny musí být na vztažné úrovni vozovky a horní okraj ve výšce 600mm. Toto ukazuje obr. 7.
- *Střed kolena impaktoru nohy* – jedná se o bod, ve kterém se použitý impaktor nohy skutečně ohýbá.
- *Stehno impaktoru nohy* – rozumí se jím všechny díly nebo konstrukční části (včetně svaloviny, krycí kůže, měřicího zařízení, držáků, kladek apod., připevněných k nárazovému tělesu za účelem jeho uvedení do pohybu) nad úroveň středu kolena.
- *Bérec impaktoru nohy* - rozumí se jím všechny díly nebo konstrukční části (včetně svaloviny, krycí kůže, měřicího zařízení, držáků, kladek apod., připevněných

k nárazovému tělesu za účelem jeho uvedení do pohybu) pod úrovní středu kolena. Zahrnuje také hmotnost chodidla.



Obr. 12 - Postup stanovení rohu systému čelní ochrany. [21]

Ostatní směrnici definované pojmy se přímo netýkají přímo nárazu impaktoru nohy, proto zde nebudou uvedeny.

1.2.4.2 Uspořádání zkoušky

Je-li systém čelní ochrany součástí původního vybavení připevněného k vozidlu, pak:

- Vozidlo musí být v normální jízdní poloze a bezpečně uloženo buď na zvýšených podpěrách, nebo stojící na kolech v klidu a na rovinném povrchu se zataženou ruční brzdou. Vozidlo musí být vybaveno zkoušeným systémem čelní ochrany, přitom je třeba přesně dodržet montážní pokyny od výrobce, které by měly obsahovat také utahovací momenty všech upevňovacích prvků.
- Všechna zařízení určená k ochraně chodců a jiných nechráněných účastníků silničního provozu musí být aktivována, nebo v případě možnosti jejich odpojení musí během příslušné zkoušky zůstat v činnosti. Žadatel musí předvést, že všechna tato zařízení budou při střetu s chodcem fungovat tak, jak u nich bylo zamýšleno.
- Všechny součásti vozidla, které by mohly změnit tvar nebo polohu, jako například zasouvateľné světlomety, se při zkouškách nastaví do tvaru nebo polohy, kterou zkušební orgány považují za nejvhodnější. Toto neplatí pro zařízení, určená právě k ochraně chodců. Ta zůstávají ve výchozí poloze.

Je-li systém čelní ochrany samostatný technický celek, pak:

- Zkouška může být provedena buď se systémem čelní ochrany připevněným na vozidle typu pro něž je určen, nebo na zkušebním rámu co nejpřesněji zastupujícím základní vnější rozměry přední části zamýšleného vozidla. Jestliže se při zkoušce v případě použití pomocného rámu dostane systém čelní ochrany do kontaktu s rámem, musí se zkouška opakovat se systémem namontovaným na skutečném typu vozidla, pro něž je

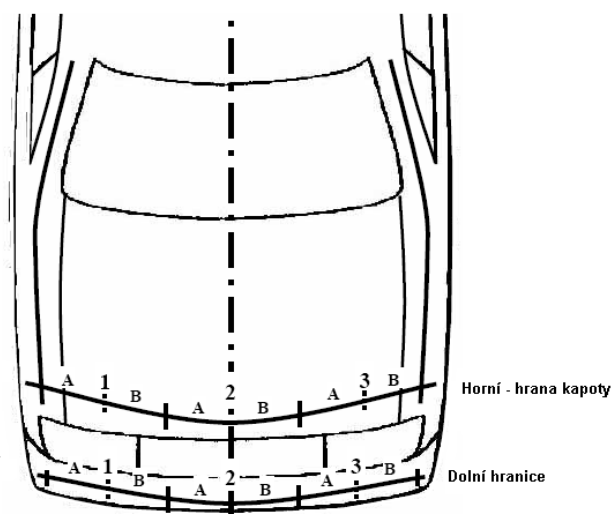
určen. V případě zkoušek prováděných na systému čelní ochrany montovaném na vozidle, platí podmínky stanovené výše.

1.2.4.3 Účel zkoušky

- Účelem zkoušky je prokázat, že jsou splněny příslušné požadavky, uvedené v příloze I, směrnice 2005/66/ES viz obr. 9.

1.2.4.4 Zkušební body

- Na vozidle se jasně vyznačí oblasti, ve kterých se budou provádět nárazové zkoušky. Od pravého okraje se nárazník vozidla rozdělí postupně na 3 oblasti, U1, U2 a U3 a každá z těchto třetin se dále rozdělí na dvě poloviny A a B viz obr. 13.
- Provedou se nejméně tři zkoušky nárazem impaktoru nohy do systému čelní ochrany a to ve zkušebních bodech, které leží mezi horní a dolní vzažnou čarou systému čelní ochrany viz obr. 7 a obr. 8.
- Zkušební body musí být v místech, která mohou podle zkušebního orgánu s největší pravděpodobností způsobit zranění. Často se volí místo, kde je v nárazníku umístěno vlečné oko. Místo něho se do nárazníku vloží záslepka a provádí se zde zkouška. Potenciálně nebezpečná jsou také místa, kde se napojuje hrana kapoty na světlomet. Dále například v místech, kde je nárazník uchycen k vozidlu. V těchto místech se dá očekávat vyztužení nárazníku a tím pádem jeho menší poddajnost. V těchto místech si pak Euro NCAP vyhrazuje právo na provedení zkoušky.
- Místa nárazu by dále měly být minimálně 66mm od kraje nárazníku a ve vzdálenosti minimálně 132mm od sebe. Tyto rozměry vychází z průměru impaktoru.
- Pokud výrobce automobilu zjistí, že některý z vybraných bodů nepodává o chování struktury přesné informace (výsledky), může navrhnout a zaplatit testování dodatečným testem, v jím navržené zóně, která bude ležet v některé z pěti zbývajících částí. Tyto zóny musí být vybrány před zkoušením a Euro NCAP si pak z těchto zón vybere potenciálně nejvíce nebezpečná místa.
- Dál je možné, se dohodnout s výrobcem vozidla na využití symetrie. Provede se nárazová zkouška v jistém bodě a stejná hodnota se pak odsouhlasí bez měření také pro druhé, symetricky odpovídající místo.
- Pokud se výsledky zkoušky v hodnocené oblasti liší, je třeba provést zkoušku na různých typech konstrukcí.
- Body ve kterých se zkouška prováděla, musí být také uvedeny ve zkušebním protokolu.

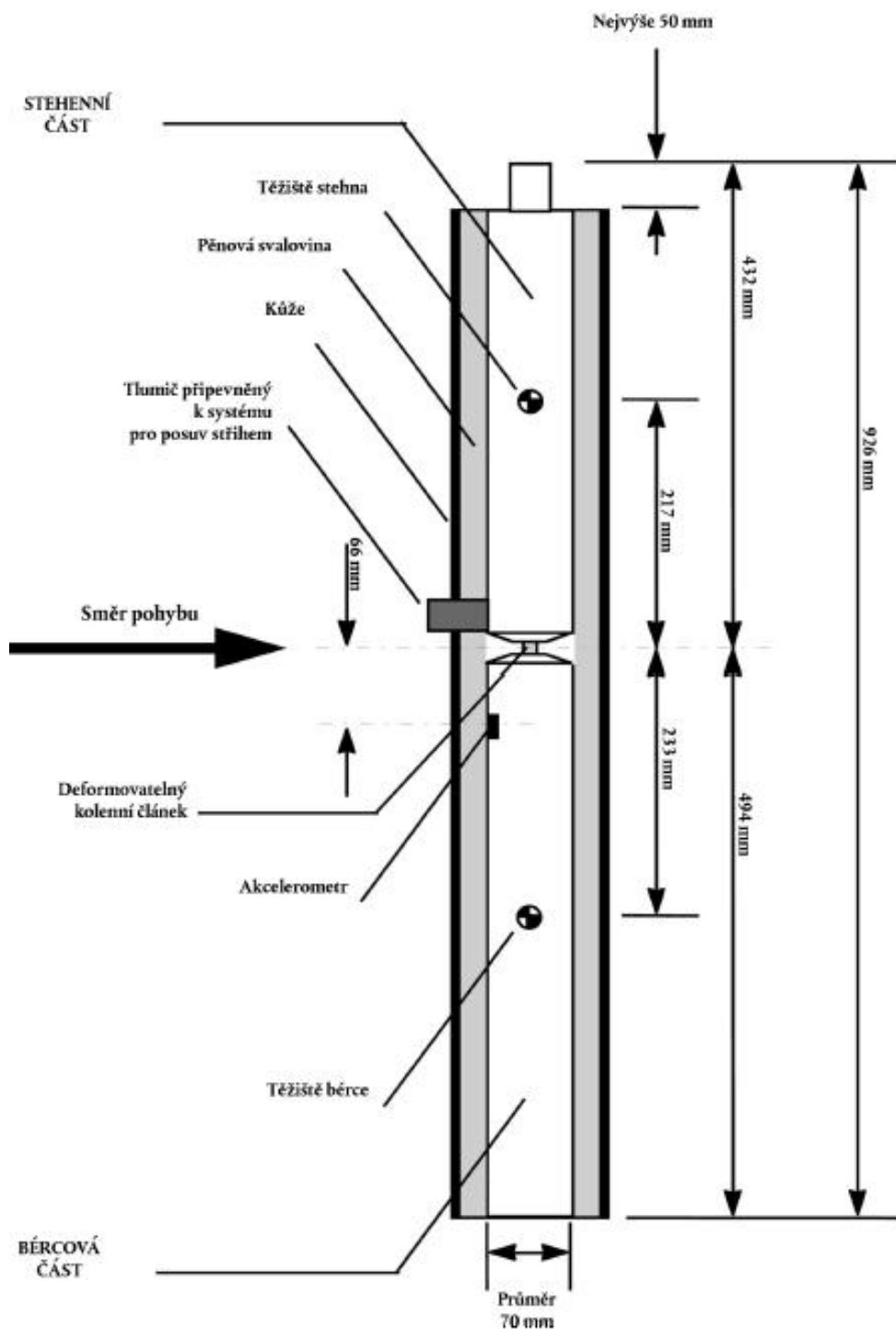


Obr. 13 - Schéma znázorňující umístění zkušebních bodů na vozidle. [21]

1.2.4.5 Zkušební zařízení – impaktor:

- Model nohy použitý jako impaktor, musí tvořit dva tuhé díly pokryté vrstvou pěnového materiálu, představujícího stehno (horní část nohy) a bérce (dolní část nohy). Oba díly jsou spojeny modelem deformovatelného kolenního kloubu. Nárazové těleso musí mít celkovou délku $926 \pm 5 \text{ mm}$ a musí splňovat následující požadavky.
- Průměr stehenní a holenní kosti musí být $70 \pm 1 \text{ mm}$ a obě musí být pokryty pěnovým materiálem představujícím svalovinu a kůži. Pěnová svalovina musí být vyrobena z pěnového materiálu ConforTM, typ CF-45. Je možné použít i jiného, ekvivalentního materiálu. Tloušťka musí být 25mm. Kůže musí být vyrobena z neoprenové pěny o celkové tloušťce 6mm, potažené z obou stran nylonovou tkaninou o tloušťce 0,5mm.
- Délka stehna musí být 432mm a délka bérce 494mm. Délky jsou měřeny od středu kolena.
- Celková hmotnost stehna musí být $8,6 \pm 0,1 \text{ kg}$, celková hmotnost bérce $4,8 \pm 0,1 \text{ kg}$ a celková hmotnost impaktoru $13,4 \pm 0,2 \text{ kg}$.
- Těžiště stehna musí být ve vzdálenosti $217 \pm 10 \text{ mm}$ od středu kolena a těžiště bérce $233 \pm 10 \text{ mm}$ od středu kolena.
- Moment setrvačnosti stehna a bérce, vzhledem k vodorovné ose vedené příslušným těžištěm a kolmé ke směru nárazu, musí být u stehna $0,127 \pm 0,01 \text{ kg/m}^2$ a bérce $0,12 \pm 0,01 \text{ kg/m}^2$.
- Jeden jednoosý akcelerometr se připevní na stranu bérce, odvrácenou od bodu nárazu, ve vzdálenosti $66 \pm 5 \text{ mm}$ pod středem kolena, s osou citlivosti ve směru nárazu.
- Nárazové těleso musí být vybaveno také zařízením pro měření úhlu ohybu a posuvu stříhem, mezi stehnem a bérce.
- Systém měření posuvu stříhem se vybaví tlumičem, který může být připevněn v libovolném místě na zadním povrchu impaktoru, nebo uvnitř něj. Tlumič musí mít takové vlastnosti, aby nárazové těleso splňovalo statické i dynamické požadavky pro posuv stříhem a aby zabránil nadměrným vibracím systému pro posuv stříhem.

Orientační schéma se základními rozměry a parametry impaktoru je uvedeno na obr. 14.



Obr. 14 - Schéma impaktoru nohy se základními rozměry. [21]

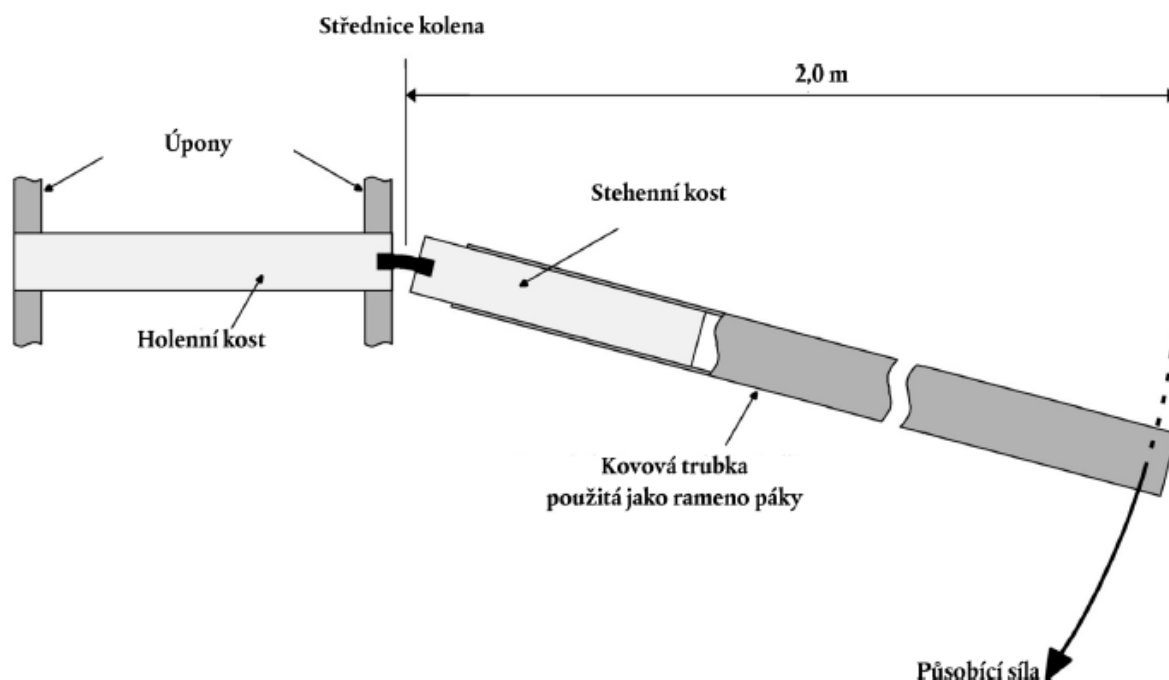
1.2.4.6 Certifikační zkoušky impaktoru nohy:

Pro impaktor nohy definuje směrnice celkem tři zkoušky. Z toho dvě jsou statické a jedna dynamická.

- V případě všech tří zkoušek, musí být stabilizovaná teplota nárazového tělesa během certifikace $20 \pm 2^\circ$.

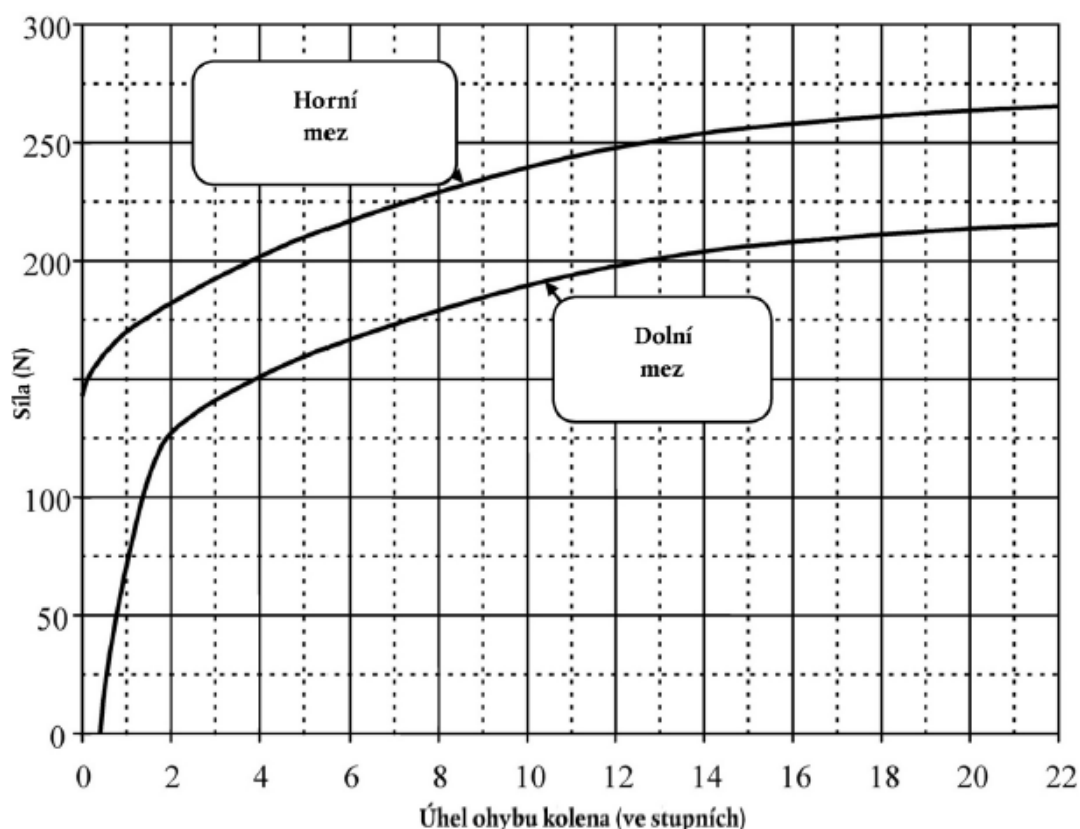
Statická ohybová zkouška:

- Hodnoty CAC odezvy snímačů (definována blíže v normě ISO 6487:2000) musí být 50° pro úhel ohybu a 500N pro působící sílu. Je dovolena také filtrace dolní propustí s přiměřeným kmitočtem, aby se odstranil šum o vyšších kmitočtech.
- Aby mohl kolenní kloub správně fungovat, (deformovat se) musí být impaktor při obou zkouškách orientován požadovaným směrem s danou přesností. Tolerance polohy je dána úhlem natočení $\pm 2^\circ$ kolem své podélné osy.
- Nárazové těleso bez pěnového obložení a potahu se upevní za holenní kost k vodorovnému povrchu a na stehenní kost se nasune kovová trubka. Aby se vyloučily chyby vzniklé třením, nesmí být u stehenní kosti, ani u nasazené kovové trubky, použity žádné podpěry. Ohybový moment ve středu kolenního kloubu daný hmotností kovové trubky a ostatních součástí (bez vlastního impaktoru nohy) nesmí překročit 25Nm.
- Na kovovou trubku musí působit kolmá vodorovná síla, ve vzdálenosti $2 \pm 0,01$ m od středu kolenního kloubu a současně se musí zaznamenat úhel ohybu kolena. Zátěž se zvyšuje, dokud úhel ohybu kolena nepřekročí 22° . Schéma zkoušky viz obr. 15.



Obr. 15 - Uspořádání statické ohybové certifikační zkoušky. [21]

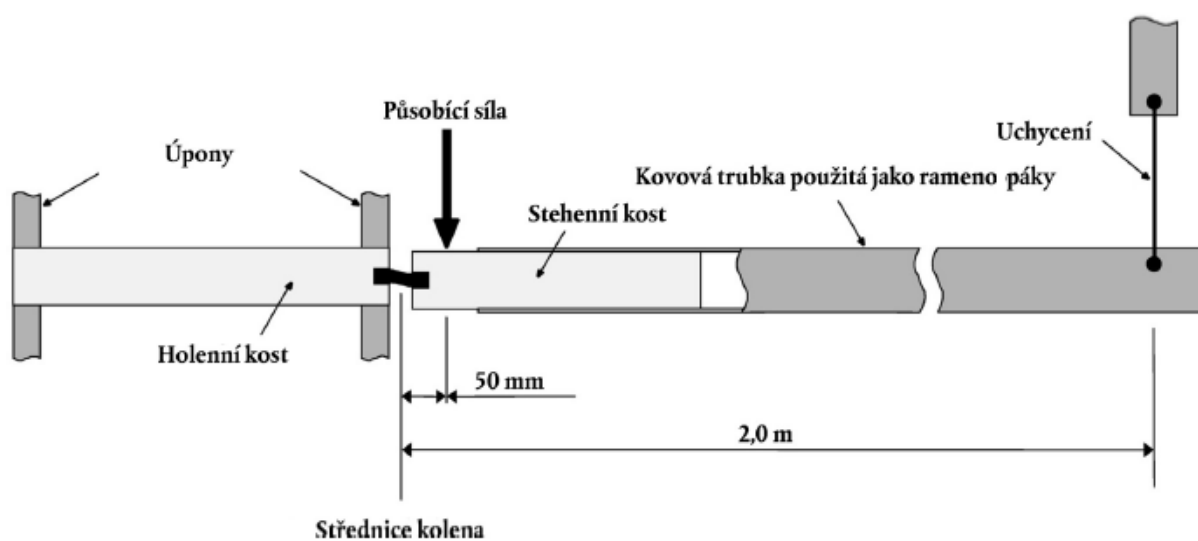
- Energie potřebná k vyvolání úhlu ohybu 15° musí být 100 ± 7 J.
- Energie se vypočte integrací síly podle úhlu ohybu v radiánech a vynásobením délkou ramene páky $2 \pm 0,01$ m.
- Pokud je nárazové těleso zatíženo ohybem podle předchozího požadavku, musí být vzájemná vazba mezi působící silou a úhlem ohybu kolena dána diagramem viz obr. 16.



Obr. 16 - Závislost působící síly a úhlu ohybu kolena. [21]

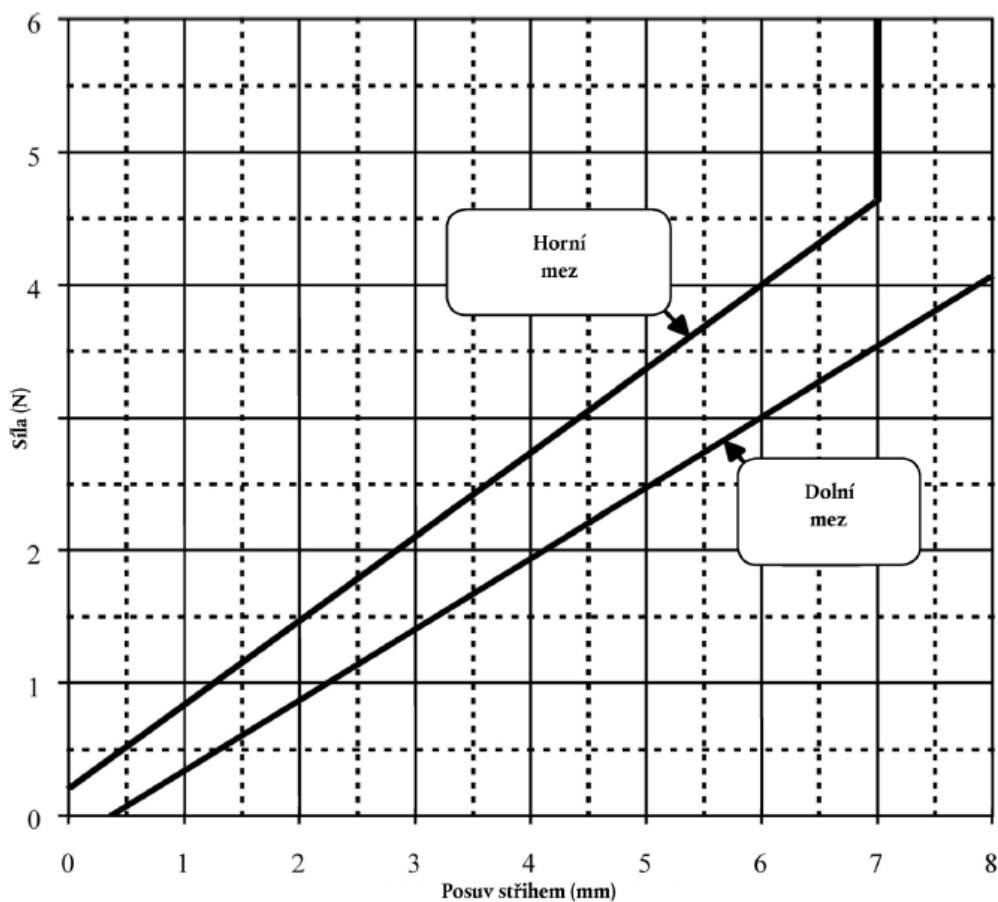
Statická zkouška stříhem:

- Hodnoty CAC odezvy snímačů (definována blíže v normě ISO 6487:2000) musí být 10mm pro posuv stříhem a 10kN pro působící sílu. Je dovolena také filtrace dolní propustí s přiměřeným kmitočtem, aby se odstranil šum o vyšších kmitočtech.
- Nárazové těleso bez pěnového obložení a potahu se upevní tak, že holenní kost bude pevně upnuta k vodorovnému povrchu a na stehenní kost se nasune kovová trubka. Ta je uchycena ve vzdálenosti 2m od středu kolena.
- Na stehenní kost musí působit kolmá svislá síla, ve vzdálenosti 50mm od středu kolena. Musí být zaznamenána velikost posuvu stříhem v koleni. Zátěž se musí zvyšovat, dokud posuv kolene stříhem nepřekročí 8mm, nebo působící síla nepřekročí 6kN. Schéma zkoušky znázorňuje obr. 17.



Obr. 17 – Uspořádání statické zkoušky stříhem. [21]

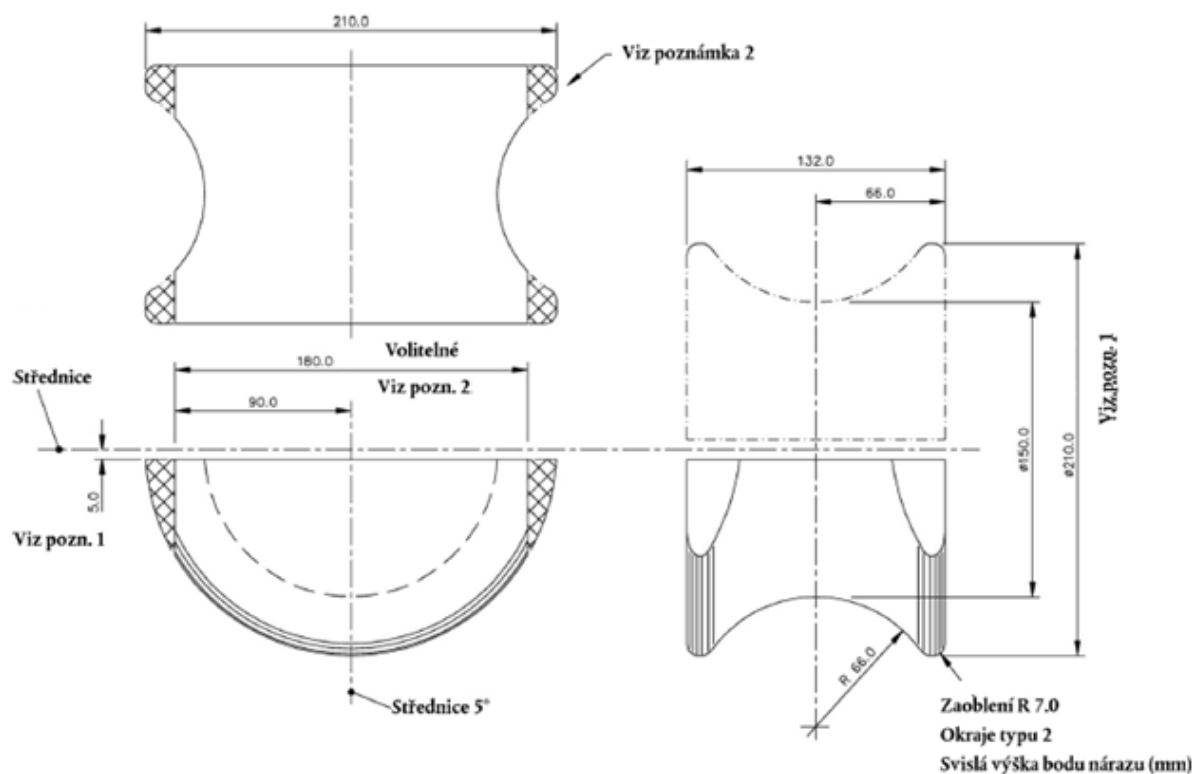
- Pokud je nárazové těleso zatíženo stříhem dle předchozích požadavků, musí být vzájemná vazba mezi působící silou a posuvem stříhu ohybu kolena dána diagramem viz obr. 18.



Obr. 18 – Závislost působící síly, na posuvu stříhem v koleni. [21]

Dynamická zkouška:

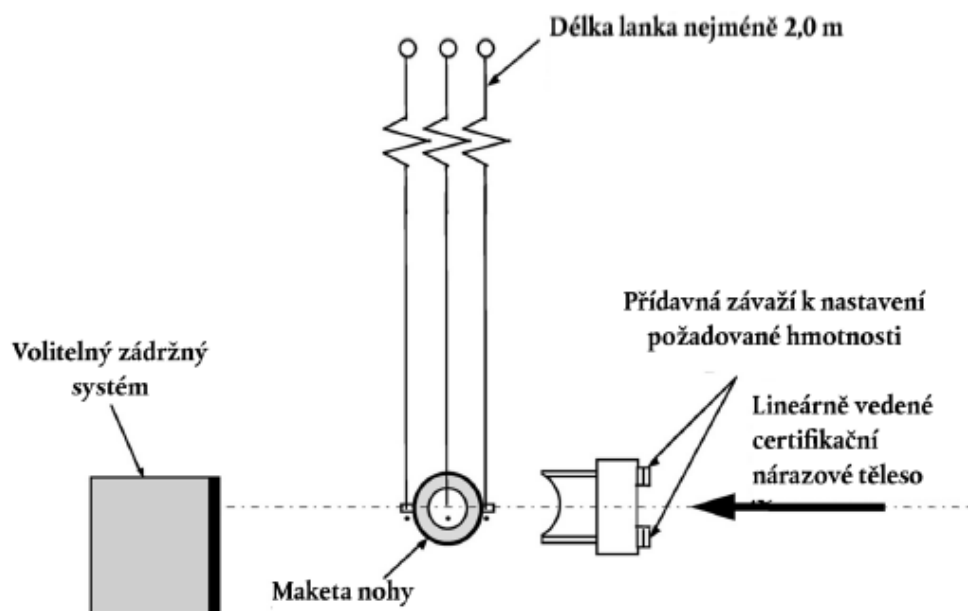
- Hodnoty CAC odezvy snímačů (definována blíže v normě ISO 6487:2000) musí být 50° pro úhel ohybu kolena, 10mm pro posuv stříhem a 500g pro zrychlení. Není ale nutné, aby bylo samo nárazové těleso schopno fyzického ohybu nebo stříhu až do těchto hodnot.
- Nárazové těleso včetně pěnového obložení a potahu, se zavěsí horizontálně, na tři lanka o průměru $1,5 \pm 0,2$ mm a délce nejméně 2m. Podélná osa impaktoru musí ležet ve vodorovné rovině s maximální odchylkou $\pm 0,5^\circ$ a kolmo na směr pohybu certifikačního nárazového tělesa, s povolenou odchylkou $\pm 2^\circ$. Aby mohl kolenní kloub správně fungovat, (deformovat se) musí být nárazové těleso orientováno vzhledem ke své podélné ose požadovaným směrem, s odchylkou $\pm 2^\circ$.
- Certifikační nárazové těleso musí mít hmotnost $9 \pm 0,05$ kg. Hmotnost přitom zahrnuje i díly hnacího a vodícího systému. Rozměry čela certifikačního tělesa, musí odpovídat údajům na obr. 19.
- Čelo certifikačního nárazového tělesa musí být vyrobeno z hliníku, s drsností vnějšího povrchu minimálně $2 \mu\text{m}$.



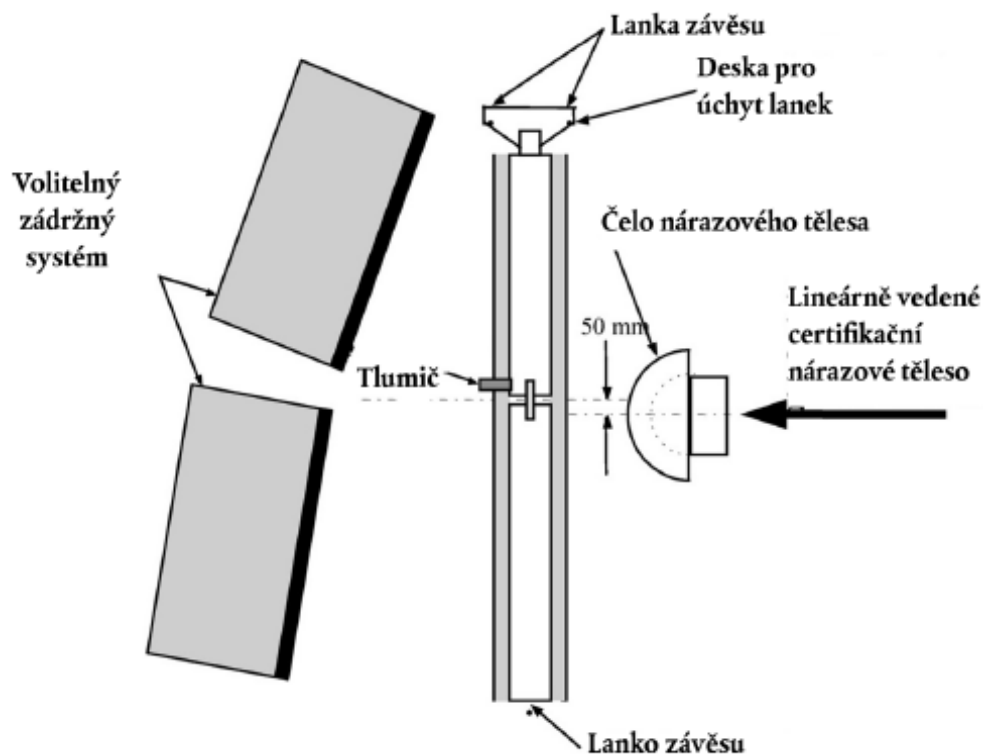
Obr. 19 - Nárazové těleso pro dynamickou certifikační zkoušku. [21]

- Vodící systém musí být osazen lištami s malým třením, které umožní nárazovému tělesu pohyb pouze v předepsaném směru nárazu.
- Certifikace nárazového tělesa musí být provedena s dosud nepoužitým pěnovým obložení, toto nesmí být před montáží, během ní ani po ní nadměrně namáháno či deformováno.

- Certifikační nárazové těleso se vystřelí vodorovně rychlostí $7,5\text{m/s} \pm 0,1\text{m/s}$ do nehybného nárazového tělesa (impaktoru), viz obr. 20 a obr. 21.
- Certifikační nárazové těleso se nastaví tak, aby jeho střednice protínala střednici bérce impaktoru 50mm od středu kolene, s povolenými odchylkami $\pm 3\text{mm}$ v příčném a svislém směru.

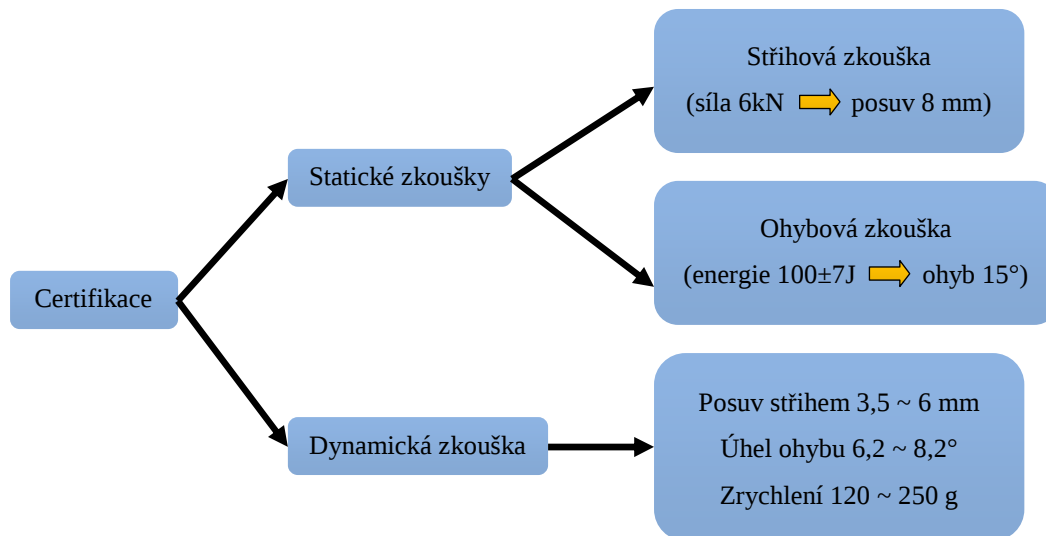


Obr. 20 - Boční pohled na uspořádání dynamické certifikační zkoušky.



Obr. 21 - Pohled shora na uspořádání dynamické certifikační zkoušky. [21]

Postup certifikace a požadavky, které jsou při ní na impaktor kladeny, včetně rozmezí dovolených hodnot sledovaných parametrů, jsou uvedeny na obr. 22.



Obr. 22 - Schéma průběhu certifikace impaktoru nohy.

Poznámka:

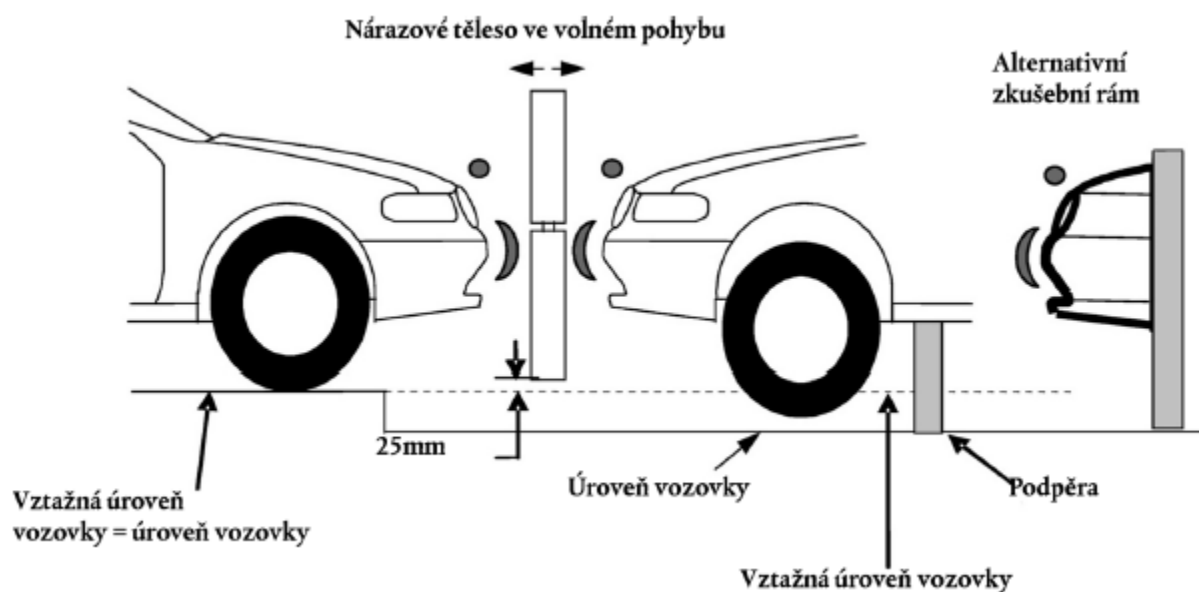
Po úspěšně provedené certifikaci se může impaktor uvést do provozu. Certifikace se poté provádí každých 12 měsíců, případně pokaždé provedené úpravě na impaktoru. Dále pěnový materiál CONFORTM podléhá při používání zkáze, ztrácí svoje vlastnosti a musí být **po dvaceti nárazových zkouškách vyměněn**. Po zkoušce může dojít také k mechanickému poškození (proseknutí). V takovém případě se výměna provádí ihned.

1.2.4.7 Postup zkoušky

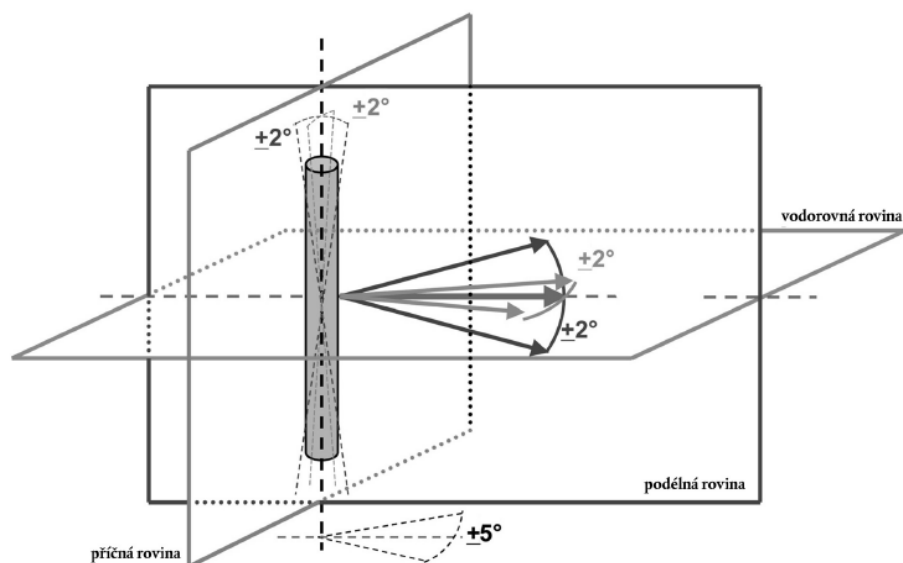
Směrnice dále definuje také zkušební podmínky, za jakých probíhají vlastní nárazové zkoušky.

- Stabilizovaná teplota zkušebního zařízení a vozidla nebo subsystému, musí být $20^{\circ}\pm 4^{\circ}\text{C}$.
- Zkoušky se provádějí nárazem do systému čelní ochrany, mezi jeho rohy a do bodů, které jsou specifikovány v kapitole 1.2.4.4.
- Směr nárazu musí být rovnoběžný s podélnou osou vozidla. Osa impaktoru nohy musí být v okamžiku prvního kontaktu s vozidlem ve svislé poloze. Dovolená odchylka od těchto dvou poloh je $\pm 2^{\circ}$. V okamžiku prvního dotyku, musí střednice impaktoru procházet zvoleným zkušebním bodem na vozidle, s maximální odchylkou $\pm 10\text{mm}$ v příčném i svislém směru.
- Dolní konec nárazového tělesa, musí být v okamžiku prvního kontaktu se systémem čelní ochrany ve výšce 25mm nad vztažnou úrovní vozovky, jak ukazuje obr. 23, s povolenou odchylkou $\pm 5\text{mm}$.
- Při nastavování výšky hnacího systému se přihlíží k vlivu gravitace, po dobu volného pohybu impaktoru.
- Rychlost nárazu impaktoru při střetu se systémem čelní ochrany musí být $11,1\pm 0,2\text{ m/s}$.

- Dovolené směrové odchylky jsou přehledně znázorněny na obr. 24.



Obr. 23 - Poloha impaktoru nohy při zkoušce. [21]

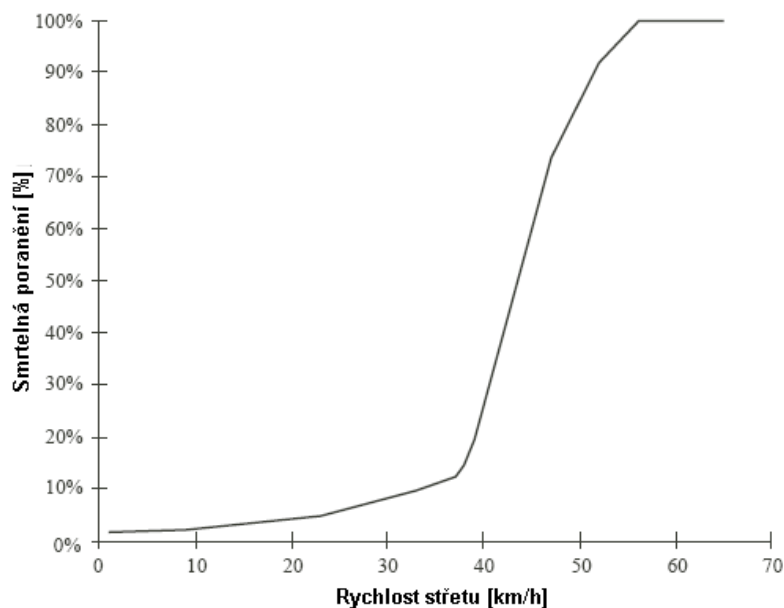


Obr. 24 - Dovolené směrové odchylky impaktoru. [21]

1.3 Soudobé prvky ochrany chodců na automobilech

1.3.1 Koncepce

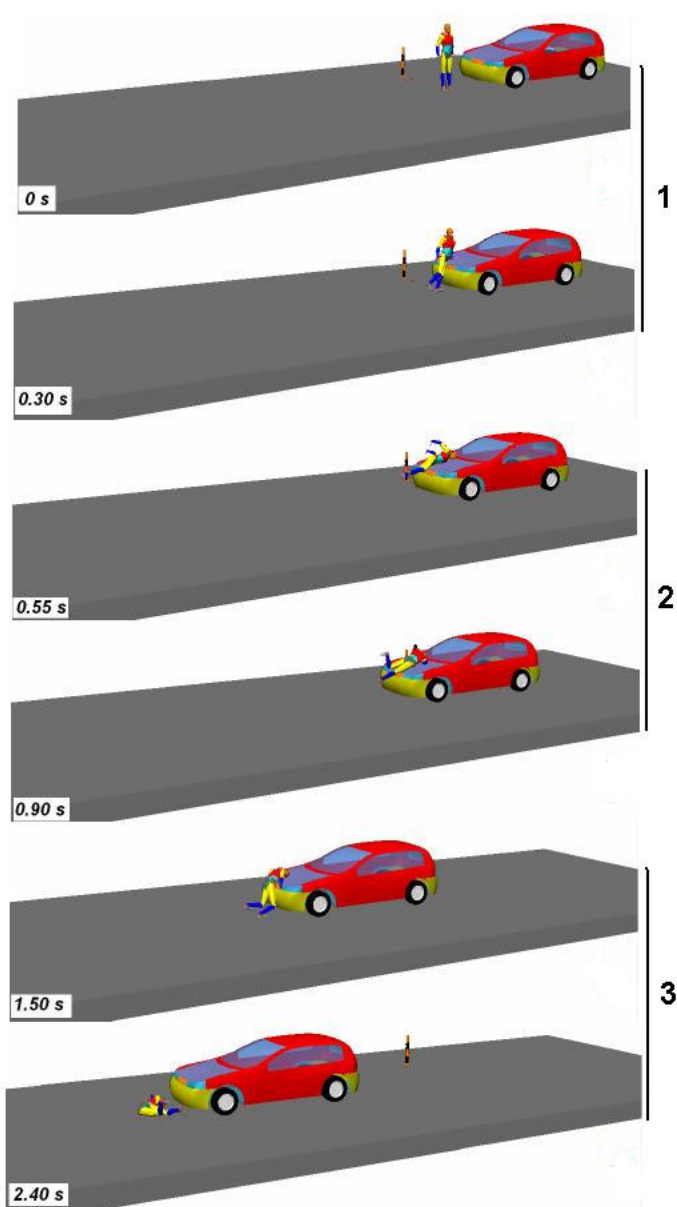
Pokud dojde ke střetu vozidla s chodcem, jsou jeho potenciální následky závislé na celé řadě faktorů. Jedním z nich je rychlost. Pokud se řidič snaží střetu zabránit, intenzivně brzdí a chodce srazí v malé rychlosti, může se srážka obejít bez sebemenších následků. Když ale automobil srazí na dálnici přebíhajícího člověka při rychlosti 130km/h, není v silách žádného prvku ochrany chodců zabránit jeho usmrcení. Závislost rychlosti střetu na jeho následcích je znázorněn viz obr. 25. Statistika [27] ukazuje, že fatální následky může mít srážka už při rychlosti 40km/h.



Obr. 25 - Vliv rychlosti střetu na jeho následky. [27]

Vzájemná relativní rychlost má přitom vliv nejenom na následky, ale také na průběh srážky. Byla vypracována celá řada studií zabývajících se kinematikou srážky, jako například [24]. Pomocí multibody simulací je možné předběžně predikovat průběh kolize a sledovat vliv dalších parametrů, které mají podstatný vliv.

Po nárazu v nižší rychlosti podrazí automobil chodci nohy a udělí mu úhlové zrychlení. Tato fáze trvá přibližně 300ms. Chodec je tak katapultován na kapotu, nebo čelní sklo automobilu, přičemž přibližný čas dopadu je 500ms. Důležité zde je si uvědomit, že hlava má na těle v tomto okamžiku nejvyšší obvodovou a posléze také dopadovou rychlost. V porovnání s ostatními částmi lidského těla je velmi hmotná, a její sebemenší zranění mohou mít tragické následky. V tu dobu už řidič vozidla většinou brzdí a nastává další fáze. Vozidlo zbrzdilo na rychlost nižší, než která odpovídá hybnosti sraženého chodce na kapotě a ten padá zpět na vozovku. Celá srážka netrvá déle než 3 sekundy. Statistiky říkají, že přibližně 32% úrazů chodců je způsobeno až při dopadu na vozovku, tedy ne primárním nárazem na vozidlo. Obecně přibližně 37% úrazů je dolních končetin a 35% úrazů je hlavy. To jenom potvrzuje skutečnost, jak je v takových případech hlava zranitelná. Simulace srážky je znázorněna na obr. 26, včetně vyznačení jednotlivých fází.



Obr. 26 - Simulace srážky chodce. [13]

Podobně jako u obecného rozdělení bezpečnostních prvků vozidel, se dají také prvky určené k ochraně chodců rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivní, převážně elektronické systémy a zařízení, monitorují situaci před vozidlem a snaží se včas identifikovat nebezpečí hrozícího střetu. Pasivní prvky mírní následky již vzniklé kolize.

1.3.2 Aktivní prvky ochrany chodců

Jedná se téměř bez výjimky o radary, snímající prostor před vozidlem. V úvahu připadá několik technologických řešení, která se liší pracovní frekvencí, dosahem a v neposlední řadě také výší pořizovacích nákladů. Velkou výhodou většiny těchto zařízení je necitlivost na zhoršenou viditelnost, tedy tmou, mlhu, déšť nebo sněžení. V tab. 3 je uveden krátký přehled nejčastěji používaných aktivních prvků ochrany chodců, podle [26].

Typ	Pracovní frekvence	Citlivost	Poznámka
Mikrovlnný radar	60GHz	30 až 150m	-
Frekvenčně modulované radary	76 až 77GHz	2 až 100m	-
Infračervené snímače	λ 2 až 4 μ m	do 25m	hůře pracují na přímém slunečním světle
Ultrasonické radary	22, 40, 50kHz	8mm až 20m	levné
Snímání obrazu (kamery)	$\sim$ 12Hz	do 50m	špatně snáší vysoké teploty
Kapacitní snímače	-	do 2m	citlivé na déšť a sníh

Tab. 3 - Přehled aktivních prvků ochrany chodců.

Zvláštní skupinu tvoří snímače, využívající CCD kamery. Ty se dnes u nákladních i osobních automobilů používají běžně, například jako parkovací asistenti. Rozpoznávání obrazu pak zajišťuje příslušný software.

Všechny tyto prvky jsou vyrobeny jako samostatný celek, který je ale vřazen pomocí sběrnice CAN do palubní elektroniky automobilu. Drtivá většina z výše uvedených řešení ale dodnes zůstává pouze v rovině testovacího nasazení. Experimentálně se testováním těchto zařízení zabývala například automobilka Land Rover na modelu Discovery, nebo Rover, model 200. Nasazení do sériové výroby pak brání nejenom vyšší cena, ale také nedostatečná vyspělost ovládacích softwarů. Jedna z testovacích konfigurací je znázorněna na obr. 27.



Obr. 27 - Pole složené ze tří radarů a jednoho infračerveného snímače. [26]

1.3.3 Pasivní prvky ochrany chodců

Tyto konstrukční celky nijak nevybočují z řady obecné definice pasivní bezpečnosti. Jejich hlavním úkolem je v případě střetu pohltit co nejvíce energie a snížit tak zrychlení, působící na dopadající objekt. Průběh srážky je závislý mimo jiné také na rychlosti, ve které ke střetu dojde. Na internetu je možné najít celou řadu simulací, které se zabývají kinematikou takové srážky a faktory, které ji ovlivňují.

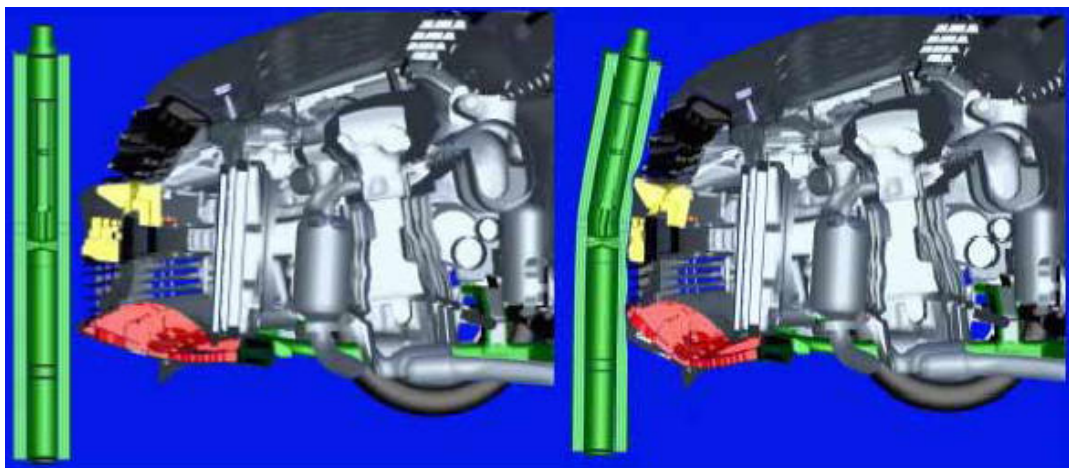
Další funkcí je například zabránit vtažení nohy chodce pod vozidlo. V případě nárazníku automobilu se v současné době používají dva hlavní prvky. Prvním z nich je tzv. extender. Ten vyztužuje spodní hranu nárazníku a jeho úkolem je chodci podrazit nohy tak, aby nedošlo k jejich vtažení pod automobil a přejetí chodce. Je důležité najít kompromis v naladění extenderu tak, aby byl schopen spolehlivě nohu podrazit a zároveň nebyl příliš tuhý a nepůsobil tak na nohu nepřiměřeně velkými kontaktními silami.



Obr. 28 - Extender a padding - Opel Corsa. [1]

prvků je na obr. 28. Základní princip je zřejmý z obr. 29, kde je vidět také deformace paddingového prvku.

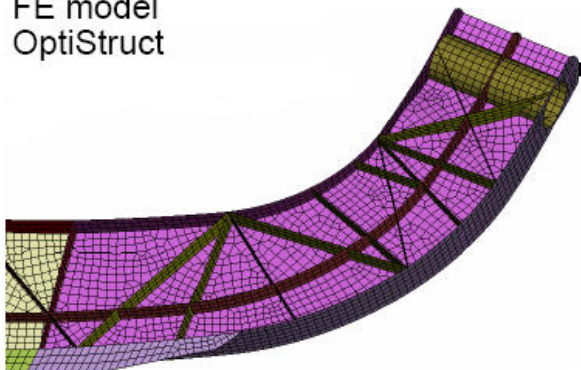
V horní části nárazníku se používají prvky, sloužící k disipaci energie. Upevňují se na příčník automobilu a zpravidla vyplňují dutinu v nárazníku. Z toho si lze snadno vyvodit, s jakými problémy je nutné se při jejich konstrukci potýkat. Vozidla prodává design a právě ten konstruktéry velmi často limituje z hlediska prostoru, který mají pro padding k dispozici. Disipace energie probíhá přeměnou v deformační práci. Při stejném množství pohlcené energie musí být elementy, které mají k dispozici kratší deformační dráhu, vyrobeny z tvrdšího materiálu. Při nárazu na takový element pak musí nutně působit také větší kontaktní síly. Typické soudobé uspořádání těchto



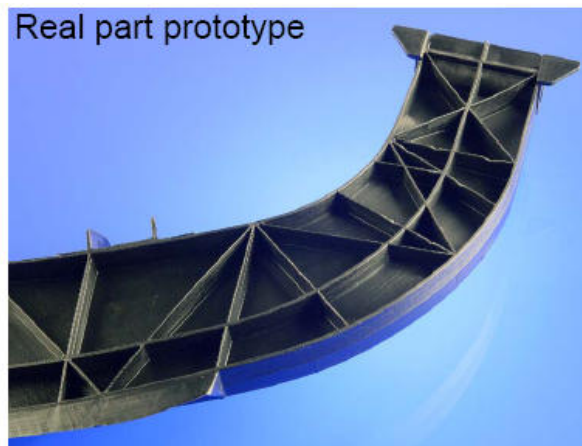
Obr. 29 - Funkce paddingu a extenderu, Opel Zafira II. [32]

Extendery se dnes stejně jako nárazníky, nebo dokonce celé frontendy vyrábí z plastů. Zpravidla se jedná o profilované žebrované výlisky. Najít vhodnou koncepci takovou, aby extender plnil všechny požadované parametry, byl vyrobitelný a cenově dostupný, je složitý optimalizační proces. Takový příklad je uveden na obr. 30. Světový výrobce plastových komponentů BASF prezentoval svůj projekt [17] optimalizace tvaru extenderu pomocí metody konečných prvků a programu OptiStruct. Je vidět jak FE model, tak reálný prototyp. Další optimalizací pak bylo dosaženo snížení hmotnosti o 7%. Finální produkt určený pro Opel Corsa nové generace je na obr. 30 vpravo.

FE model
OptiStruct



Real part prototype



Obr. 30 - Optimalizace extenderu BASF. [1]



Obr. 31 - Extender - Opel Corsa. [1]

Mezi další pasivní prvky ochrany chodců můžeme zahrnout také systém aktivní kapoty. Při dopadu člověka na kapotu automobilu by neměla nastat situace, kdy se kapota promáčkne natolik, že dosedne na nepoddajné části motoru. Pokud bude tuhost kapoty nastavena tak, aby k tomu nedošlo, může tím nepříznivě ovlivnit zrychlení, nebo hodnotící kritérium hlavy HIC. Proto se v posledních letech objevuje řešení tzv. aktivní kapoty. Prvním

vozidlem, na kterém byl tento systém zaveden do sériové výroby, je Citroen C6. Jako čidlo je použito optické vlákno. Při deformaci nárazníku se deformuje, což vyhodnotí řídicí jednotka a aktivuje pyropatrony v pantech kapoty. Ty se za 40ms vysunou o 65mm. Tím se zvětší prostor mezi kapotou a motorem, což umožní prodloužení dopadové deformační dráhy. Princip je znázorněn na obr. 32.



Obr. 32 - Systém aktivní kapoty - Citroen C6. [7]

Situaci dopadu je možné řešit také pomocí airbagů, umístěných na přední části automobilu. Toto řešení však dodnes zůstalo pouze v experimentálním nasazení. Jedním z důvodů je určitě nutnost pravidelné údržby náplně airbagu. Vzhledem k velikosti, kterou by vaky musely mít, by se tedy jednalo o nákladnou investici nejen při koupi takto vybaveného vozidla, ale také při jeho následné údržbě. Systém je znázorněn na obr. 33.



Obr. 33 - Pedestrian
airbag Ford
Explorer. [30]

Jedním z posledních řešení, které se nabízí, slouží k zachycení chodce po jeho dopadu na kapotu automobilu. Toto řešení je schematicky znázorněno viz obr. 34.



Obr. 34 – Ochranná hrazda. [4]

Jedná se v podstatě o jakousi výsuvnou hrazdu. Její funkce je aktivována podobně jako systém aktivní kapoty, na základě snímače v přední části automobilu. Po aktivaci se v přední části automobilu hrazda vysune, čímž zabrání sraženému chodci pádu zpět na vozovku, když automobil po střetu brzdí.

2 Simulace pomocí metod MKP

2.1 Obecně

Stejně jako ve většině průmyslových odvětví, se dnes i v oblasti kolem automobilů stalo každodenní používání počítačových prostředků samozřejmostí. Od 3D skenování designových studií (např. zařízení ATOS, Tritop), počítačové modelování (Softwarové celky Catia, ProEngineer), simulace výroby a technologických procesů které jsou její součástí (Alpha CAD/CAM), simulace jízdních zkoušek (MBS, MSC Adams), prodělení vzduchu uvnitř a vně vozidla (CFD), simulace dějů probíhajících ve spalovacím motoru (LOTUS), nebo dnes také v hojně míře využívaných simulacích crashtestů (Pam-Crash, LS-DYNA).



Obr. 35 - MKP simulace bočního nárazu dle Euro NCAP. [18]

Bezesporu největší výhodou aplikace počítačových prostředků je cena, za niž lze s jejich pomocí získat cenné výsledky. Typickým příkladem jsou například již zmíněné simulace výrobních procesů. Je dnes zcela běžné, že se před spuštěním výroby ověřují

navržené technologické postupy tváření plechových výlisků, nebo provádí simulace průběhu tuhnutí odlitků. Lze tak ušetřit značnou část finančních prostředků za vývoj a prototypovou výrobu, případně nevhodně navrženou formu, zápusťku nebo lisovník. Stejně výhody pak vyplývají také v oblasti simulací nárazových zkoušek. Reálná zkouška například čelního nárazu vozidla je finančně velmi nákladná. Kromě ceny samotného vozidla, které je při zkoušce „obětováno“ musíme započítat také náklady na zkušebnu a odpisy veškerého použitého příslušenství. Vozidlo je nutné osadit celou řadou měřidel, akcelerometrů, tenzometrů, trhacích drátků, snímačů a čidel, z nichž většina je určena k jednorázovému použití. V případě zkoušek ochrany chodců, musí být zkušební impaktory pravidelně certifikovány a používáním podléhají zkáze. To stejné se pak týká také figurín, tzv. Dummies, ze kterých se v průběhu zkoušky získávají velmi důležitá data, vypovídající o úrovni ochrany pasažérů ve vozidle.

Ideální postup je potom takový, kdy se na zkušebně z počátku provede minimální počet reálných nárazových zkoušek a shromáždí se při nich veškerá důležitá data. Současně je již k dispozici také FE model pro výpočty MKP a pracuje se na modelování simulace nárazové zkoušky. Ta zahrnuje mimo jiné bariéru, případně impaktor, jejich vzájemné polohování vůči vozidlu a v neposlední řadě také vazební a kinematické podmínky. Po odladění simulace je následně možné model vozidla modifikovat a ladit tak, aby podával v porovnání s reálnou zkouškou jí odpovídající výsledky. Po dosažení nejlepší shody mezi simulací a reálnou zkouškou je možné začít na modelu vozidla provádět případně návrhové změny, za účelem zlepšení sledovaných parametrů a posoudit, jak se projeví. Dosažení shody, mezi modelem a reálným procesem je ale velmi obtížné, příčin je přitom celá řada.

MKP modely je pro potřeby simulací nutné diskretizovat. Samotná přesnost výpočtu je pak na parametrech vytvořené FE sítě přímo závislá. Nutné zanedbání tvarových prvků geometrie součásti vede k odchýlení se od jejího reálného chování. Není ale vhodné modelovat příliš detailně, protože velký počet elementů vede z důvodu většího počtu matematických operací k dlouhým výpočetním časům. Z toho důvodu je nutné méně podstatné součásti modelu zjednodušit, případně zcela zanedbat. Problém pak spočívá ve volbě kompromisu mezi těmito dvěma faktory, které si vzájemně odporují. Například v místech vrubů, kde může docházet ke značným koncentracím napětí, je vhodné síť přiměřeně zjemnit. Naopak u větších částí modelu, které navíc nejsou z hlediska pevnosti nebo zatížení příliš významné, je možné používat větší elementy. Praktické zkušenosti říkají, že v místech, kde je síť tvořena menšími elementy, se pak při statických úlohách může struktura chovat jako měkčí. Toto chování se projevilo například při kvazistatickém výpočtu ohybu impaktoru, jak bude uvedeno dále, viz kap. 3.2.1. I na tuto skutečnost je při síťování modelu třeba brát zřetel. Ani při použití nejmodernějších softwarových nástrojů, však není dodnes možné přesně vystihnout například materiálové chování plastů, pěnovek, pryží, nebo kompozitních materiálů. Vývoj v těchto oblastech však stále pokračuje, materiálové modely se zdokonalují a díky výkonnějším počítačovým systémům se daří modely lépe přiblížit realitě. Všechny výpočty metodou konečných prvků přitom v podstatě probíhají podle jednotného scénáře. Celý se dá rozčlenit do tří hlavních fází.

První z nich je **preprocessing**, který se jak název napovídá, zabývá všemi postupy a činnostmi, které předchází vlastnímu výpočtu. Jedná se tedy převážně o sestavení výpočtového modelu. Tvorbě sítě musí předcházet také konstrukce 3D modelu, která ale nemusí probíhat vždy bezprostředně před stavbou samotného FE modelu. Představíme-li si situaci, kdy se výpočtová simulace nasazuje do procesu dodatečně, například až pro odhalení

zjevného nedostatku, nebo například při optimalizaci stávající konstrukce (facelift, odlehčení...), může být CAD model k dispozici již z doby, kdy probíhal její prvotní vývoj. Často jsme z nejrůznějších důvodů nuceni používat u FE sítě elementy omezené velikosti. Například u simulací dynamických dějů je vhodné používat elementy větší velikosti, přibližně do 6mm, v závislosti na typu materiálu. Podstata bude stručně vysvětlena v kapitole 3.1.4. Z toho vyplývá, že u modelu nelze postihnout tvarové entity, jejichž velikost je menší. Ať už se jedná o zaoblení, zkosení, nebo otvory o menším průměru. O tvorbě a úpravách FE sítě se také zmíním v kapitole 2.2.1. Dalším krokem je sestavení simulace, již s ohledem na konkrétní zatěžovací stav. Kromě definice jednotlivých působících sil, je nutné také přiřadit každé součásti materiálový model a mu odpovídající charakteristiky, upevnění tělesa v prostoru. Definice sil a vazeb může přitom zásadně ovlivnit vypočtené hodnoty. Pokud například rotační vazbu, ať už omylem nebo z neznalosti nevhodně nahradíme vetknutím, zavedeme tím do modelu naprosto nereálné silové reakce a výrazně se tak odchylujeme od skutečného stavu. Samozřejmostí je také stanovení počátečních kinematických podmínek atd. Takto připravený model se pak prostřednictvím výstupního souboru přenáší jako textový popis do další fáze, kde již proběhne samotný výpočet. Zpravidla je definována poloha jednotlivých uzlů v prostoru, elementy které jsou příslušnými uzly tvořeny, odpovídající materiál, sety, atd. Výstupní soubor obsahuje tzv. hlavičku, v níž jsou definovány základní parametry výpočtu. Je možné v ní aktivovat například některá kritéria, která slouží ke kontrole průběhu výpočtu, definovat požadovanou fixní délku časového kroku, název úlohy, nebo časový interval po jakém budou v průběhu výpočtu ukládány nejrůznější vypočtené hodnoty do výstupního souboru.

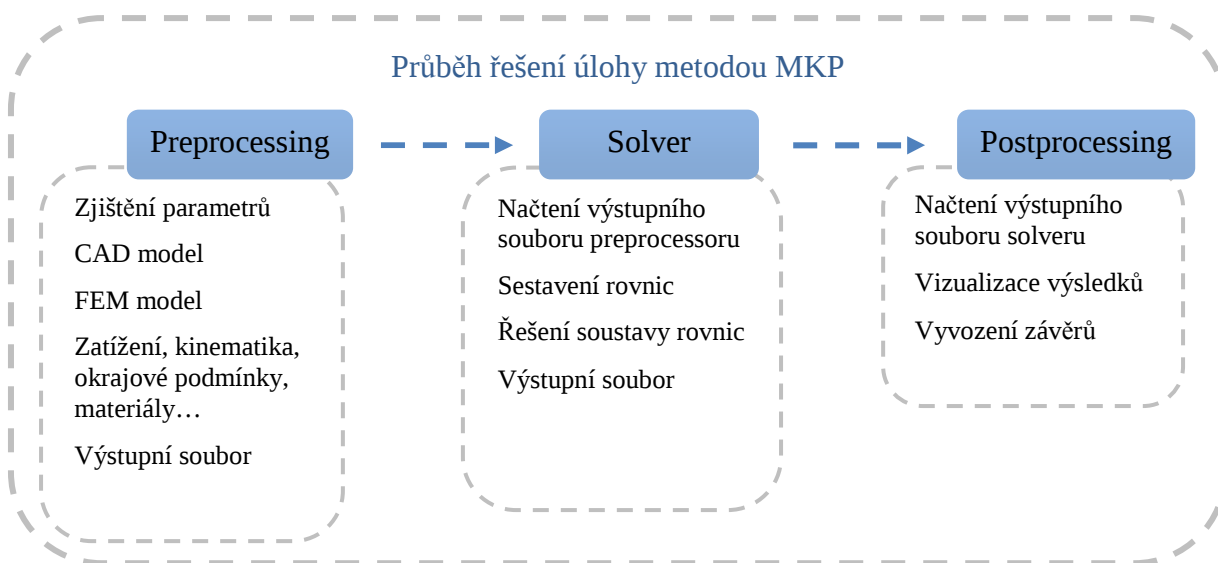
Následuje fáze samotného řešení úlohy. Pro různé výpočetní metody se používá výraz **solver**, plynoucí z anglického významu slova. Řeší soustavy rovnic, které si sestaví na základě dat ze vstupního souboru. Procedury řešení metodou konečných prvků by se v podstatě daly rozdělit do dvou základních typů. Implicitní, jejichž prostřednictvím jsou realizována řešení statických úloh. Jednotlivé výpočetní kroky na sebe navazují a je nutné, aby všechny iterace v průběhu výpočtu konvergovaly k určité hodnotě. Jedná se tedy o metodu s podmíněnou konvergencí. Procesy simulující rychlé děje, se počítají prostřednictvím explicitních metod, které jsou konvergentní nepodmíněně.



Obr. 36 - Porovnání deformací po simulaci a reálné zkoušce. [8]

To znamená, že výpočtový krok nemusí konvergovat k dané hodnotě, ale výsledek je přesto vzat do kroku následujícího. Ovšem za podmínky velmi malého časového kroku, aby nedošlo k velkému odchýlení se od správné hodnoty. Při dodržení podmínek se tedy jedná o silný nástroj, umožňující simulace dynamických dějů. Jeho nevýhodou je ale skutečnost, že pokud chceme počítat děj, který probíhá po delší dobu, má výpočet v důsledku vynuceně malého časového kroku velký počet výpočetních operací a ve výsledku se může výrazně projevit numerická chyba řešení. V průběhu výpočtu se vytváří výstupní soubor, který opět v textové podobě zapisuje získané výsledky. Podle definic uvedených v hlavičce, pak ukládá do výstupního souboru požadované hodnoty s definovanou četností a informuje také stručně o průběhu výpočtu.

Poslední fází je **postprocessing**, v jehož průběhu provádíme s pomocí výstupního souboru solveru vizualizaci nejrůznějších parametrů. Postprocessor je na jeho základě schopen vykreslovat deformace, jednotlivé zátěžné stavy, animovat průběhy, vykreslovat intenzitu napětí ve struktuře součásti a další. Průběhy vybraných veličin lze samozřejmě také zobrazovat do 2D grafů, vzájemně je porovnávat a provádět s nimi nejrůznější matematické operace. Dále je možné provádět filtraci naměřených hodnot, nebo prolínat průběh simulace s videozáznamem skutečného průběhu. Je pak věcí konkrétního postprocessoru, jaké funkce uživateli nabídne. Lišit se mohou také co do způsobu ovládání. Tyto vlastnosti se často shrnují pod souhrnný pojem „user-friendly“. Obr. 36 znázorňuje porovnání mezi deformací po simulaci nárazové zkoušky a po jejím provedení ve skutečnosti. Dosažení takto dobré shody se pak dá s ohledem na složitost modelu a množství parametrů určitě považovat za úspěch. Průběh simulace by se dal znázornit do následujícího schématu, viz obr. 37.



Obr. 37 - Schéma průběhu řešení úlohy metodou konečných prvků.

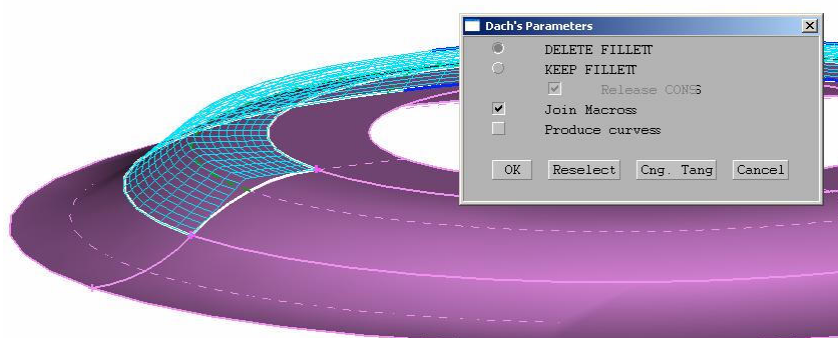
2.2 Pre a Postprocessing od BETA CAE Systems

Společnost Evektor, ve spolupráci se kterou byla zpracována tato diplomová práce, využívá pro práci s MKP modely produkty společnosti BETA CAE Systems S.A. Protože práce s programovým prostředím Pam-Crash není momentálně součástí výuky, byly pro sestavení modelu a následné vyhodnocení simulací použity také. V oblasti preprocessingu se jedná o program Ansa, postprocessing je zprostředkován programem Meta Post. Řešení

sestaveného výpočtového modelu probíhá prostřednictvím solveru Pam-Crash. Protože není aplikace těchto programových prostředků příliš rozšířená, rozhodl jsem se zde o nich ve stručnosti zmínit.

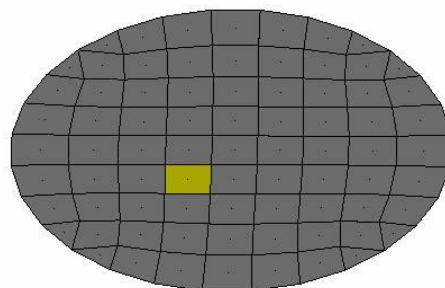
2.2.1 ANSA

Pracovní prostředí programu Ansa je znázorněno viz obr. 43. Práce s každým modelem začíná importem geometrie, ve formě CAD dat. Ansa podporuje vkládání geometrie ve formátech *.igs, *.step a *.vda. V praxi, kdy se pracuje s většími výpočetními modely, se k transformaci CAD dat používají specializované překladače, jako například Ansa CAD Translator, taktéž od BETA CAE. Ten zajistí převod geometrie přímo do formátu *.ansa. Proces transformace geometrických entit ale neproběhne vždy zcela hladce.



Obr. 39 - Příklad funkce [DACH].

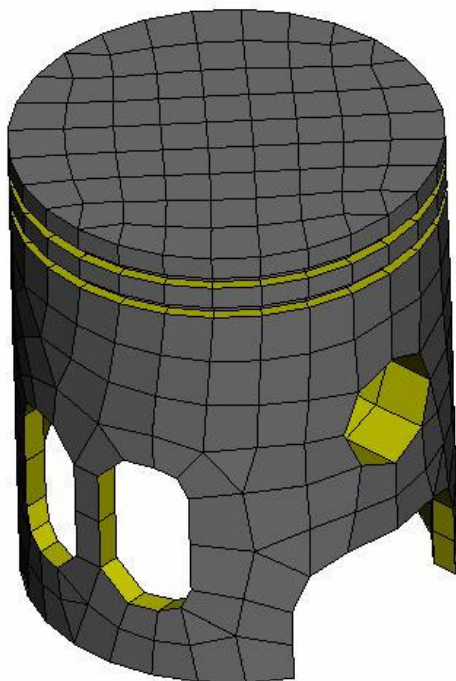
U dílů může dojít ke vzniku nespojitostí v geometrii, někdy mohou chybět i celé plochy. Právě z tohoto důvodu je Ansa vybavena panelem *TOPO* viz obr. 43, který slouží pro práci právě s geometrickými entitami modelu. Je možné zde opravit případné vzniklé geometrické chyby, nebo geometrii pro potřeby síťování zjednodušovat. Mazat a znovu vytvářet plochy, opravovat jejich nespojitosti nebo duplikování. U dílů karoserií vozidel, které jsou vyrobeny lisováním z plechu, se provádí náhrada jednou plochou, která je umístěna na střednici konkrétního dílu a má definovanou tloušťku původního plechu. Právě k tomuto je možné použití funkce *offset*, s pomocí které lze plochu buď zkopírovat, nebo přímo ekvidistantně přesunout ve směru její normály o definovanou vzdálenost. Původní plochu lze automaticky mazat. Jedním z důležitých kroků úpravy geometrie je také sjednocení směrů normál jednotlivých ploch. Jak při importu, tak v průběhu práce s plochami, může dojít k jejich rozdílnému natočení (orientaci normály). Funkce *orient* zajistí totožné natočení normál všech ploch na celé součásti. Plocha má na straně, z níž normála vychází šedou barvu a na straně do níž normála vstupuje, má barvu žlutou, viz obr. 39. Tak lze vizuálně snadno odhalit případnou chybu. Orientace plochy se přenáší i do struktury FE sítě a elementy by pak mohly být také natočeny opačně.



Obr. 38 - Opačně orient. prvek v ploše.

Například při vykreslení hodnoty napětí, by pak opačně orientovaný element mohl udávat hodnotu s opačným znaménkem. Příklad je znázorněn viz obr. 39 a obr. 40. Zjednodušení geometrického tvaru součásti je možné vidět například na obr. 60 a obr. 61, kde

bylo odstraněno osazení víček. Jejich upevnění v trubce bude modelováno jiným způsobem, viz dále, kapitola 3.1.5.

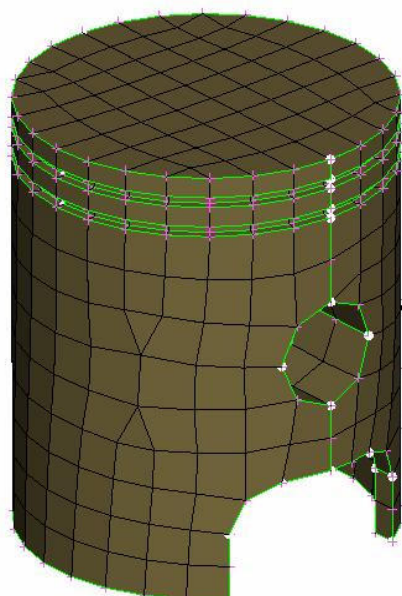


Obr. 40 - Orientace prvků FE sítě.

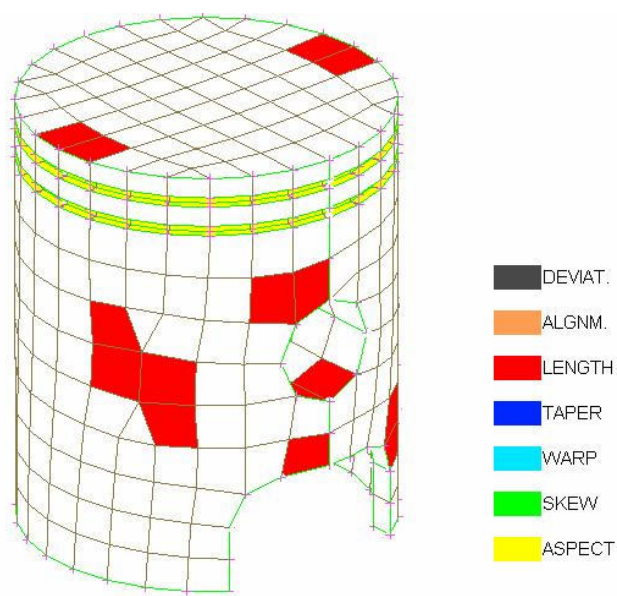
Po vyčištění geometrie se součást vysítuje. To probíhá ve dvou základních etapách. Zpočátku se sítuje na geometrii. V této fázi má vytvářená síť stálou vazbu s tvarem součásti a přesně ho kopíruje. V panelu *MESH* je k dispozici několik funkcí pro volné a mapované sítování, ploch i objemů. Je možné použití několika algoritmů pro volné sítování, zvolit omezení pro použití pouze trojúhelníků, pouze quadů, nebo nejčastěji jejich kombinace. U sítě je také možné nastavit kvalitativní parametry, jako například maximální dovolenou velikost elementu, procentuální podíl trojúhelníků v ploše, dovolené odchýlení se od geometrie v zájmu zachování pravidelnosti nebo rovnoměrnosti sítě a další. Velmi užitečnou funkcí je možnost vizuálního sledování stanovených parametrů kvality sítě, která na základě definovaných kritérií vyhodnocuje u každého elementu, zda jim vyhovuje, nebo ne. Je možné sledovat například jejich délku, úhel svíraný hranami, zkroucení, poměr délek protějších hran a

další. Element, který stanoveným kritériím nevyhovuje, je pak na součásti barevně zvýrazněn, jak ukazuje obr. 42. Kritéria je přitom možné libovolně aktivovat a definovat jejich hodnoty podle specifických požadavků dané úlohy nebo zákazníka. Přesný význam jednotlivých kritérií viz [2].

Po vysítování některým z předdefinovaných algoritmů je možné síť dodatečně upravovat, například pomocí funkce *smooth*. V případě, že síť vyhovuje všem požadavkům, provede se její uvolnění od geometrie. Tím dojde ke ztrátě přímé vazby s tvarem součásti a



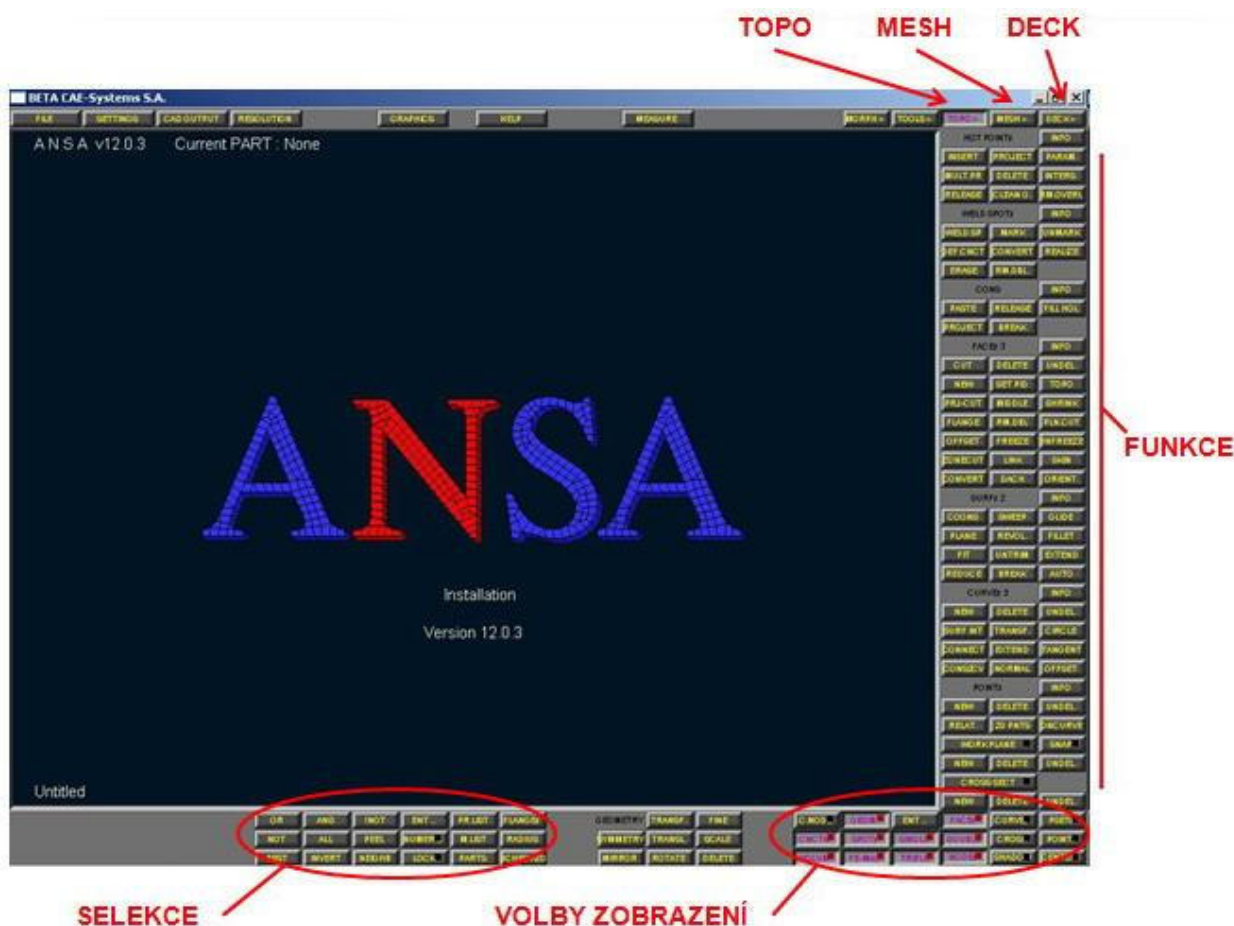
Obr. 41 - Ukázka FE sítě.



Obr. 42 - Kritéria pro kvalitu FE sítě.

následným použitím například zmíněné funkce *smooth* pak může dojít k odchýlení sítě od skutečného geometrického tvaru součásti. Proto se síť uvolňuje vždy až na závěr a provádí se na ní jen minimum úprav. Zpravidla se jedná o opravy jednotlivých elementů, které nevyhovují kvalitativním kritériím a jejich úpravy nebylo možné provést právě kvůli vazbě s geometrií součásti. V těchto případech se malé odchylky od geometrického tvaru výjimečně dovolují.

Posledním krokem je sestavení modelu samotné výpočtové simulace se všemi náležitostmi. Ansa je vybavena panelem *DECK*, v němž je možné provádět většinu z běžných úkonů stavby výpočtových modelů. Zadání okrajových podmínek, vazeb mezi jednotlivými částmi modelu, silových zatížení, instrumentaci měřicími prvky a elementy, definování kontaktů, nebo členění soustav prvků do nejrůznějších pracovních setů. Bezesporu největší výhodou je pak multiplatformní struktura, která umožňuje stavbu modelů a jejich následný export pro řešiče NASTRAN, PAM-CRASH, ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS a RADIOSS.



Obr. 43 - Pracovní prostředí programu Ansa v12.0.3.

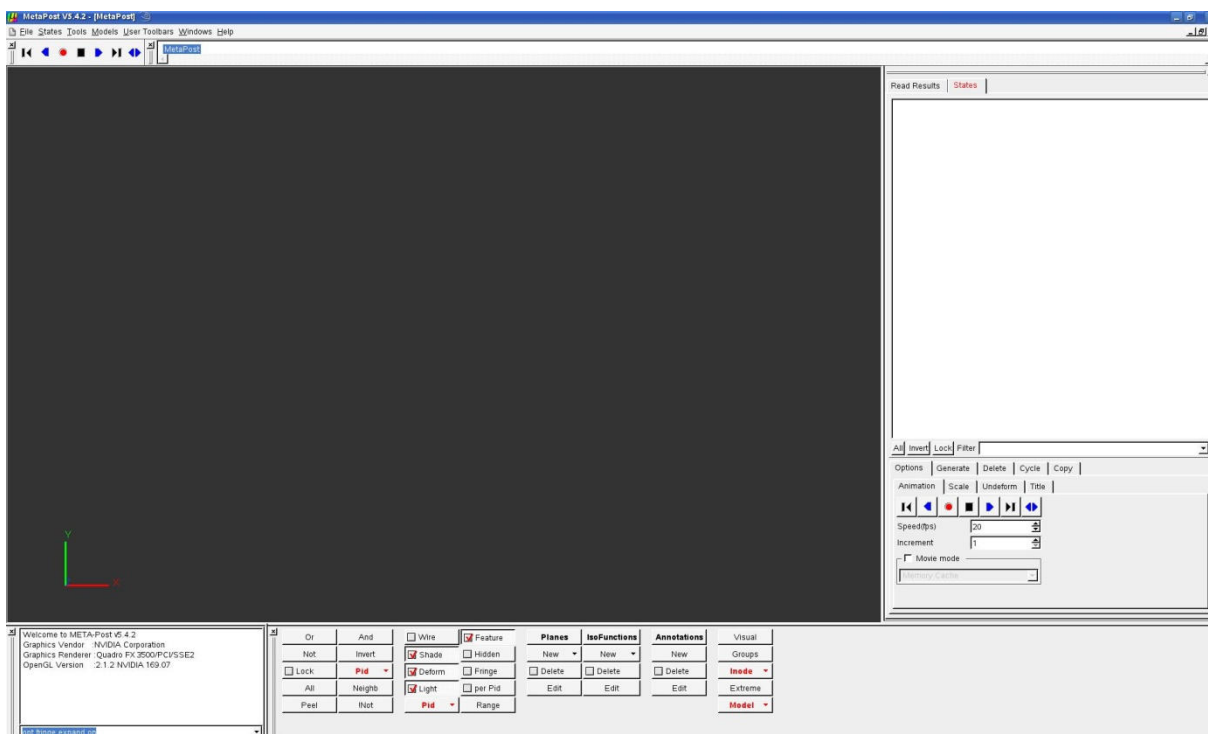
Ve spodní části dialogového okna viz obr. 43, jsou funkce selekcí, které mohou buď usnadnit orientaci ve složitějších sestavách, nebo práci s jednotlivými komponentami. Selekcce je možné provádět na základě entit (plochy, elementy FE sítě). Každá součást má definovanou také svoji *PID* (property ID). V property součásti je definován například materiálový model, u plošných (shellových) elementů jejich tloušťka, počet integračních bodů a další. Na základě *PID* lze také provádět selekcce. Samozřejmostí je selekcce na základě typu materiálu.

Užitečným prvkem Ansy jsou také nástroje, pro kontrolu sestaveného modelu před spuštěním výpočtu. Obzvláště při ladění nového modelu je třeba odstranit celou řadu chyb a tyto nástroje usnadňují jejich detekci a lokalizaci. Například o kontrole penetrací se zmíním v kapitole 3.1.4.

Aktuální verze Ansy je 12.1.3, uvolněna byla počátkem letošního roku.

2.2.2 META POST

Jedná se o postprocessor, který je stejně jako Ansa multiplatformní. Umožňuje vizualizaci výsledků z programů NASTRAN, PAM-CRASH, ANSYS, LS-DYNA, ABAQUS a RADIOSS. V případě programu Pam-Crash probíhá načtení výsledků ve dvou fázích. Nejdříve geometrie ze souboru *DSY* a poté načtení obsahu souboru *THP*. V něm jsou uloženy číselné hodnoty výsledkových veličin a informace z měřících entit, použitých při stavbě modelu. Blíže se o obou výstupních souborech zmíním ještě v kapitole vyhodnocení výsledků. Meta umožňuje kromě vykreslení 2D závislostí jednotlivých veličin, také definování uživatelských funkcí, filtraci měřených data, sledování jejich maxima nebo minima. Tyto výsledky je možné vykreslit nejen do grafu, ale pomocí anotací také přímo na modelu sledovat místo, kde působí nebo vznikají. Je možné provádět také synchronizaci mezi animací získanou ze simulace a videozáznamem, získaným například na zkušebně. Snadno tak lze odhalit, ve kterém okamžiku nastává buď shoda, nebo naopak odchylka od reality, což může značně usnadnit odhalení příčiny jejího vzniku. Pracovní prostředí programu Meta je znázorněno viz obr. 44.



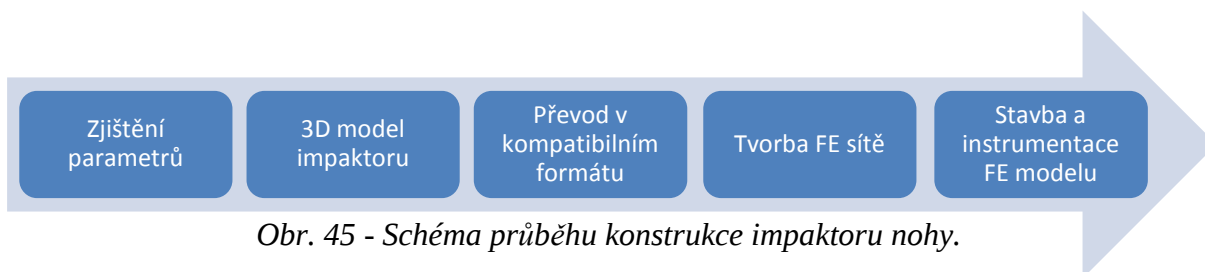
Obr. 44 - Pracovní prostředí programu Meta Post v5.4.2.

3 Impaktor

Pro simulaci bylo nutné zkonstruovat impaktor dolní končetiny následně vytvořit jeho FE model a provést simulaci obou statických i dynamické certifikační zkoušky, jak požadují předpisy. Platí přitom vše, co bylo zmíněno v předchozích kapitolách. Dále připravit FE model přední části testovaného vozidla a odladit simulaci nárazu impaktorem po stránce vzájemného polohování, okrajových a kinematických podmínek. Základní parametry jsou dány příslušnou směrnicí, viz [21]. Jednotlivé kroky jsou dále podrobně rozebrány.

3.1 Konstrukce

V oblasti konstrukčních požadavků na impaktor dolní končetiny, definuje příslušná směrnice v kap. 1.2.4.5 pouze jeho základní parametry. Základní rozměry a hlavně materiál, který je specifický a použit jako svalovina. Ostatní konstrukční detaily, jako například provedení kolenního kloubu, nebo způsob měření příslušných parametrů, se s postupem času vyvíjely. Postup konstrukce by se pak dal znázornit do jednoduchého schématu, viz obr. 45.



Obr. 45 - Schéma průběhu konstrukce impaktoru nohy.

3.1.1 Zjištění parametrů impaktoru

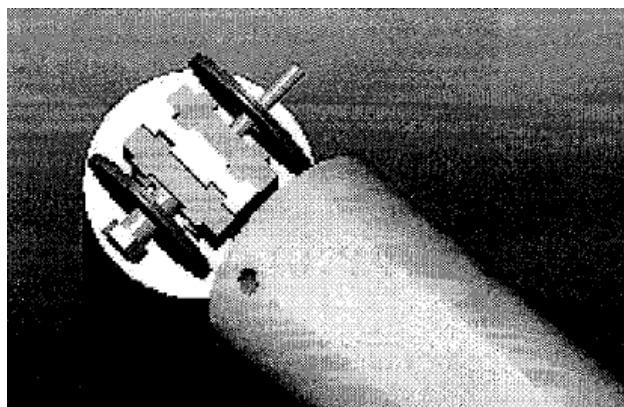
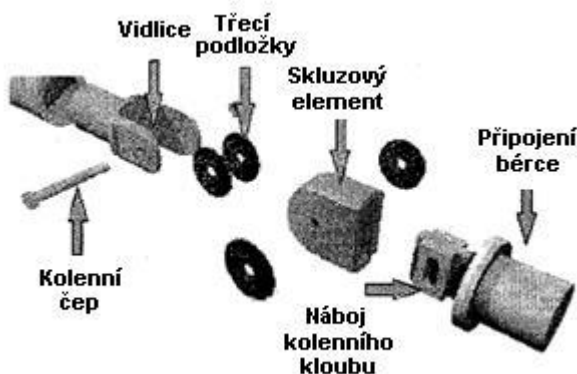
Konstrukce impaktoru procházela postupnou evolucí. První model byl podle [25] použit kolem roku 1992. Vývoj začal v USA a reflektoval skutečnost, že v tamním provozu zahynul po srážce s vozidlem chodec v průměru každých 97 minut. Impaktor byl konstruován dle požadavků normy ISO. Tab. 4 ukazuje základní parametry dané tehdejší normou ISO v porovnání s požadavky současné směrnice ES.

Parametr	Norma ISO	Požadavky dle 2006/368/ES	
Celková hmotnost impaktoru	13.4±0.1 kg	13.4±0.2 kg	
Hmotnost stehna	8.6±0.1 kg	8.6±0.1 kg	
Hmotnost bérce	4.8±0.1 kg	4.8±0.1 kg	
Délka stehna	428±10 mm	432 mm	
Délka bérce	493±5 mm	494 mm	
Poloha těžiště stehna	218±10 mm	217±10 mm	
Poloha těžiště bérce	233±10 mm	233±10 mm	
Moment setrvačnosti stehna	0.127±0.001 kg·m ⁻²	0.127±0.01 kg·m ⁻²	
Moment setrvačnosti bérce	0.12±0.001 kg·m ⁻²	0.12±0.01 kg·m ⁻²	
Vnější průměr stehna	120±10 mm	132 mm	
Vnější průměr bérce	120±10 mm	132 mm	
Tloušťka svaloviny	30±5 mm	31mm	
shodné		odlišné	

Tab. 4 - Porovnání parametrů impaktoru dle ISO a 2006/368/ES.

Je zřejmé, že požadavky na tehdejší konstrukci impaktoru se od soudobých liší pouze v milimetrech délky stehna a bérec. Velikost dovolených odchylek jednotlivých rozměrů pro nás není příliš podstatná s ohledem na to, že sestavujeme „pouze“ 3D model impaktoru. Pro fyzický model pak mají dovolené odchylky větší význam, zejména co do polohy těžišť a velikosti momentů setrvačnosti.

Jak ukazuje obr. 46 a obr. 47, jedná se o dvě trubky jako stehno a bérec, spojené velmi jednoduchým kolenním kloubem. Ten je tvořen pouze vidlicí a nábojem. Úhel ohybu kolene je u tohoto typu impaktoru možné ovlivnit pomocí vložených třecích podložek, posuv kolene stříhem umožňuje skluzový element. Ten se posouvá po náboji kolenního kloubu. Celkové chování kolenního kloubu je tedy možné ovlivnit pouze silou stažení kolenního čepu. Toto pak lze považovat za jeho základní a největší nevýhodu. V případě, že se impaktor při certifikaci ohýbá o požadovaný úhel, ale nevyhovuje posuv kolene stříhem, je možné pouze povolit kolenní čep. Tím ale zároveň dojde k ovlivnění úhlu ohybu. Naladění impaktoru proto může být velmi obtížné.



Obr. 46 - Model kolena impaktoru (ISO). [25]

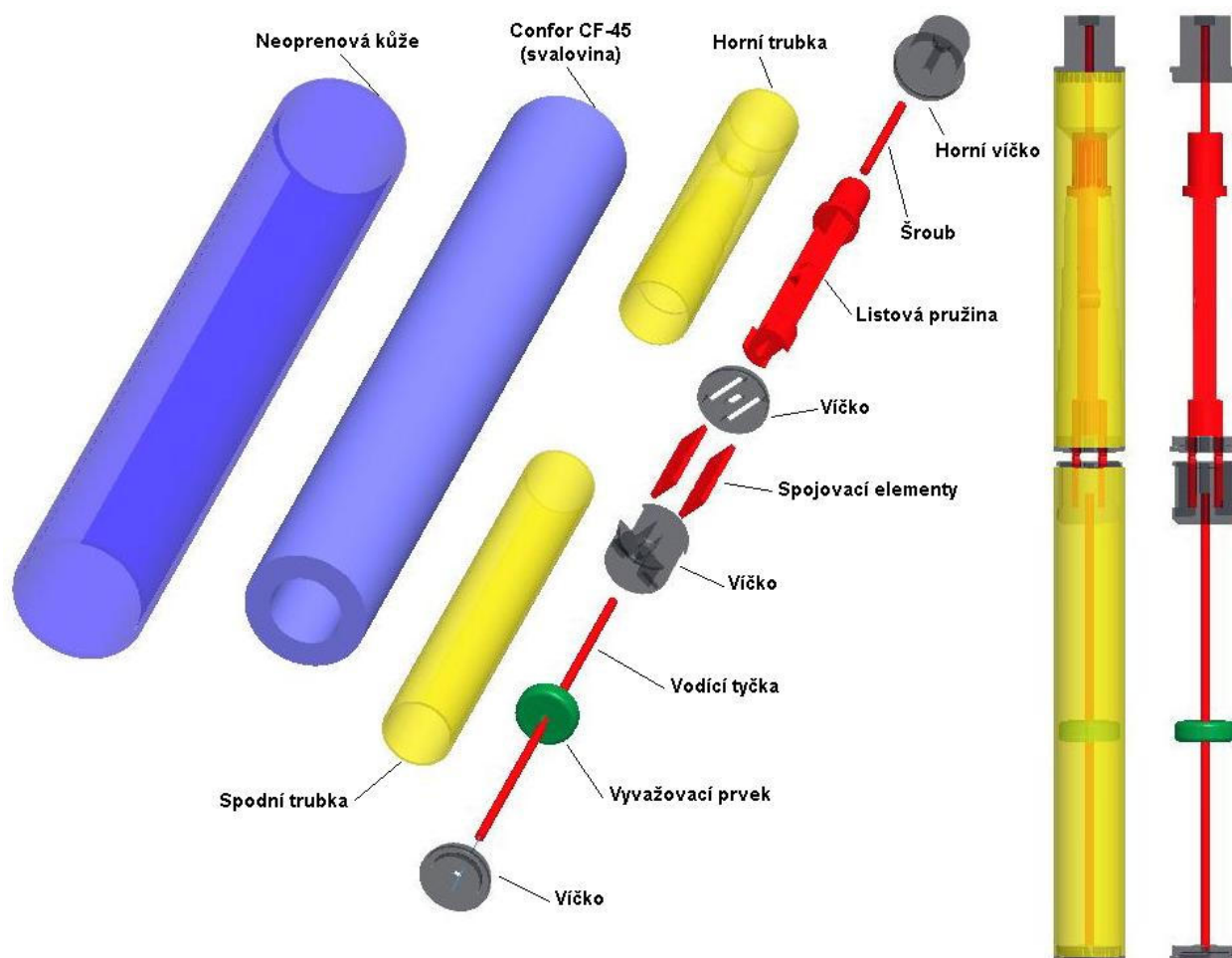
Obr. 47 - Koleno impaktoru (ISO). [25]

Soudobá konstrukce impaktoru je již o něco složitější. Přesto, že směrnice definuje pouze základní rozměrové a hmotnostní parametry, podařilo se mi najít několik zdrojů, které více či méně detailně jeho konstrukci popisují. Nejpodrobněji konstrukci popisuje dokument z konference uživatelů LS-DYNA uspořádané v roce 2004. [9] Autorem je Trevor Dutton a prezentuje ve své práci několik simulací, týkajících se bezpečnosti vozidel, zejména pak ochrany chodců. Obsahuje obrázky 3D a FEM modelu impaktoru. Na jejich základě a také na základě rozměrových a hmotnostních požadavků příslušné směrnice byl zkonstruován impaktor dolní končetiny.

V horní části (stehnu) je uložena listová pružina, na jednom konci pevně vetknutá. Druhý konec je volný a je k němu pomocí spojovacích elementů (vazů) upevněna dolní část impaktoru (bérec). Deformací listové pružiny je umožněn posuv stříhem v kolenní. Jeho velikost je možné ovlivnit změnou nastavení vestavěného viskózního tlumiče. Ohyb kolene je umožněn z části také pomocí deformace listové pružiny, ale především deformací (ohybem) spojovacích kolenních elementů.

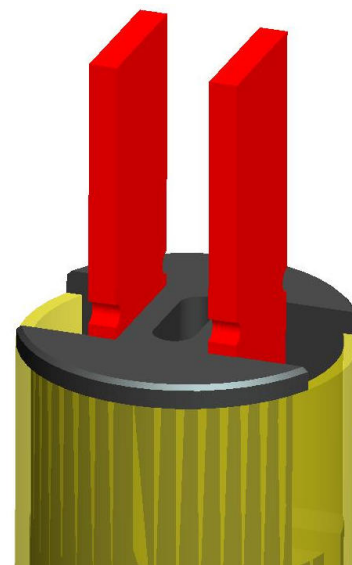
3.1.2 3D model impaktoru

Model impaktoru byl vytvořen v programu ProEngineer. Detaily konstrukce jsou znázorněny v rozpadu na obr. 48.

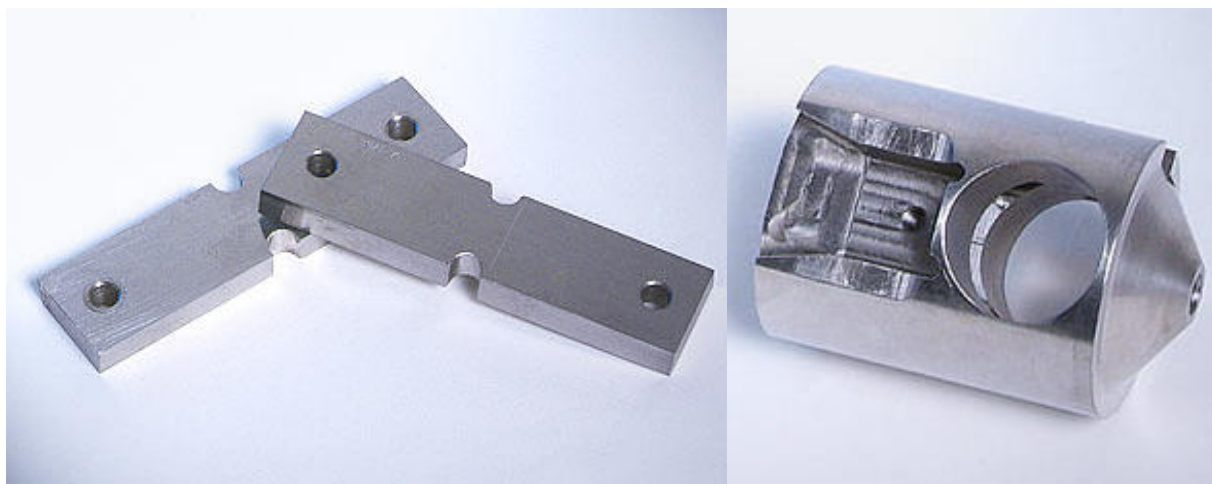


Obr. 48 - Soudobá konstrukce impaktoru nohy, rozpad.

Impaktor tedy sestává ze dvou trubek, podobně jako jeho předchozí evoluce, jejíž konstrukce byla dána požadavky směrnice ISO. Dolní trubka (bérec) je uzavřena víčky z obou stran, tato jsou vzájemně stažena vodící tyčkou se závitovými konci. Po ní je možné posouvat závaží (znázorněno zeleně), kterým lze změnit polohu těžiště bérce, jehož hodnota je dána směrnicí. Ze strany kolenního kloubu je spodní trubka uzavřena víčkem, v němž jsou pevně uchyceny spojovací elementy, jak je znázorněno viz obr. 49. Konstrukce bérce je tedy velmi jednoduchá, má také proti stehnu menší hmotnost. Hmotnost bérce je dána včetně pěnového obložení, viz kap. 1.2.4.5 a to $4,8 \pm 0,1$ kg, což je asi jen 35% celkové hmotnosti impaktoru.

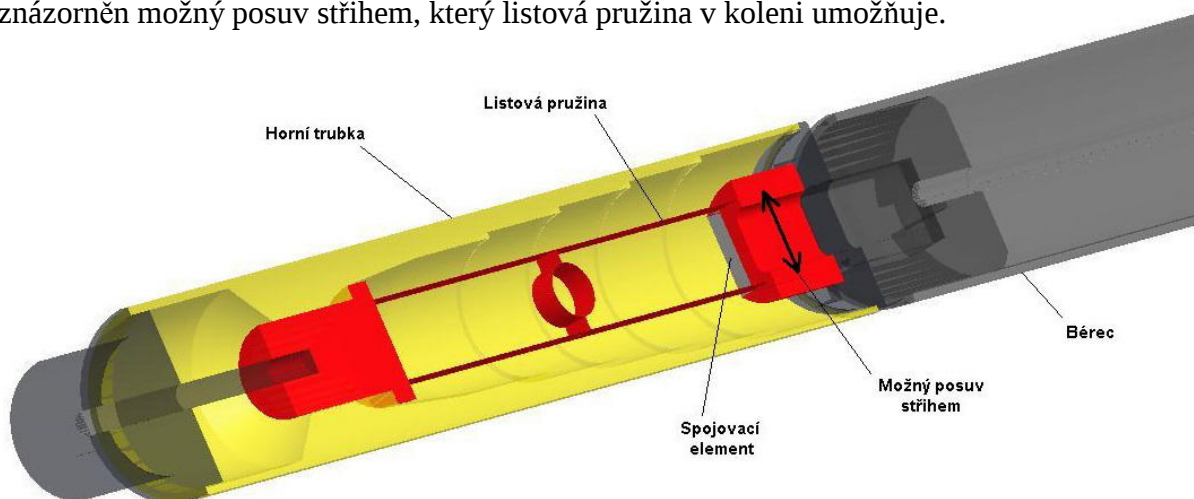


Obr. 49 - Bérec a spoj. elementy.



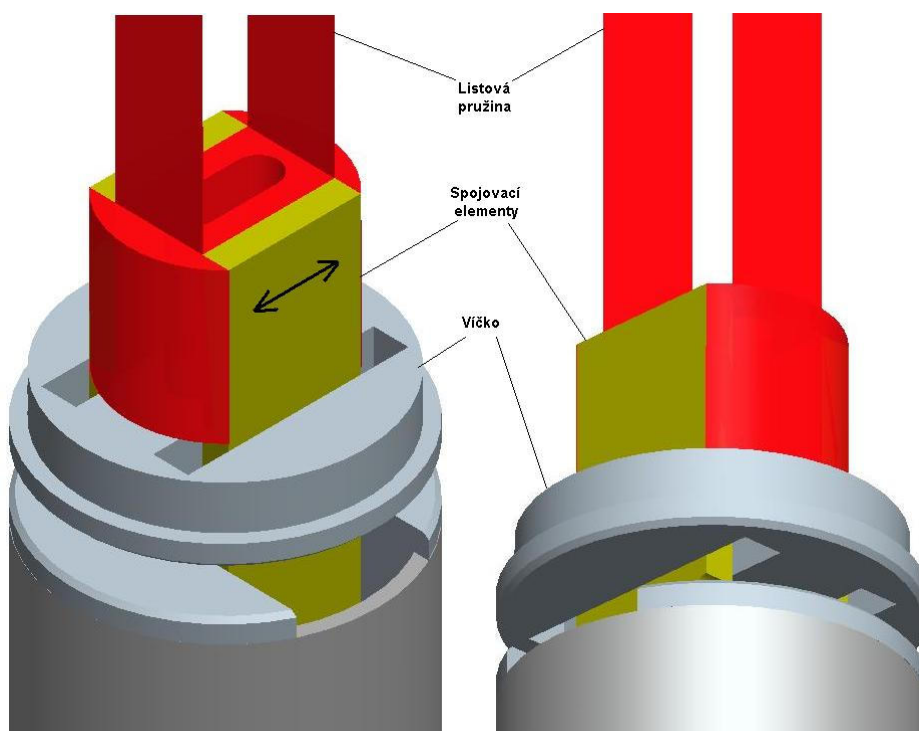
Obr. 50 - Skutečný tvar spojovacích elementů a víčka dolní trubky, ve kterém jsou upevněny. [31]

Celek bérce je pomocí spojovacích elementů připevněn ke stehnu, což je znázorněno viz obr. 51. Pružina je v horní trubce uchycena pomocí šroubu. Šroub prochází horním víčkem a stahuje pružinu proti osazení, které je vyrobeno v trubce. Na obrázku je také šípkou znázorněn možný posuv stříhem, který listová pružina v kolenu umožňuje.



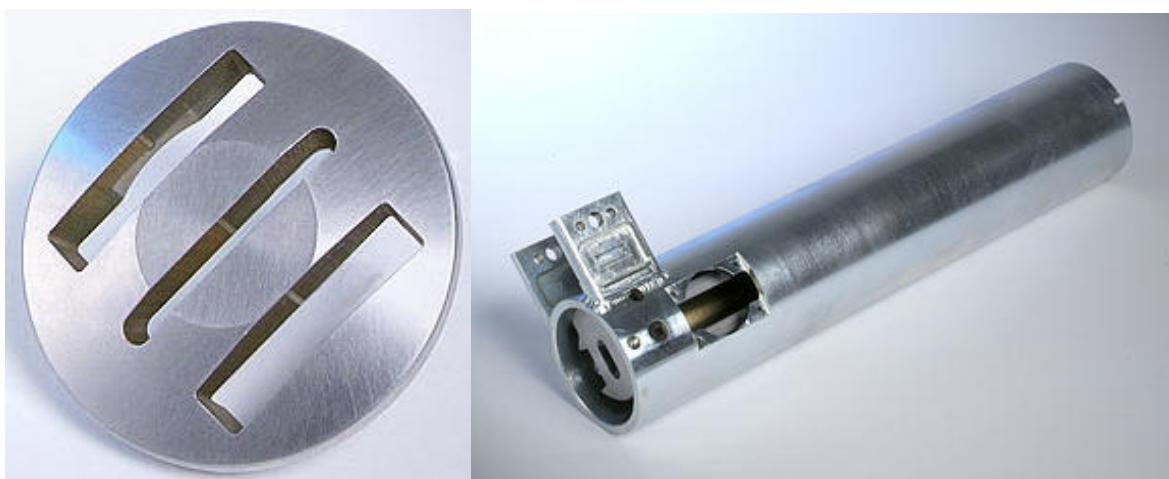
Obr. 51 - Připojení bérce ke stehnu pomocí listové pružiny.

Listy pružiny jsou dlouhé 200mm, tloušťka je 2mm. Aby se zabránilo jejímu kmitání v průběhu nárazové zkoušky, je doplněna distančním prvkem. Ocelový kroužek je vložen uprostřed pružiny mezi oba listy a udržuje tak jejich vzájemnou rozteč. Tato pružina tedy slouží ke spojení a vzájemnému vedení obou polovin impaktoru, neomezuje ale jejich vzájemný pohyb. Když impaktor narazí v průběhu zkoušky do systému čelní ochrany, působí na kolenní kloub v důsledku setrvačnosti velké stříhové síly. Dovolená maximální velikost posuvu stříhem co do hodnoty, je při dynamické certifikaci dána (viz obr. 22) rozsahem 3,5 až 6mm. Je proto omezován pružinou, která je vložena mezi stěnu trubky a uchycení spojovacích elementů k listové pružině (viz obr. 91). K naladění pružiny slouží statická certifikační zkouška, kdy se koleno zatěžuje přesně definovanou stříhovou silou, které musí odpovídat požadovaná velikost posuvu stříhem. (průběh viz obr. 18). Certifikaci impaktoru se zde budu podrobněji věnovat v kapitole 3.2.2.



Obr. 52 - Provedení kolenního kloubu impaktoru.

Obr. 52 znázorňuje detail konstrukce modelu kolenního kloubu. Ve spodním víčku horní trubky (na obrázku není znázorněna) jsou drážky, aby se spojovací elementy mohly spolu s volným koncem listové pružiny pohybovat. Ve víčku spodní trubky jsou uloženy pevně.



Obr. 53 - Skutečný tvar víčka a horní trubky. Drážky slouží k připevnění tlumiče. [31]

Vzhledem k tomu, že při zkoušce může dojít k plastické deformaci spojovacích elementů, jak ukazuje obr. 54, jsou elementy připevněny pomocí šroubů, viz obr. 55, aby mohly být v případě poškození vyměněny.



Obr. 54 - Impaktor po nárazové zkoušce, ohnutý po plastické deformaci spoj. elementů. [31]



Obr. 55 - Upevnění spojovacích elementů. [31]

Kovová konstrukce je potažena dle požadavků směrnice materiálem CONFORTM CF-45. [10] Jedná se o polyuretanovou pěnovku, která má velmi dobré tlumící schopnosti a simuluje tak svalovinu. Tloušťka je 25mm, znázorněna viz obr. 48. Svrchní část (kůži) pak tvoří vrstva neoprenu, potaženého nylonovou tkaninou. Celková tloušťka neoprenu i s tkaninou je 6mm. Nylonová tkanina bývá zbarvena do různých odstínů, v našem případě se jedná o modrou barvu. Obě součásti jsou znázorněny také na obr. 48.

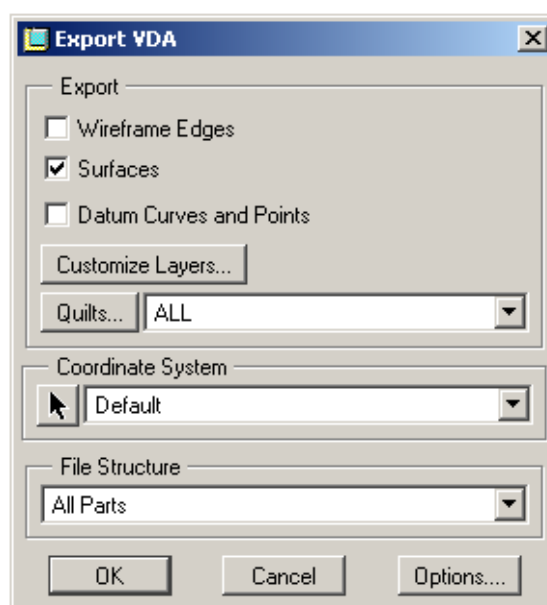
Modely jednotlivých částí sestaveného impaktoru byly záměrně doplněny také obrázky skutečného provedení. Ty jsou na internetových stránkách výrobce, kterým je společnost TRL. Tato společnost se zabývá výzkumem a vývojem v oblasti dopravy a sídlí ve Velké Británii. Jedná se o běžně dodávané náhradní díly. Jak zde již bylo uvedeno, po zkoušce může dojít u spojovacích elementů k plastické deformaci a pak je nutná jejich výměna. Stejně tak u pěnového materiálu CONFORTM dochází k nevratným strukturním změnám, a je třeba ho nejvýše po dvaceti zkouškách vyměnit. Jeho hlavním úkolem je samozřejmě pohlcovat nárazovou energii a právě tuto svoji vlastnost po vícenásobné deformaci ztrácí.



Obr. 56 - Skutečný impaktor, včetně pěnového obložení a neoprenového potahu. [31]

3.1.3 Převod do kompatibilního formátu

Pro stavbu FE modelu byl použit preprocessor Ansa. Tomu bylo nutné podřídit také způsob, jakým byly exportovány CAD data impaktoru do kompatibilního formátu, právě pro Ansu. Formáty, které je možné do Ansy přímo importovat, byl uveden v kap. 2.2.1. Pokud je FE model sestaven z více komponent, každá z nich má v anse definovanou svoji PID, s jejichž pomocí je lze snadno identifikovat. Aby bylo následně možné v sestavě impaktoru jednotlivé její komponenty pomocí property ID rozlišit, byl pro export sestavy z programu ProEngineer využit jako výstupní formát VDA (*.vda). Součástí exportu v tomto formátu je také možnost použití funkce automatického rozložení sestavy na jednotlivé její komponenty a jejich export zvlášť. (volba File Structure) Dialogové okno je znázorněno viz obr. 57.

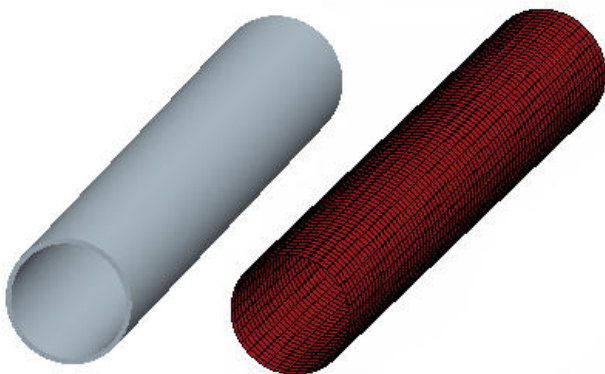


Obr. 57 - Export do souboru VDA.

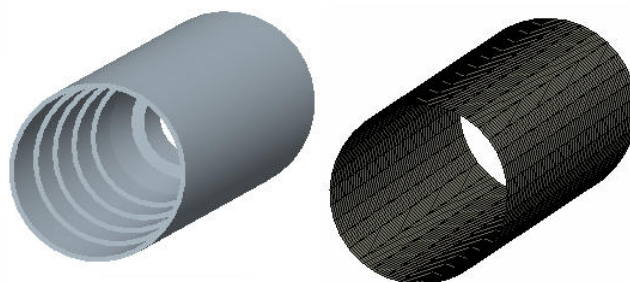
Poté bylo nutné všechny komponenty jednotlivě načíst do Ansy a uložit je v pracovním formátu (*.ansa). Takto připravené komponenty byly pak v Anse spojeny, pomocí *FILE* → *MERGE*. Takto byly načteny všechny komponenty postupně. Díky tomu, že při exportu do VDA se zachovaly také informace o poloze jednotlivých součástí vůči globálnímu souřadnému systému modelu, pouhým načtením součástí tak byla vytvořena sestava impaktoru bez nutnosti jakéhokoli jejich dalšího vzájemného polohování. Protože by ale tento postup byl pro větší sestavy velmi zdoluhavý, používají se v praxi speciální překladače, které převedou celou sestavu z CAD dat na formát, umožňující práci s ní již přímo v Anse.

3.1.4 Tvorba FE sítě

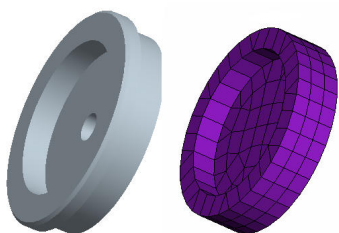
Po načtení modelu je možné začít síťovat. Průměrnou velikost elementu byla zvolena 6mm. Pomocí funkce selekcí, která umožní pracovat postupně s jednotlivými komponenty, byla připravena síť všech dílů impaktoru. Selektce přitom může probíhat buď na úrovni výše zmíněných property ID, nebo na úrovni jednotlivých entit modelu, tzn. ploch, nebo elementů. Na následujících obrázcích jsou znázorněny jednotlivé komponenty jako CAD model a FE model. Jsou zde patrné rozdíly v konstrukci, kdy se v zájmu zjednodušení sítě zanedbaly některé tvarové detaily.



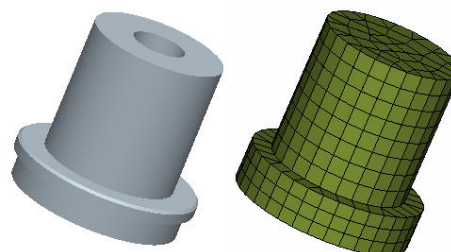
Obr. 59 - Spodní trubka.



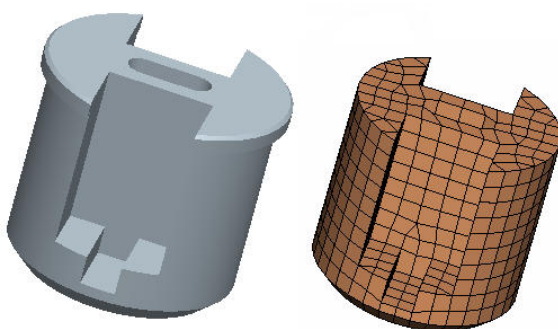
Obr. 58 - Horní trubka.



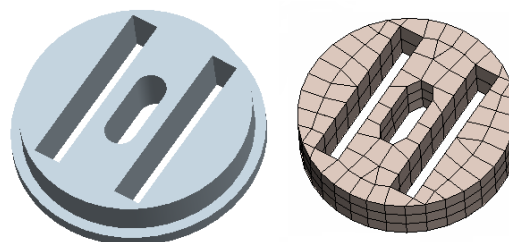
Obr. 61 - Spodní víčko.



Obr. 60 - Horní víčko.

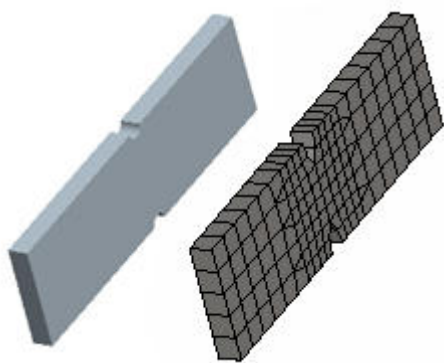


Obr. 63 - Spodní část kolena.

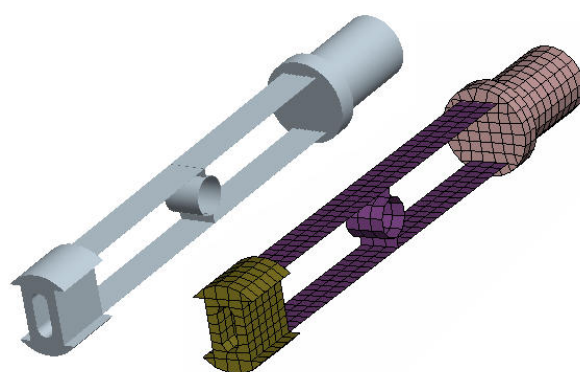


Obr. 62 - Horní část kolena.

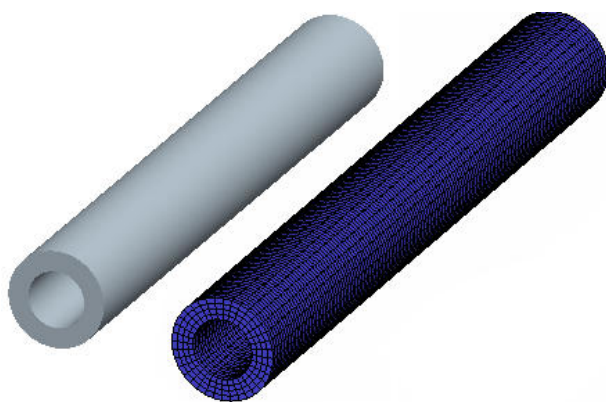
Osazení u víček slouží k zajištění jejich polohy v trubkách. Víčka jsou ale připevněna tuhými vazbami, proto bylo možné osazení zanedbat. To přináší výhodu nejen ve snížení počtu elementů, ale také ve zjednodušení jejich tvaru. Stejně tak byla zanedbána také všechna vnitřní osazení v horní trubce. Geometrie obou trubek byla nahrazena válcovou plochou umístěnou na střednici jejich původních stěn a elementy této property mají definovanou odpovídající tloušťku.



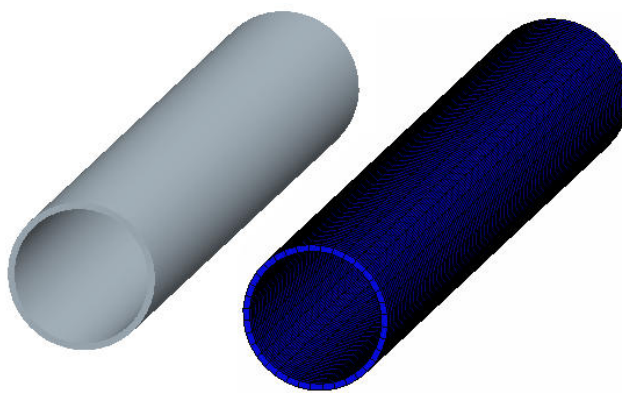
Obr. 64 - Spojovací elementy.



Obr. 65 - Listová pružina s prvky uchycení.

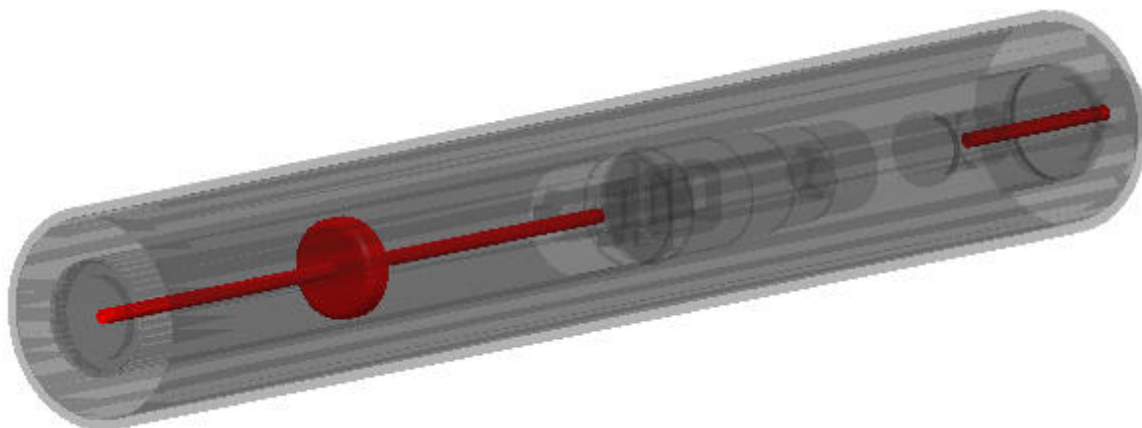


Obr. 67 - Materiál CONFOR™ CF-45.



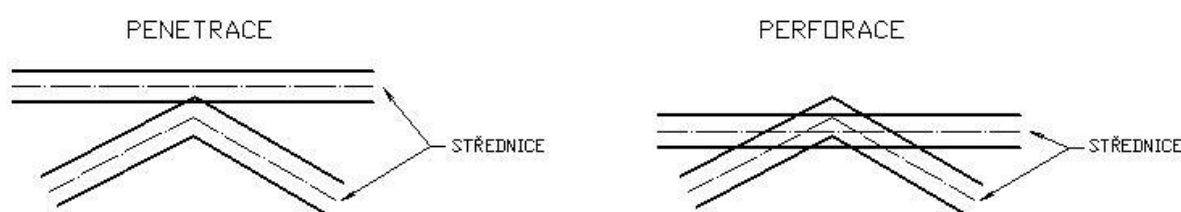
Obr. 66 - Neoprenový potah - kůže.

S ohledem na konstrukci impaktoru a dostupné prostředky pro stavbu FE modelu bylo možné některé jeho části zcela zanedbat. Víčka na obou koncích spodní trubky, jsou přichycena pomocí speciálního typu vazby, tudíž bylo možné kromě osazení vynechat také tyčku, která obě víčka spojuje. Stejně tak není modelována spojovací tyčka v horní trubce. Protože u sestavy impaktoru došlo proti skutečnosti také ke značné změně hmotnosti, navažuje se dodatečně jako celek, pomocí vhodně umístěvaných hmotných bodů NSMASS. Bylo tedy možné vynechat také závaží, které u reálného modelu slouží k dovážení polohy těžiště při certifikaci. Všechny tyto úpravy pomohly snížit počet prvků sítě, což přinese zkrácení výpočtového času simulace. Situace je znázorněna viz obr. 68.



Obr. 68 - Části impaktoru, které byly zanedbány.

Ve fázi, kdy jsou všechny součásti vysítovány, se provádí kontrola penetrací. Tento jev vzniká v důsledku zjednodušení geometrie, kdy se snažíme postihnout geometrický tvar pomocí elementů omezené velikosti. Situaci je znázorněna viz obr. 69. Pokud nejsou u zakřivených ploch uzly sítě nad sebou, může dojít k jejich průniku. Penetrace je možné kontrolovat automaticky, pomocí funkce *CHECK – PENETRATION*. Střednice každé plochy je sítována elementy, které mají ve své property definovanou tloušťku. Pokud je vzdálenost střednic menší než součet polovin obou tloušťek, nastává penetrace povrchů. Penetraci je v Anse možné automaticky odstranit. U dvou povrchů zvolím ten, který chci zachovat, a uzly druhého, které způsobují penetraci, jsou automaticky odsunuty na potřebnou vzdálenost. Odstranění penetrací je běžný úkon při stavbě modelu. Perforace je případ, kdy dochází k průniku střednic. Pokud k němu dojde, jedná se zpravidla o chybu již při úpravách geometrie nebo při sestavování modelu.



Obr. 69 - Penetrace a perforace povrchů.

V následující tabulce je uveden seznam jednotlivých částí impaktoru a jejich vlastností.

PID	Název property	Typ prvku	Tloušťka	Počet prvků
1	TUBE_UP	SHELL	1mm	2196
2	TUBE_DOWN			2880
3	KNEE_UP			352
4	KNEE_DOWN			770
5	COVER_UP			490
6	COVER_DOWN			305
7	LETTER_SPRING_SHELL			292
8	LETTER_SPRING_SOLID	SOLID-HEXA	-	156
9	LIGAMENTS_SHELL	SHELL	0.1mm	436
10	LIGAMENTS_SOLID	SOLID-HEXA	-	170
11	CONFOR_FOAM_SOLID		-	21024
12	NEOPREN_FOAM_SOLID		-	5256
24	SPRING	SHELL	2mm	240
Průměrná velikost prvku je 6mm				

Tab. 5 - Přehled součástí impaktoru a jejich základní vlastnosti.

Poznámka:

Průměrná velikost elementu 6mm vychází z požadavku na minimální velikost časového kroku v průběhu výpočtu. Explicitní výpočetní metoda je přitom charakteristická svým velmi malým časovým krokem, přičemž s jeho poklesem roste nejen výpočtový čas a také počet numerických operací v průběhu výpočtu. Toto se pak může negativně projevit nárůstem numerické chyby při výpočtu.

Délka časového kroku pro implicitní solver je závislá nejen na velikosti elementu, ale také na hustotě jeho materiálu, nebo modulu pružnosti v tahu. Výpočet časového kroku probíhá podle následujícího vztahu.

$$\Delta t = \frac{L_{el}}{c} = \frac{L_{el}}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}} \quad (1)$$

Pokud si stanovíme nejmenší požadovanou velikost časového kroku, lze potom vyjádřit vztah, pro délku hrany elementu.

$$L_{el} = \Delta t \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

Chceme li, aby byla velikost časového kroku v průběhu výpočtu přibližně 0,001ms (běžně používaná hodnota), pak bude pro ocelový materiál nutné dodržet následující velikost elementu.

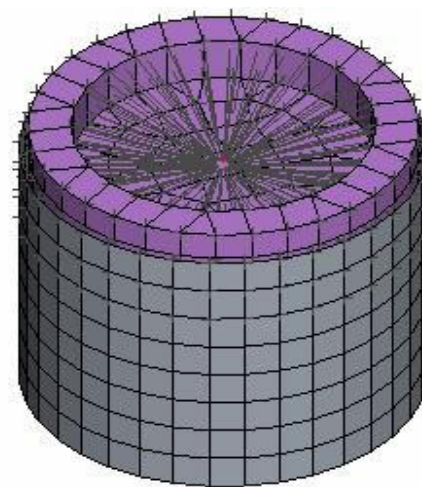
$$L_{el} = 0,000001 * \sqrt{\frac{2,1 * 10^{11}}{7850}} = \underline{0,00517m}$$

Proto je průměrná velikost elementů sítě 6mm. Pokud se na modelu vyskytuje element menší, jsou dvě možné varianty, jak situaci řešit. Pam-Crash může snížit časový krok (závislost je lineární). To sebou nese riziko dlouhého výpočtového času a velkého počtu výpočtových operací. V hlavičce výpočtu bývá proto stanovena nejmenší možná velikost časového kroku. Pokud se v průběhu výpočtu solver k této hodnotě přiblíží, začne jeho hodnotu kompenzovat zvětšením výrazu pod odmocninou, začne tedy u elementů zvyšovat hmotnost. Zvýšením hmotnosti vzroste hustota, zvětší se také délka časového kroku. Dojde ale k ovlivnění chování modelu, zejména pak s ohledem na setrvačné účinky při simulacích dynamických jevů. Maximální navážení modelu v průběhu výpočtu by tedy nemělo překročit únosnou mez, která se udává v procentech hmotnosti modelu před výpočtem.

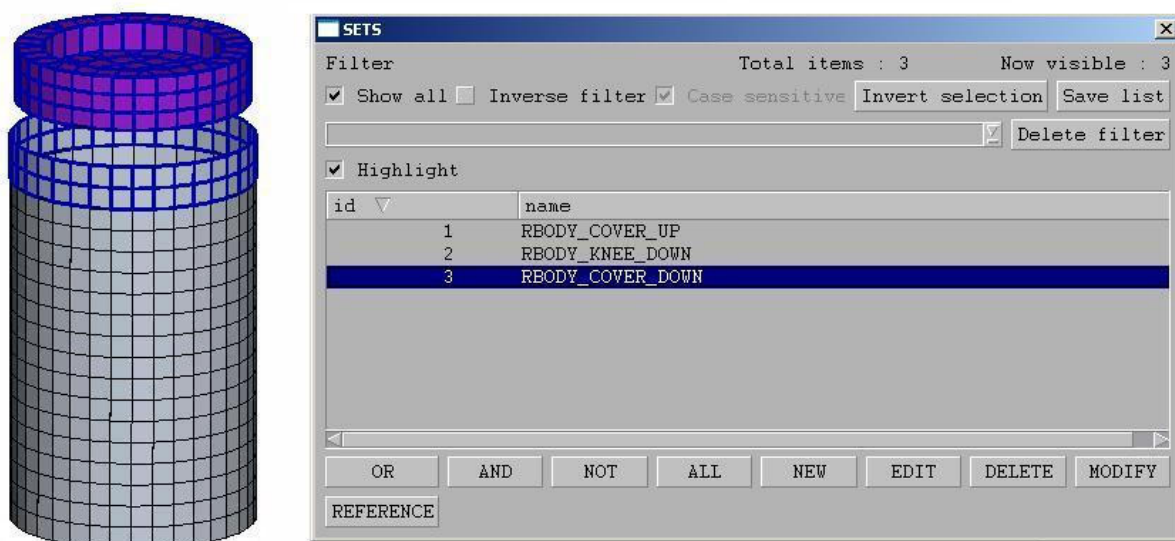
U materiálů s menší hustotou, jako jsou například plasty, je možné dosáhnout většího časového kroku a to i bez nutnosti jejich navažování. Proto se také v praxi sítují elementy menší velikosti.

3.1.5 Sestavení a instrumentace FE modelu

Kromě samotného síťování, zahrnuje tvorba modelu také sestavení jeho součástí a instrumentaci. Přesto, že byl impaktor načten v Anse jako sestava a jeho komponenty byly ve vzájemně správných pozicích, nebyly definovány jejich vazby a po spuštění výpočtu by se impaktor mohl například působením pouhé gravitace rozpadnout. S pomocí selekcí na základě PID jednotlivých komponentů byl impaktor postupně sestaven. Vzhledem k tomu, že byla v konstrukci zanedbána například spojovací tyčka spodní trubky, bylo nutné víčka na obou jejích koncích

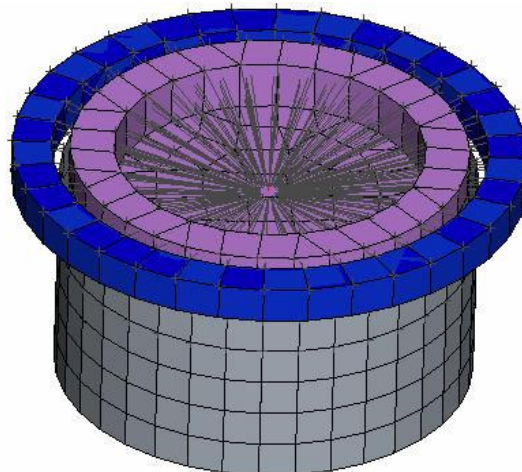


Obr. 70 - Vazba víčka a trubky [RBODY].



Obr. 71 - SET pro spojení víčka vazbou [RBODY].

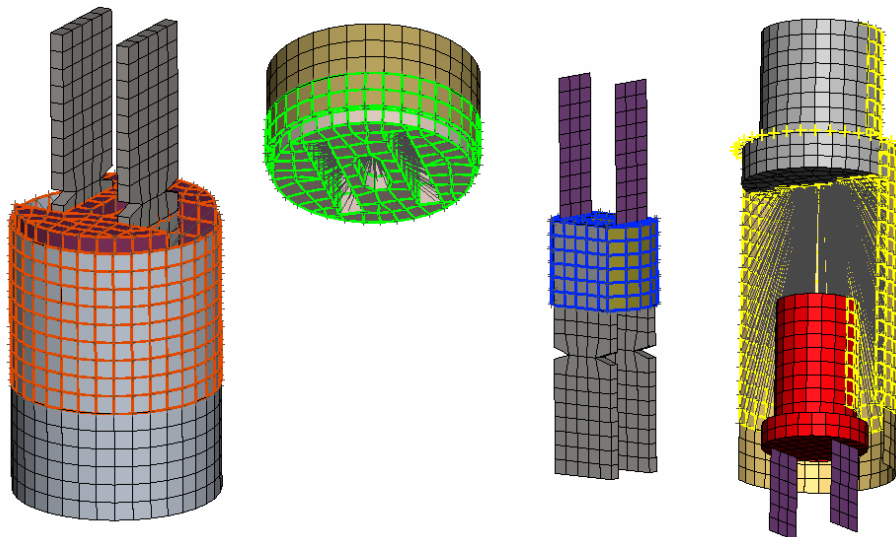
připevnit jiným, alternativním způsobem. S ohledem na charakter spojení, kdy jsou víčka vložena do otvoru trubky, se nabízí použití vazby, která se nazývá Rigid body. Jedná se o vazbu, která spojuje skupinu uzlů a zamezí jejich relativnímu pohybu. Definice Rigid body probíhá většinou pomocí setu a ať už je tento definován jako elementový, uzlový nebo na jednotlivých partech, vždy se váže na uzly, které jsou tohoto setu součástí. Pro připevnění spodního víčka byl tedy definován patřičný set elementů, který zahrnoval celé víčko a část elementů trubky, jak je znázorněno na obr. 71. Na tomto setu byla pak definována vazba, vztahující se k řídicímu bodu, který leží v těžišti setu a v prostoru se může pohybovat volně, není-li v tomto bodě definována okrajová podmínka. Výsledek je znázorněn viz obr. 70. Při použití vazby RBODY je ale třeba dávat pozor na skutečnost, že jejím použitím vznikne dokonale tuhý celek. Nevhodným výběrem elementů nebo uzlů do setu, může dojít k lokálnímu zpevnění, které ale neodpovídá skutečnosti. Například při použití jako náhrada spojení víčka a trubky byly na trubce vybrány pouze ty elementy, které jsou s víčkem ve styku. Stejná vazba byla použita také pro připevnění víčka na horní straně impaktoru, horní i spodní části kolene a spojovacích kolenních elementů.



Obr. 72 - Modifikovaný SET elementů.

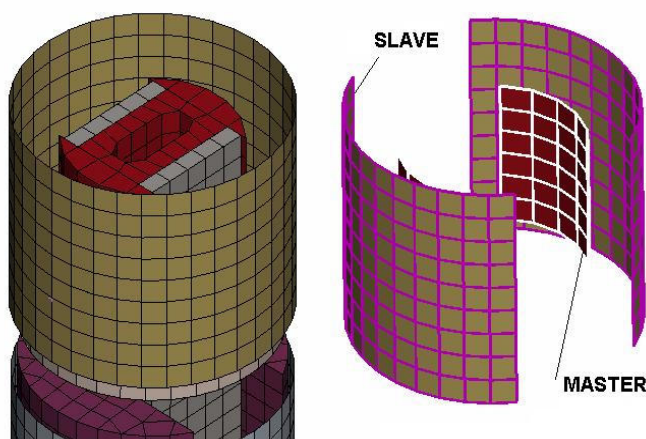
Pro úplnost jsou zde na obr. 73 uvedeny náhledy na zbylé vazby modelu, ve kterých bylo použito Rigid body. Vlevo byl použit elementový set dolní části kolene, odpovídající počet elementů trubky a uzly spojovacích prvků. Horní část kolene tvoří pouze víčko s drážkami, v elementovém setu se dvěma řadami elementů trubky. Horní část spojovacích elementů je dále připevněna k volnému konci listové pružiny. Vybrané elementy jsou vidět na obr. 73. Reálný model sice umožňuje demontáž kolenních prvků, ale jejich připojení k dolní části kolene a k volnému konci listové pružiny je realizováno přišroubováním v těsném osazení. Proto lze tuto vazbu považovat za dostatečně touhou a jejím nahrazením dokonale

tuhou vazbou se při stavbě modelu nedopustíme výraznější chyby. Listová pružina je na druhém konci pevně uchycena v osazení trubky. Zjednodušení FE modelu je znázorněno viz obr. 58. Vnitřní osazení trubky není v FE síti modelováno, pružina je upevněna spolu s horním víčkem k hornímu konci trubky, prostřednictvím elementového setu.



Obr. 73 - Sety pro vazbu [RBODY].

U částí modelu, které se vzájemně pohybují a hrozí jejich kolize, je nutné definovat kontakty. Naproti tomu u komponentů jako jsou například vrchní a spodní víčko, stačí pouze jejich upevnění k trubce pomocí Rigid body. Protože jsou obě tělesa dostatečně tuhá, stačilo by vazbu použít pouze na několik okrajových uzlů a jejich vzájemná pozice by tím byla spolehlivě fixována. Tak tomu ale nemusí být vždy. Když do impaktoru naráží certifikační těleso nebo impaktor samotný naráží do přední části automobilu, je nutné zajistit kontakt například mezi pěnovkou a trubkami. Jak bylo uvedeno, není možné vázat k sobě uzly obou struktur, je nutné definovat jejich kontakt. V takovém případě se povrchy mohou vzájemně libovolně pohybovat, zabráněno je pouze jejich průniku. PamCrash přitom umožňuje definici několika typů kontaktů, které se ale vždy odkazují na dva sety, tzv. master NMS a slave NSS, které mohou být stejně jako u Rigid body zadány jako uzlové, elementové, nebo se mohou odkazovat například na celou property. Algoritmus pak prověřuje, zda nedochází k průniku daných entit, (v závislosti na typu kontaktu) které jsou součástí obou setů. Kontaktními entitami mohou být elementy, hrany nebo uzly, nezávisle na tom, pomocí čeho byly kontaktní

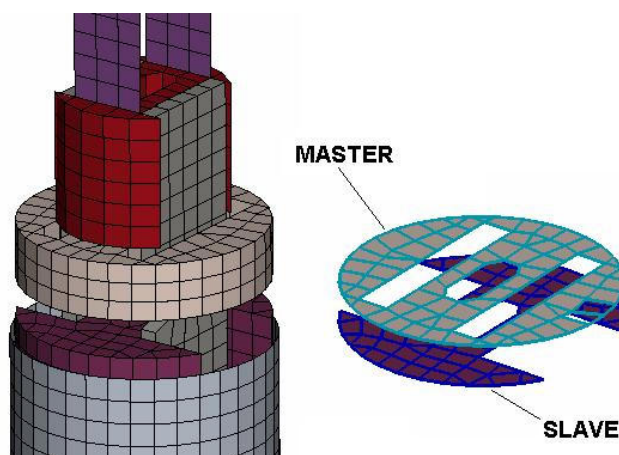


Obr. 74 - Kontakt 33.

sety definovány. Důležitý je pouze jeho typ. Kontakty se dále dělí na symetrické a nesymetrické. V případě nesymetrického kontaktu probíhá algoritmus tak, že sleduje průnik uzlů ze setu slave, do entit definovaných v setu master. U symetrického kontaktu probíhá kromě toho ještě opačným směrem, kdy jsou kontrolovány také uzly ze setu master, na průnik do entit setu slave. Kontakt je tedy přesnější, ale náročnější na výpočet. Naproti tomu nesymetrický kontakt lze pro jeho “jednoduchost”

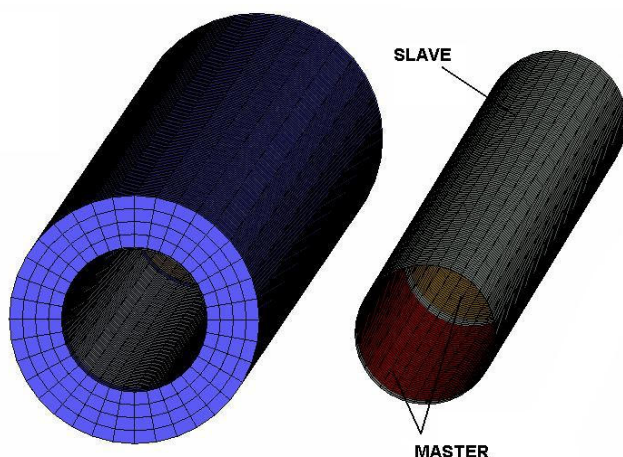
s výhodou použít v případech, kdy je možné oblast kontaktu snadno předem určit. Kontakty se dále liší například podle toho, s jakými entitami jsou uzly kontrolovány. Kontakty umožňují nastavit celou řadu parametrů, jako součinitel tření mezi povrchy, je možné také definovat kontaktní tloušťku. To je vzdálenost, na kterou se povrchy přiblíží, než se kontakt aktivuje. Hodnota (h_{cont}) je u všech kontaktů použitých u impaktoru nastavena na 0,5mm.

V případě prvku uchycení spojovacích kolenních elementů byl použit kontakt typu 33, mezi *PID7* a horní trubkou *PID1*. Jedná se o symetrický typ kontaktu, který používá uzly a hrany vybraných setů, viz obr. 74. Dále znázorňuje oblasti, které byly do obou setů vybrány. Kontaktní tloušťka h_{cont} 0,5mm, součinitel smykového tření mezi povrchy *frict* 0,1.



Obr. 75 - Kontakt 33.

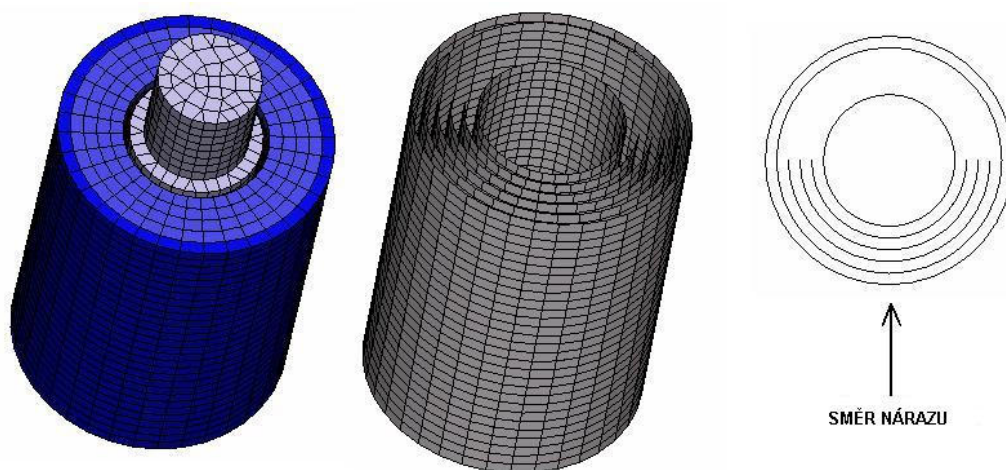
Pro případ, kdyby došlo ke kolizi mezi horní a dolní částí kolene, je i zde definován kontakt. Opět se jedná o symetrický kontakt typu 33, který vzájemně kontroluje uzly a hrany obou vybraných setů. Kontakt znázorněn viz obr. 75, kde je také patrné, že oba sety jsou definovány jako elementové. Kontaktní tloušťka h_{cont} 0,5mm, součinitel smykového tření *frict* 0,1.



Obr. 76 - Kontakt 34.

V případě pěnky a trubek, je použit kontakt typu 34. Jedná se o kontakt nesymetrický, kdy probíhá kontrola mezi uzly pěnky v elementovém setu slave a hran ze setu master, který je tvořen elementy obou trubek. Kontaktní tloušťka h_{cont} 0,5mm a součinitel smykového tření *frict* 0,4. Tento kontakt je znázorněn viz obr. 76.

Jiný typ kontaktu byl použit v případě struktury pěnky. Jak ukazuje obr. 77, vrstva tvořící neoprenovou kůži je z obou stran potažena slupkou. Stejná vrstva je také mezi řadami solidových elementů pěnky. Tento elementový set je vytvořen pro selfcontact typu 36. U tohoto kontaktu se definuje pouze set slave, přičemž probíhá kontrola penetrací mezi uzly a hranami jednotlivých vrstev. Kontaktní tloušťka je zde nastavena stejně jako u předchozích variant 0,5mm. Součinitel smykového tření je 0. Takto definovaný kontakt zabezpečí jednak vazbu mezi neoprenem a pěnkou Confor, je pomocí něho možné také lépe řídit deformaci pěnky.



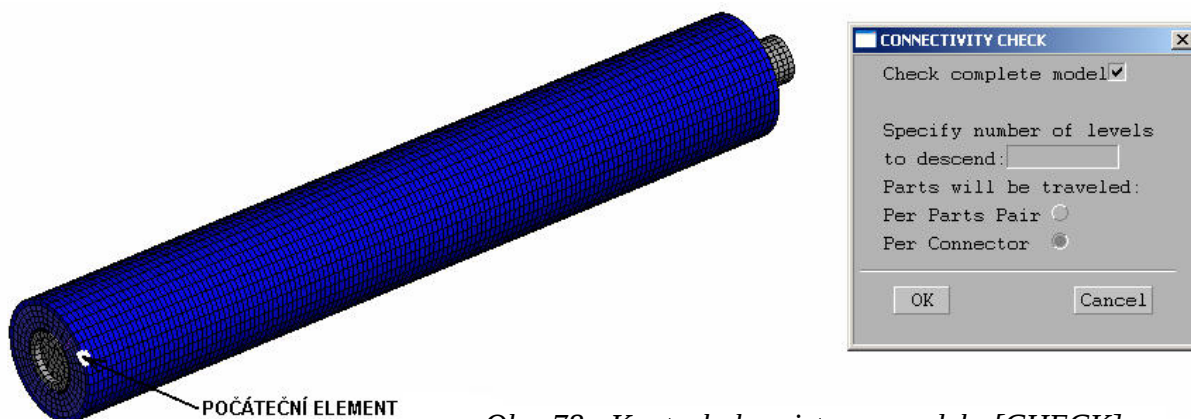
Obr. 77 – Selfcontact 36.

Další typy kontaktů byly definovány dle aktuálních potřeb. V případě dynamické certifikace impaktoru bylo nutné definovat kontakt mezi zkušebním nárazovým tělesem a impaktorem. Jednalo se o kontakt typu 33, kdy byly vybrány sety pro selfkontakt a elementový set povrchu zkušebního nárazového tělesa. Další kontakty byly pak definovány při vlastní nárazové zkoušce na přední část automobilu. Vždy se ale jednalo některý z výše uvedených a popsanych typů, proto je zde nebudu dále podrobněji zmiňovat.

Poznámka:

V některých případech, je nutné pro potřeby definice kontaktu, vytvořit na součásti slupku, která bude tvořit set elementů, sloužících jako kontaktní entity. Property musí být shellová. Tento postup se používá hlavně v případech, kdy je součást tvořena pouze solidovými elementy. Aby v takovém případě nedošlo k ovlivnění chování impaktoru, používá se property nejčastěji s tloušťkou 0,1mm a materiálovým modelem typu 100. Jedná se o speciální materiálový model, určený právě pro kontakty, který je dokonale poddajný a který při deformaci svým chováním nijak neovlivňuje okolní strukturu. Mezi hlavní výhody patří to, že u něho nejsou počítány vnitřní síly, napětí ani deformace, což urychluje výpočet. Materiál se z tohoto důvodu s výhodou používá také u dokonale tuhých těles, vyztužených pomocí rbody.

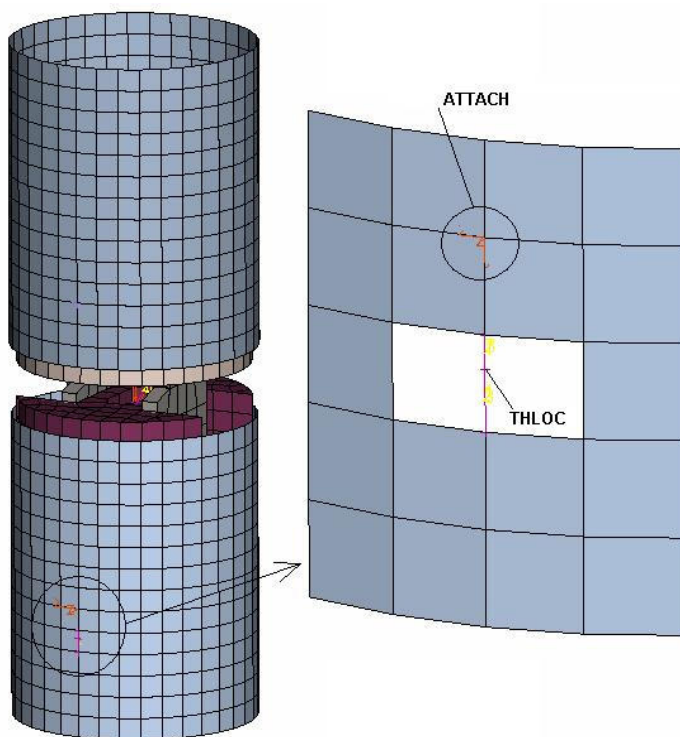
Po definici všech potřebných vazeb a kontaktů, je možné zkontrolovat jejich správnou definici. Ansa je vybavena funkcí pro kontrolu konzistence modelu, s níž je možné odhalit části, které nejsou v modelu nijak upevněny. Dialogové okno této funkce je znázorněno viz



Obr. 78 - Kontrola konzistence modelu [CHECK].

obr. 78. Kontrola byla provedena na celém modelu, počáteční element zvolen na pěnovce, jak ukazuje obrázek. Algoritmus poté postupně přes definované vazby prochází model a všechny party, které jsou s počátečním elementem propojeny, skryje pomocí selekcí a funkce *NOT*. Pokud je tedy model sestaven správně, po ukončení algoritmu celý zmizí. Pokud jakákoli jeho část zůstane na obrazovce, není v modelu nijak uchycena.

Aby bylo možné odečítat z impaktoru potřebné parametry, je nutné definovat potřebné měřící entity. Hlavními parametry, které se u impaktoru v průběhu nárazové zkoušky sledují a po zkoušce vyhodnocují, jsou zrychlení v daném místě, posuv stříhem v koleni a úhel ohybu kolene, viz obr. 22. Pro tento účel byla ve všech případech použita entita *THLOC*, ze které jsou v průběhu simulace snímány složky celkových posuvů, rychlostí a zrychlení v osách lokálně definovaného souřadného systému a ukládají se do souboru *THP*. *THLOC* se definuje na uzlu, ve kterém chceme veličinu zaznamenávat, přičemž jeho orientace může být dále definována dvěma způsoby. Orientaci je možné definovat buď dalšími dvěma body *N1* a *N2*, nebo pomocným lokálním souřadným systémem (*attach*), který může být umístěn kdekoli na modelu a *thloc* se na něho odkazuje. V tomto případě se *thloc* definuje pouze uzlem, v němž je umístěn a číslem pomocného souřadného systému. Osy takového souřadného systému jsou označovány písmeny *r*, *s* a *t*. Platí přitom, že osa *r* je spojnice bodů *N* a *N1*, osa *s* je kolmá na rovinu procházející body *N*, *N1* a *N2* a současně prochází bodem *N2*. Orientace třetí osy vyplývá z definice pravotočivého souřadného systému. I když se ale k definici použijí body *N1* a *N2*, definuje se jimi vlastně lokální souřadný systém stejně jako v předchozím případě. Někdy může být ale problematické označit příslušné body přímo na modelu a je snazší definovat pomocný souřadný systém předem. Ke snímání všech potřebných veličin byly použity celkem tři entity *THLOC*, a všechny jejich pomocné souřadné systémy jsou orientovány stejně, souhlasně s globálním souřadným systémem. Osa *z*, je orientována ve směru nárazu, osa *y* rovnoběžná s osou impaktoru.

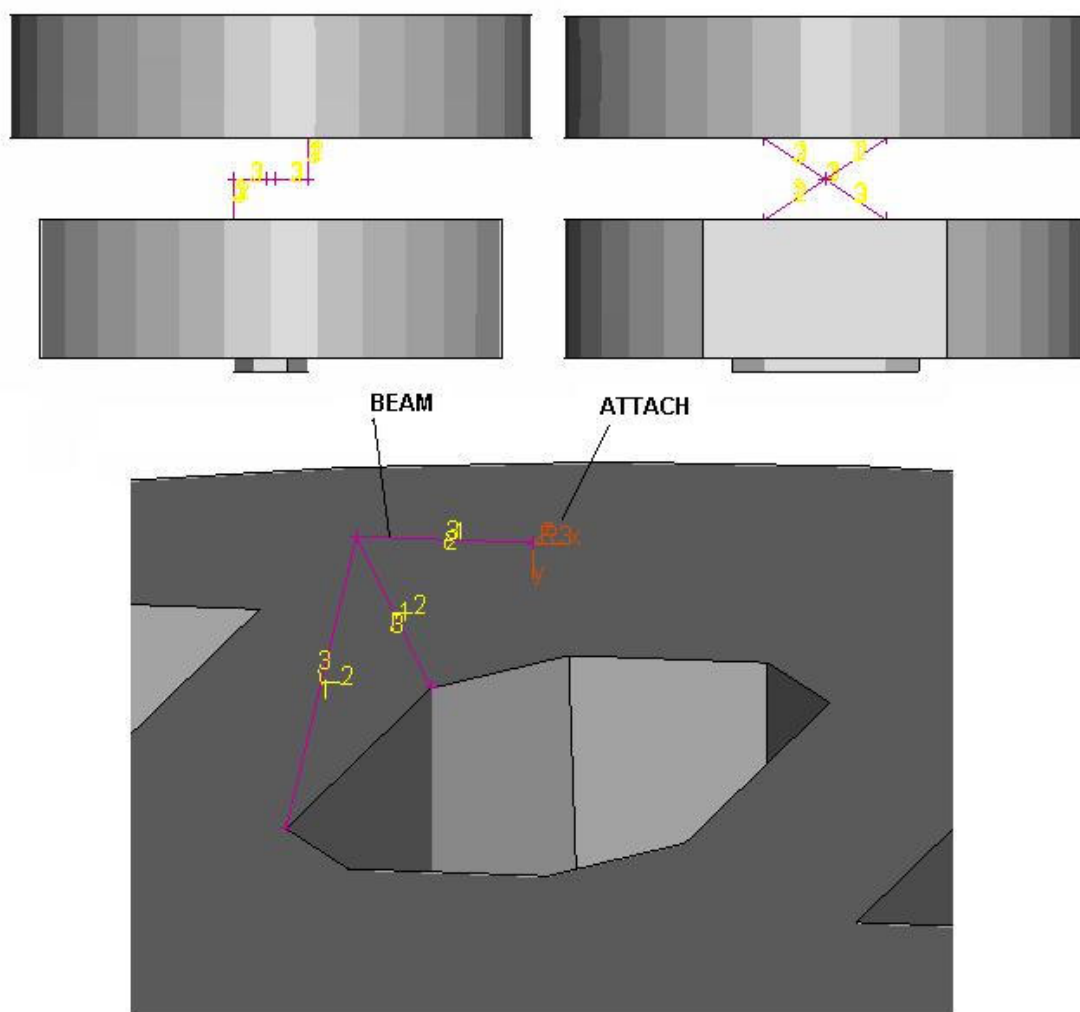


Obr. 79 - Měřící entity pro zrychlení.

V případě zrychlení vychází konstrukce z příslušné směrnice. Ta požaduje, aby bylo zrychlení měřeno na bérce v bodě, který je od středu kolene vzdálen 66mm a leží na straně odvrácené, od směru nárazu, jak je znázorněno viz obr. 14. Ve vzdálenosti 66mm od středu kolenního kloubu není ale žádný z uzlů FE sítě. Bylo proto nutné vytvořit zde bod, a svázat ho s uzly okolními. To bylo provedeno pomocí dvou prvků *beam*, jak ukazuje obr. 79. Pro prvky typu *beam* je použita odpovídající property, jejíž součástí je také definice velikosti jejich příčného průřezu, momentů setrvačnosti kolem souřadných os a číslo *MID* odpovídajícího materiálu. Materiálový model je typu 201. Materiálové charakteristiky jsou stejné jako pro ocel. Do vytvořeného

uzlu byl definován *THLOC* a mu odpovídající lokální souřadný systém.

Z kolenního kloubu je třeba získat celkový úhel ohybu a posuv stříhem, tedy celkovou relativní vzdálenost, o kterou se vůči sobě horní a dolní část kolene při nárazu posunou. Opět je nutné, aby byl ve středu kolene uzel, do kterého bude umístěn měřící prvek. Aby bylo možné získat relativní posuv v kolenu, je nutné mít uzly dva a každý z nich svázat s jednou z polovin impaktoru. Za tímto účelem byla opět pomocí prvků *beam* sestrojena pomocná konstrukce, jak ukazuje obr. 80. Uzly ve středu kolene jsou od sebe vzdáleny ve směru osy *x* 1mm, v ostatních dvou osách je jejich vzdálenost nulová. Odsazení uzlů je patrné z obrázku vlevo, důvodem je zabránění vzájemné penetraci pomocných prvků. Vzhledem k tomu, že posuv je měřen ve směru osy *z*, splňuje uvedená konstrukce všechny požadavky pro dodržení dostatečné přesnosti měření.



Obr. 80 - Měřící entity kolene.

Pro všechny pomocné prvky byla použita stejná property, *PID25*. Aby se zejména při dynamické certifikační zkoušce zabránilo kmitání, byl definován příčný průřez prutů 40mm^2 , což odpovídá průměru přibližně 7mm a momenty setrvačnosti kolem všech tří os shodně 1000kgmm^2 . Přesto že z fyzikálního hlediska je nemožné, aby měl prutový prvek shodné momenty setrvačnosti ke všem osám, byla tato definice použita s ohledem na méně podstatný vliv a funkci prvků, pouze ke zvýšení jejich setrvačnosti. Na závěr je zde pro snadnější

orientaci v modelu veden přehled použitých měřících entit. Hodnota *IFRAM* reprezentuje číslo lokálního souřadného systému.

VELIČINA	MĚŘÍCÍ ENTITA	SMĚR	UZEL	IFRAM
ZRYCHLENÍ	THLOC_ACC_MEASURE	Z – axis	10865	1
POSUV STŘIHEM	THLOC_KNEE_UP	Z – axis	10846	2
	THLOC_KNEE_DOWN	Z – axis	10844	3
ÚHEL OHYBU	THLOC_KNEE_UP	X – axis	10846	2
	THLOC_KNEE_DOWN	X - axis	10844	3

Tab. 6 - Přehled měřících entit použitých na impaktoru.

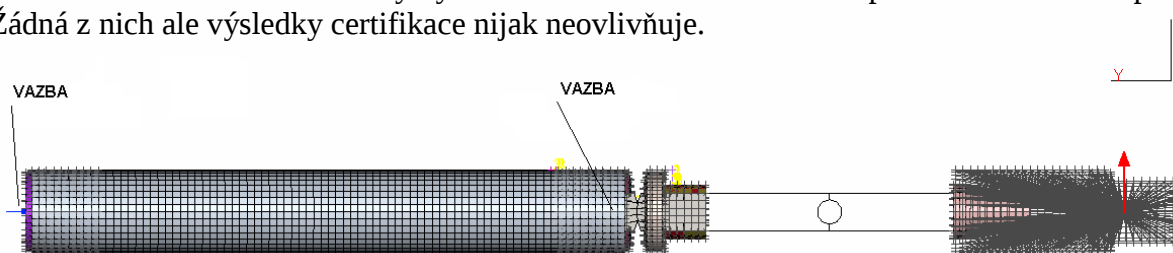
V případě, pokud je FE model konzistentní, následuje definice okrajových podmínek a zatížení. Protože se ale tyto definice ve všech případech liší, budou specifikovány postupně až v části věnující se certifikaci a vlastní nárazové zkoušce.

3.2 Certifikace

Aby mohl být reálný impaktor používán k nárazovým zkouškám, musí v přesně stanovených časových intervalech pravidelně procházet certifikačními zkouškami. Toto je ostatně běžný postup u všech typů měřidel, používaných v laboratorních podmínkách. Certifikační zkušební impaktoru se podrobně zabývá směrnice 2006/368/ES a rozebrána byla v kapitole 1.2.4.6. Nutnost splnění požadovaných parametrů přitom neplatí jenom pro průběžnou certifikaci, ale je nutné, aby měl tyto vlastnosti také impaktor nový, při jeho uvedení do provozu. Proto chceme-li získat z modelu impaktoru věrohodné referenční výsledky použitelné pro praxi, je nutné, aby i FE model certifikační prošel a vyhověl všem jejím požadavkům. Výhodou je, že u modelu nedochází k žádnému opotřebení a certifikace se tedy provede pouze jednou. Požadavky jsou stručně shrnuty, viz obr. 22. Postup provádění simulací jednotlivých zkoušek je uveden dále, přičemž bude postupně popsán způsob uchycení, zatížení a získané výsledky, pro každý typ zkoušky.

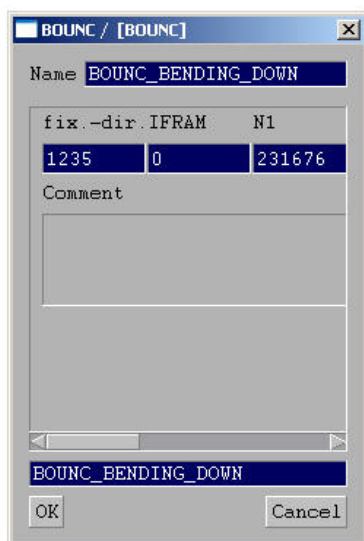
3.2.1 Statická zkouška ohybem

Tato zkouška se provádí za účelem dimenzování spojovacích kolenních elementů. Elementy jsou ukázány na obr. 50. Jedná se o dva kusy ocelových pásků, které spojují horní a dolní část impaktoru, tedy stehno a bérec. Jak ukazuje obr. 54, může u impaktoru dojít k jejich plastické deformaci. Aby byla jejich deformace řízená co do místa, jsou v jejich středu vytvořeny vruby a k ohybu tedy dojde v zúženém místě. Certifikační zkouška probíhá působením ohybové síly na horní část impaktoru. Spodní část je přitom pevně uchycena a je snímán průběh deformace (ohyb impaktoru) v závislosti na působící ohybové síle. Uspořádání zkoušky a požadovaný průběh ohybové síly, jsou znázorněny na obr. 15 a obr. 16. Při modelování certifikační zkoušky bylo s ohledem na snazší realizaci provedeno několik úprav. Žádná z nich ale výsledky certifikace nijak neovlivňuje.



Obr. 81 - Uchycení impaktoru při ohybové zkoušce.

Uchycení impaktoru je znázorněno viz obr. 81. Impaktor je v prostoru upevněn za spodní trubku, jak požaduje směrnice. K definici okrajových podmínek používá Ansa funkci *BOUNC*. Definice může být pomocí uzlu nebo setu, ke kterému se má okrajová podmínka vztahovat. Je možné zvolit také lokální souřadný systém a zadat ho pomocí čísla *IFRAM*. Jak je znázorněno viz obr. 82, ve spodní části bérce se okrajová podmínka vztahuje



Obr. 82 - Funkce [BOUNC].

k uzlu 231676, což je střed rbody, kterým je připojeno spodní víčko k trubce. Je zde zabráněno posuvům ve třech osách a rotaci kolem osy y. Ta je rovnoběžná s osou impaktoru. Posuvy a rotace se zadávají pomocí číselných hodnot, viz tab. 6. Spodní část bérce byla upevněna opět pomocí uzlu, který je středem vazby rbody, tentokrát pro připevnění spodního části kolene. Je zde také zabráněno všem posuvům a rotaci kolem osy y. Rotaci kolem zbylých dvou os je zabráněno vždy jednou dvojicí vazeb na každém konci trubky.

Značka	Pohyb
1	posuv X
2	posuv Y
3	posuv Z
4	rotace kolem X
5	rotace kolem Y
6	rotace kolem Z

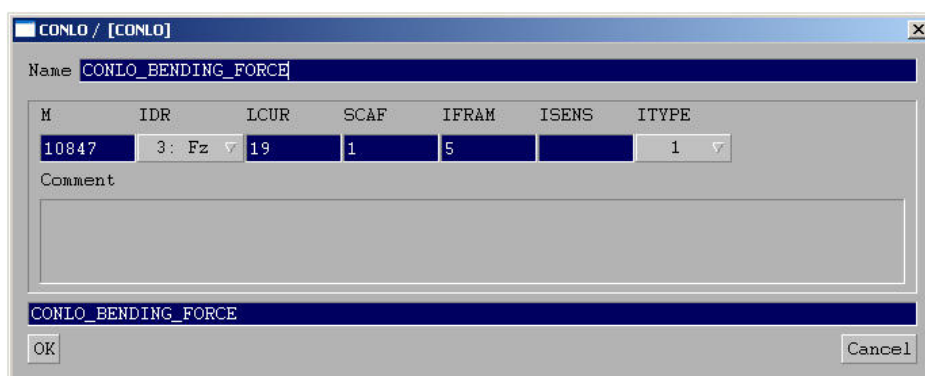
Tab. 7 - Značky [BOUNC].

Jednou z úprav, kterou se odlišuje provedená simulace od reálné zkoušky, je náhrada silového působení. V požadavcích směrnice je uvedeno, že ohybová síla má působit na horní část impaktoru (stehno) na rameni délky 2 metry od středu kolene. Vzhledem k tomu, že délka stehna od středu kolene je pouze 432mm, bylo by nutné modelovat rameno pro působíště síly prodloužením, například pomocí prvků beam. Jim by bylo nutné definovat dostatečně velké průřezy a ohybovou tuhost, aby se při zkoušce nedeformovaly. Samotná směrnice říká, že se má na stehno impaktoru nasadit trubka, potřebné délky. Další možností by bylo využití vazby *rbody*. Ke stávajícímu setu horního víčka by bylo třeba přidat uzly v odpovídající vzdálenosti a vazba by zajistila jejich tuhou vazbu se stehnem. Ohybová síla byla ale umístěna přímo do středu stávající vazby rbody která svazuje impaktor v oblasti horního víčka. Tím bylo zároveň dosaženo rovnoměrného rozložení působící síly do struktury.

Vzdálenost působíště síly od středu kolene je tedy 393,064mm, namísto požadovaných 2m. Její umístění je znázorněno viz obr. 81. Z momentové rovnováhy je možné snadno získat hodnotu, kterou je nutné násobit velikost ohybové síly, aby byl zachován potřebný ohybový moment.

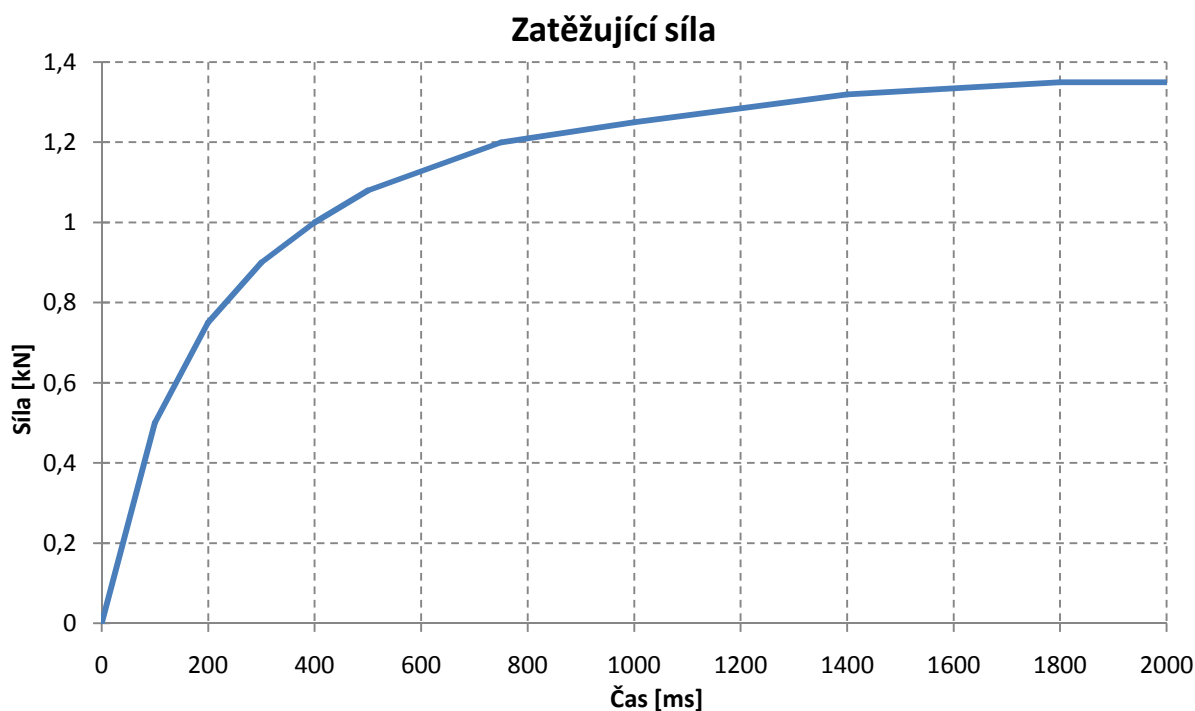
$$n_o = \frac{r_{os}}{r_{osk}} = \frac{2000}{393,064} = \underline{5,088} \quad (3)$$

Násobek n_o tedy udává zmenšení ramene působíště a také zvětšení velikosti ohybové síly. Bude použitý například při postprocessingu, nebo definici průběhu ohybové síly. Ta je definována vzhledem k lokálnímu souřadnému systému, což znamená, že směr jejího působení je v každém okamžiku kolmý na osu trubky. Působící ohybová síla se definuje prostřednictvím křivky, která charakterizuje její průběh v čase. Síla pozvolně narůstá téměř v celém průběhu zkoušky, v závěru se ustálí na konstantní maximální hodnotě, která byla stanovena přepočtem pomocí n_o , a jejího průběhu viz obr. 16. Definovaný průběh zatěžující síly, která vstupuje do výpočtu, je znázorněna na obr. 84. Její definice v modelu je na obr. 83.

Obr. 83 - Definice
ohybové síly [CONLO].

Nárůst zatěžující síly v čase byl původně modelován jako lineární s tím, že se v čase 1800ms její velikost ustálila na konstantní, maximální hodnotě. Ohyb impaktoru ale nebyl v čase plynulý. Proto byla ohybová síla definována s degresivní charakteristikou, zpočátku tedy roste rychleji. Impaktor se pak po celou dobu simulace ohýbá plynule. Maximální ohybová síla přitom zůstala zachována, vychází z požadavku směrnice a je modifikována koeficientem n_0 .

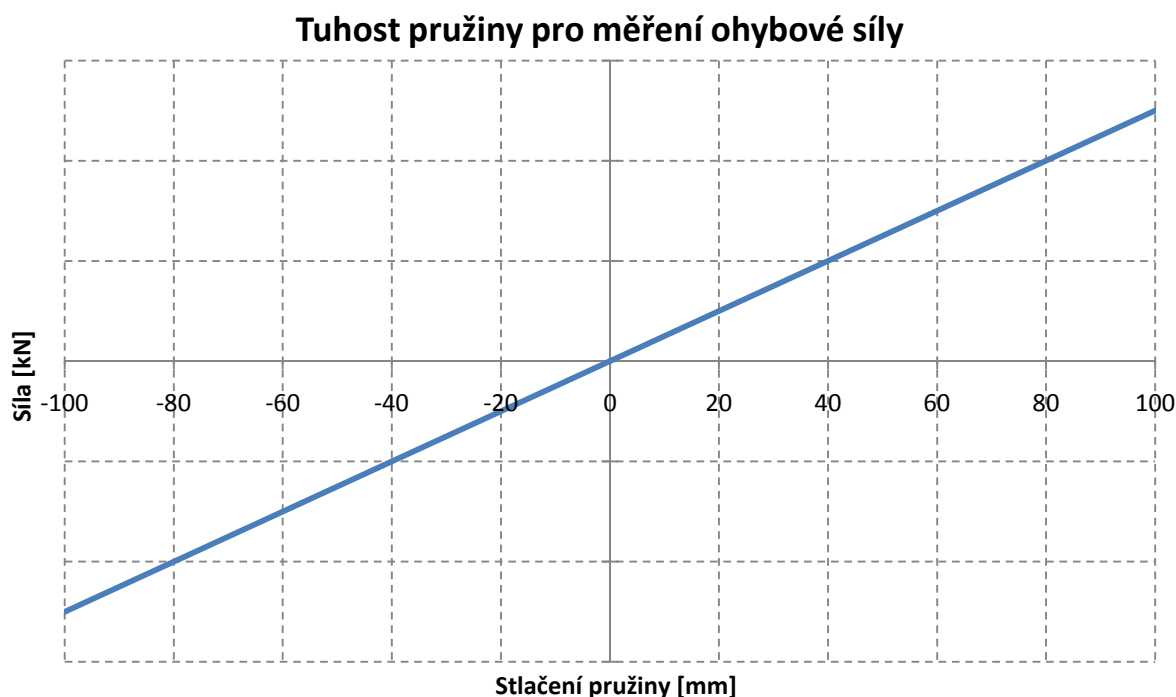
$$F_{Omax} = F_{Otmax} * n_0 = 265,37 * 5,088 = 1350,2N = \underline{1,3502kN} \quad (4)$$



Obr. 84 – Průběh ohybové zatěžující síly [FUNCT 19].

Aby bylo možné získat průběh působící síly jako reakci struktury na ohybové zatížení v simulaci, je nutné použít prvek, který bude schopen její velikost v čase zaznamenávat a ukládat do výsledkového souboru *THP*. K tomu účelu byl použit prvek *spring*. Jedná se v podstatě o *beam*, který se může chovat jako pružina nebo tlumič, podle toho, jaké vlastnosti jsou mu definovány. Tato pomocná pružina leží v rovině ohybu a spojuje dva uzly, z nichž každý leží od středu rbody (dosavadního působiště ohybové síly) ve vzdálenosti 0,1mm. První je součástí setu pro rbody, je tedy se středem pevně spojen a v druhém nově působí ohybová

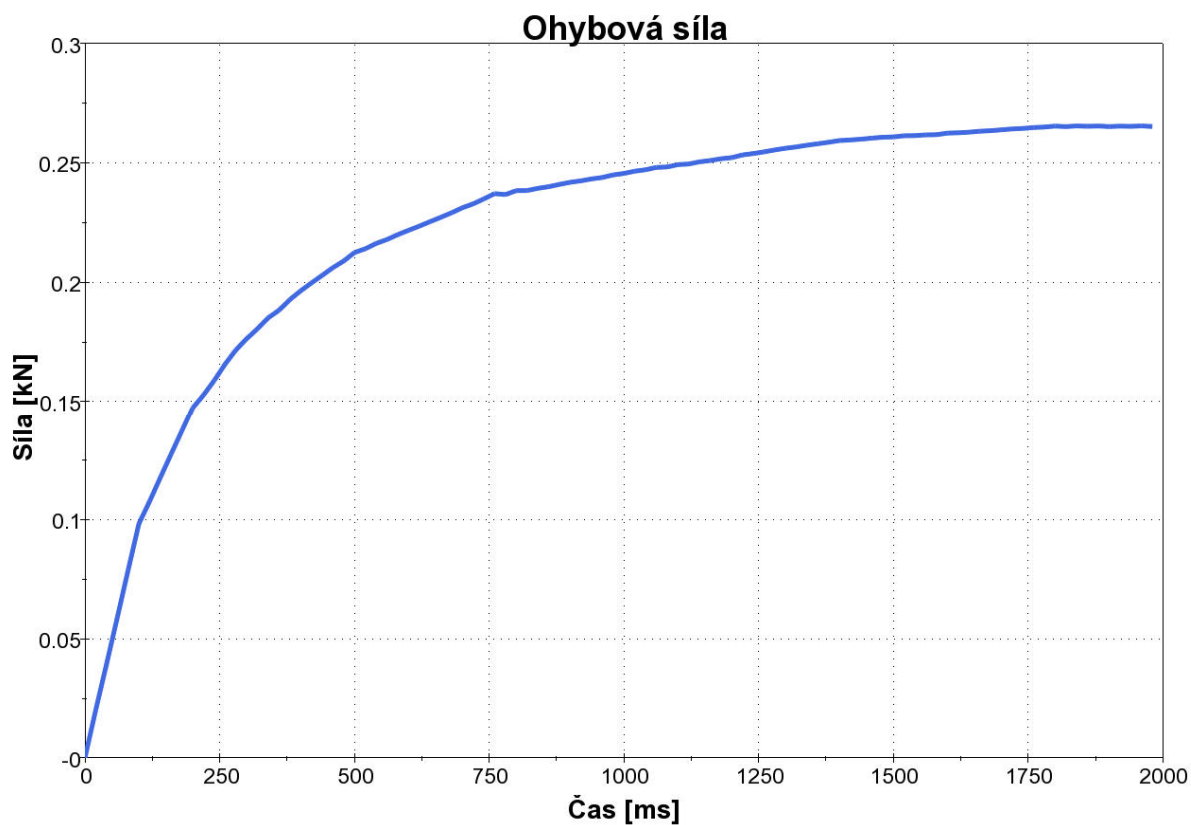
síla. Tato se tedy do středu rbody přenáší právě přes pružinu a první uzel. Aby nedošlo k velké změně polohy působíště síly, má pružina definovanu dostatečně velkou tuhost ve směru vše tří souřadných os. Pružina má *PID26*, veškeré její parametry jsou součástí definice vlastností materiálového modelu. Používá se materiálový model 220, jehož součástí může být definice tuhosti, tlumení atd. Ty je možné zadávat ve směru všech tří os. Definice je stejně jako u zatěžující síly prostřednictvím čísla odpovídající křivky, která stanoví průběh dané veličiny v závislosti na čase, posuvu nebo rychlosti, podle charakteru veličiny. Tuhost se zadává v závislosti na stlačení pružiny, tlumící síla na rychlosti pohybu, atd. Definovaná tuhost pomocné pružiny ve směru její osy je znázorněna viz obr. 85.



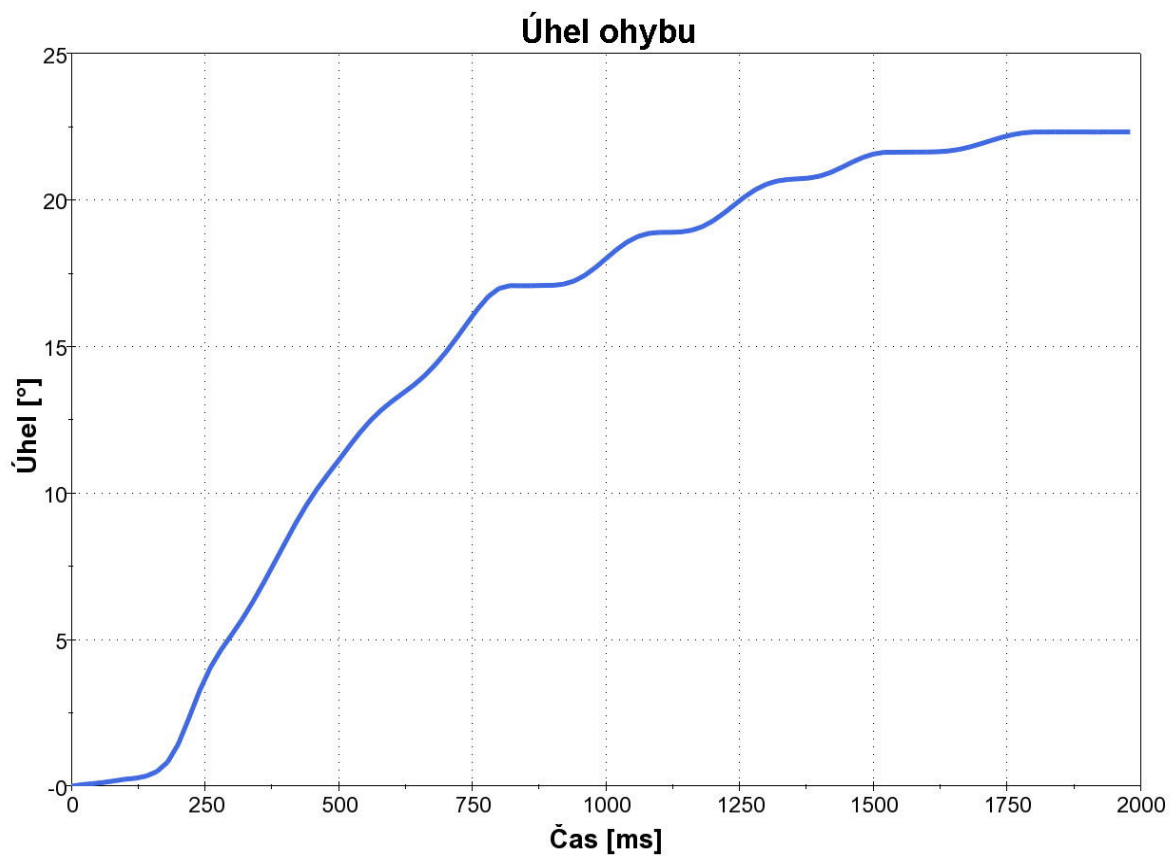
Obr. 85 - Tuhost pomocné pružiny [FUNCT 18].

S ohledem na stabilitu výpočtu je tuhost pružiny definována vždy pro oba směry posuvu, tedy pro její stlačení i roztahení. Tuhost je přitom definována tak, aby byla deformace pomocné pružiny v průběhu certifikační zkoušky nepodstatná a nedošlo ke změně polohy působíště ohybové síly. Tlumení definováno není, jeho hodnota je tedy nulová (výchozí).

Průběh ohybové síly, která skutečně působí na horní část impaktoru, po přepočtu koeficientem n_0 a v závislosti na čase je znázorněn na obr. 86. Bylo provedeno také porovnání s průběhem definovaným na počátku simulace, obě křivky jsou totožné. Průběh úhlu ohybu impaktoru v čase, je znázorněn na obr. 87. Díky regresivní charakteristice průběhu ohybové síly je ohyb impaktoru plynulý téměř od počátku certifikační zkoušky. V požadavcích směrnice je uvedeno, že certifikační zkouška může být ukončena v okamžiku, kdy impaktor dosáhne úhlu ohybu 22° . Z průběhu je zřejmé, že úhlu ohybu impaktoru se na požadované hodnotě 22° ustálí krátce po dosažení maximální hodnoty ohybové síly a dále se již nemění. Zvlnění křivky průběhu je zřejmě zapříčiněno listovou pružinou, která je spojovacím prvkem mezi působíštěm ohybové síly a deformovanými spojovacími kolenními elementy. Svoji roli zde hraje také pružina, která omezuje posuv stříhem v koleni. Její vlastnosti budou blíže popsány v kapitole 3.2.2.

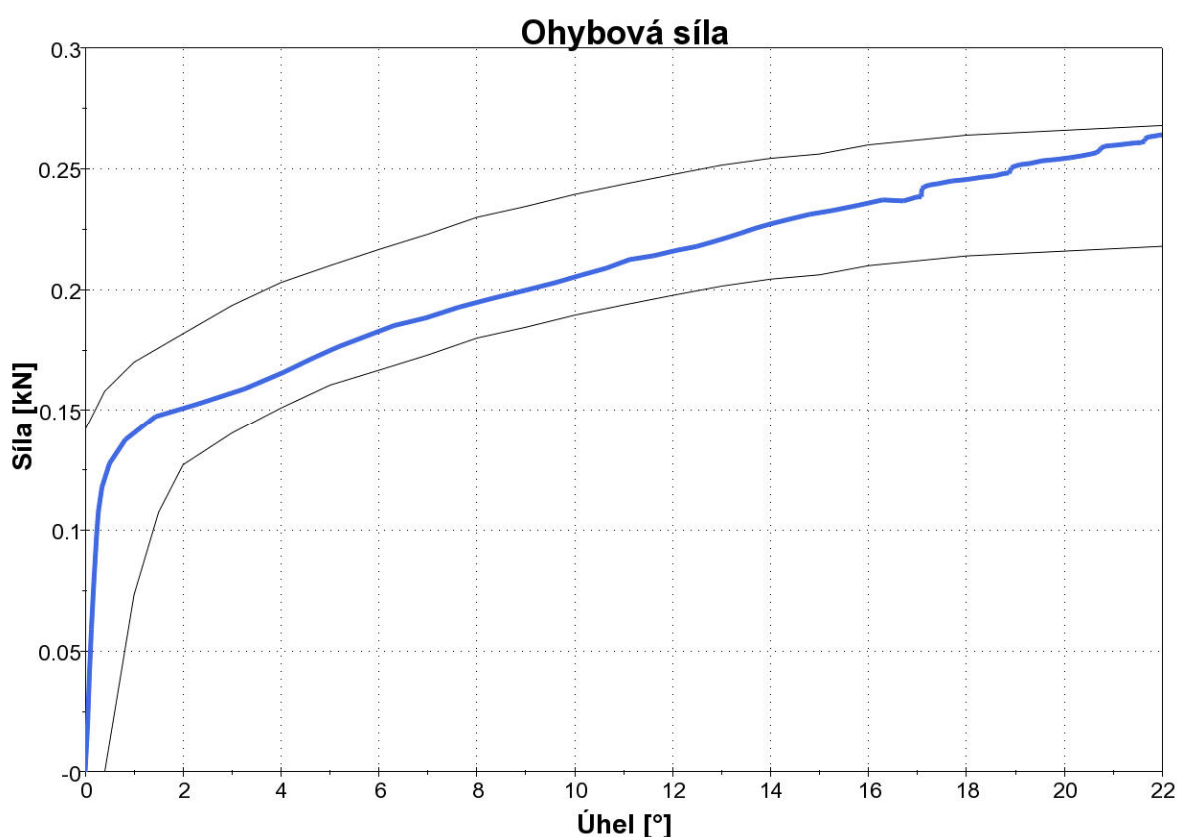


Obr. 86 - Průběh ohybové síly v čase.



Obr. 87 - Průběh úhlu ohybu v čase.

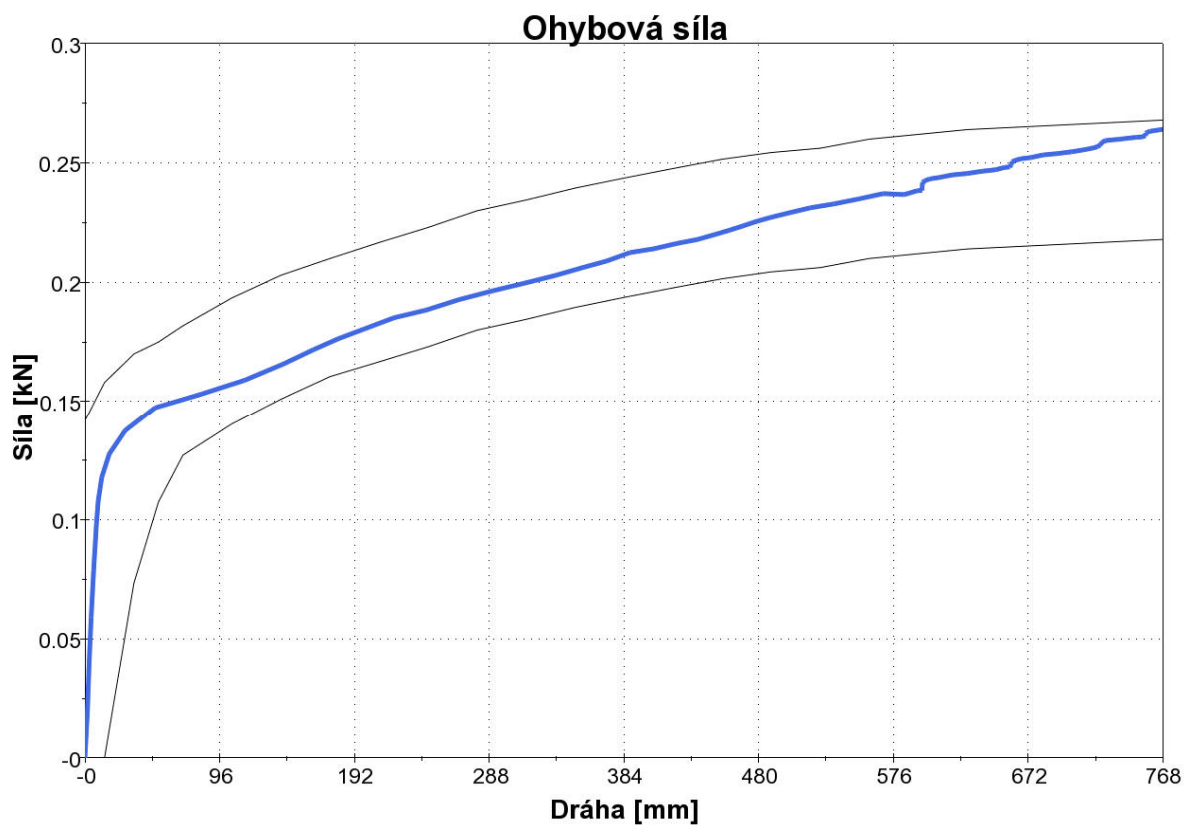
Směrnice dále požaduje, aby byly při této certifikační zkoušce splněny dva parametry. Je definován rozsah, v jakém se má pohybovat velikost ohybové síly v závislosti na úhlu ohybu impaktoru. S rozsahem, který je znázorněn na obr. 16, úzce souvisí také druhý z požadavků a to množství energie, která má být impaktorem pohlcena v průběhu ohybu kolene a to v rozsahu úhlu ohybu α 0 až 15°. Energie se vypočte integrací ohybové síly po dráze, tedy úhlu ohybu násobeném délkou ramene, na kterém síla působí. Má být pohlceno 100J, přičemž dovolená odchylka je $\pm 7J$. Průběh ohybové síly, v závislosti na úhlu ohybu, je znázorněn na obr. 88. Vzhledem k tomu, že entita THLOC měří úhlové natočení v radiánech, bylo nutné provést v postprocessingu přepočít na stupně. V grafu jsou vyznačeny také křivky, které definují příslušné meze požadované směrnice. Rozsahy souřadných os jsou přizpůsobeny průběhu, který byl uveden na obr. 16 a který je přímo součástí směrnice, aby bylo možné jejich případné srovnání. Mezní úhel ohybu je 22°.



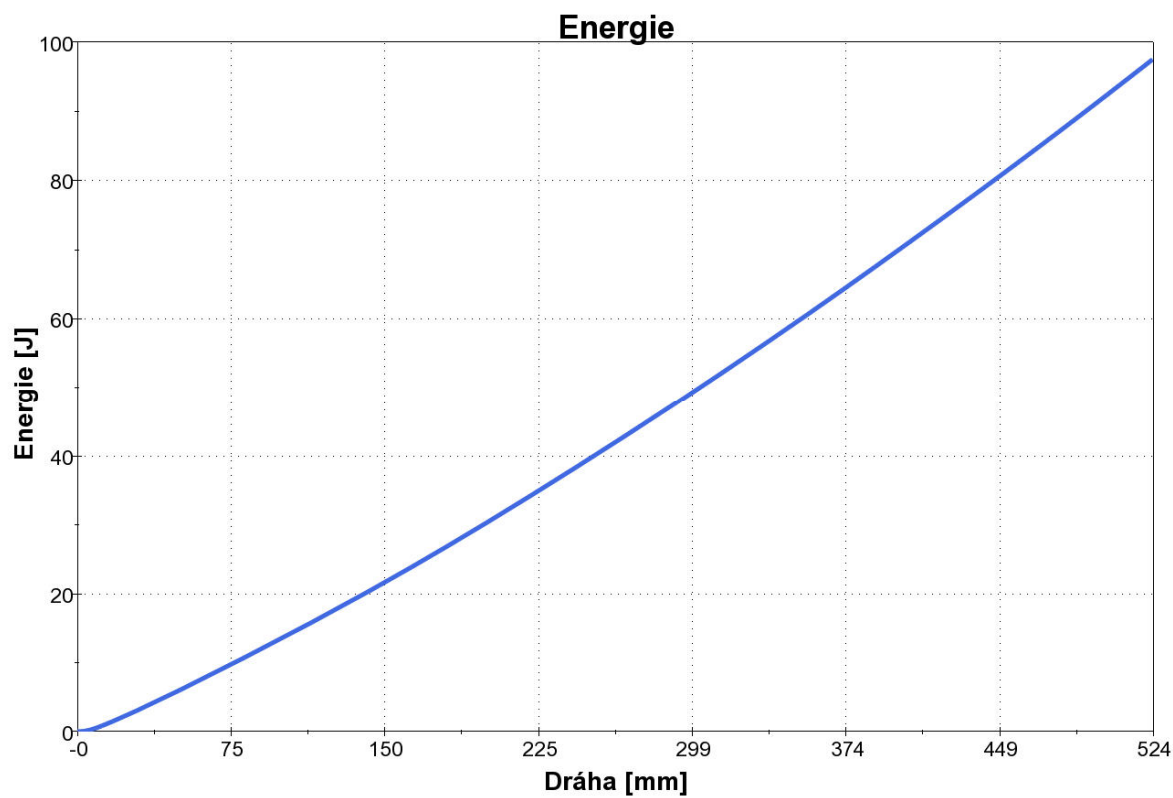
Obr. 88 - Průběh síly v závislosti na úhlu ohybu.

Z grafické závislosti je zřejmé, že v celém průběhu statické ohybové certifikační zkoušky se velikost ohybové síly pohybuje v uvedeném rozmezí a vyhovuje tak požadavkům, které jsou na její průběh kladeny.

Stejný průběh ohybové síly je použit také pro integraci, tedy výpočet pohlcené energie. Na osu x byla ale místo úhlu vynesena dráha, po které se pohybuje působíště ohybové síly. Výpočet dráhy z úhlu ohybu v radiánech probíhal v postprocessingu pouze násobením délkou ramene ohybové síly 2000mm. Průběh ohybové síly v závislosti na dráze je znázorněn viz obr. 89. Průběh spotřebované energie, je pak na obr. 90, přičemž na ose x je dráha, po které se síla pohybuje.



Obr. 89 - Průběh síly v závislosti na dráze.



Obr. 90 - Průběh spotřebované energie.

Integrace byla provedena pomocí postprocessoru Meta. Dráha odpovídající úhlu ohybu 15° byla stanovena výpočtem.

$$d_{15} = \alpha * \frac{\pi}{180} * r_0 = 15 * \frac{\pi}{180} * 2000 = \underline{523,6mm} \quad (5)$$

Z obr. 90 je patrné, že na této dráze dosahuje spotřebovaná energie hodnoty **97,5J**, což je v požadovaném rozsahu **93 až 107J** stanoveném směrnici a tedy také druhý ze sledovaných parametrů této certifikační zkoušky je tak splněn. (Pro kontrolu byla provedena integrace mezních křivek průběhu ohybové síly, které jsou součástí směrnice. Jejím odpovídající energie jsou pro úhel ohybu 15°, **89 a 111J**.)

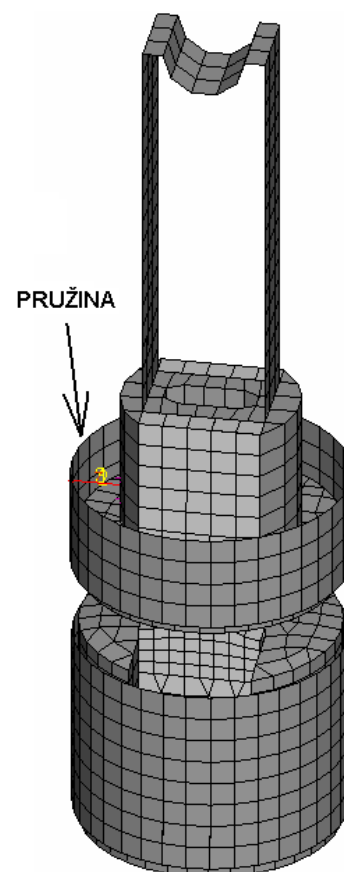
V průběhu simulace byly sledovány také některé další parametry:

Téměř veškerá energie byla pohlcena solidovými elementy spojovacích kolenních prvků. Shellové elementy, které tvoří slupku, mají definován materiálový model 100 a žádnou energii nepohlcují. Ostatní části impaktoru pohltily energii v řádech desetin a setin joulů. Nejvíc pak pružina, která omezuje posuv kolene stříhem, jejíž vnitřní energie vzrostla o 0,7J.

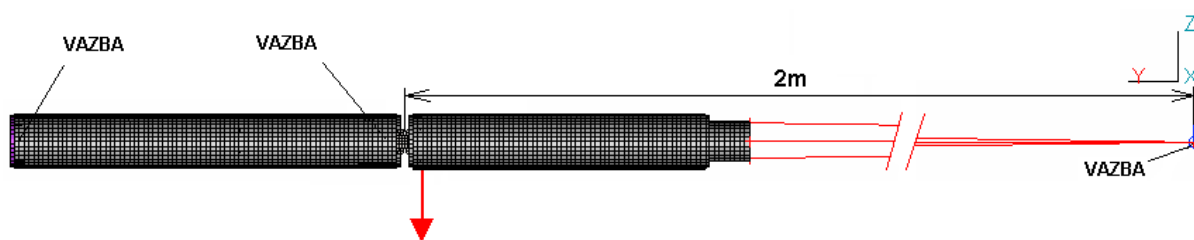
Kinetická energie celé soustavy v průběhu simulace, vzrostla krátkodobě na maximální hodnotu 0,25J a to v čase 200ms, kdy se impaktor začne ohýbat. V průběhu simulace se velikost kinetické energie pohybuje kolem hodnoty 0,02J.

3.2.2 Statická zkouška stříhem

Další certifikační zkouškou je statická zkouška stříhem. Tato se provádí za účelem dimenzování pružiny, která je vložena mezi volný konec listové pružiny pro uchycení spojovacích elementů a stěnu horní trubky impaktoru. Umístění pružiny je znázorněno na obr. 91. Průběh certifikační zkoušky je opět přesně stanoven směrnici [21] a její provedení je naznačeno na obr. 92. Upevnění spodní části impaktoru, tedy bérce, je stejné jako v případě ohybové zkoušky. Je tedy pevně uchycen za spodní trubku. Zkouška se opět provádí bez pěnovky. Použity byly okrajové podmínky Boundary conditions *BOUNC* ve středech vazeb *RBODY*. V obou je přitom zabráněno posuvům ve směru všech tří os a rotaci kolem osy y, tedy osy impaktoru. Provedení a postup je stejný, popsán byl již v kap. 3.2.1. Odlišné je ale uchycení horní části impaktoru. V předchozím případě nebyla pro stehno definována žádná vazba, v případě stříhové zkoušky je stanoven způsob jeho zavěšení. Horní trubka má být upevněna ve vzdálenosti 2m od středu kolene, aby působící síla namáhala kolenní kloub pouze stříhem a impaktor se neohýbal. Protože by jakékoli zjednodušení této vazby znamenalo změnu kinematiky pohybu horní části impaktoru, je zavěšení modelováno přesně dle požadavků směrnice. Stehno je zavěšeno na třech prvcích beam, jak znázorňuje obr. 92.

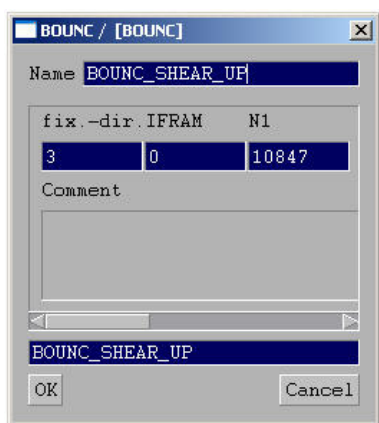


Obr. 91 - Pružina.



Obr. 92 - Zkouška stříhem.

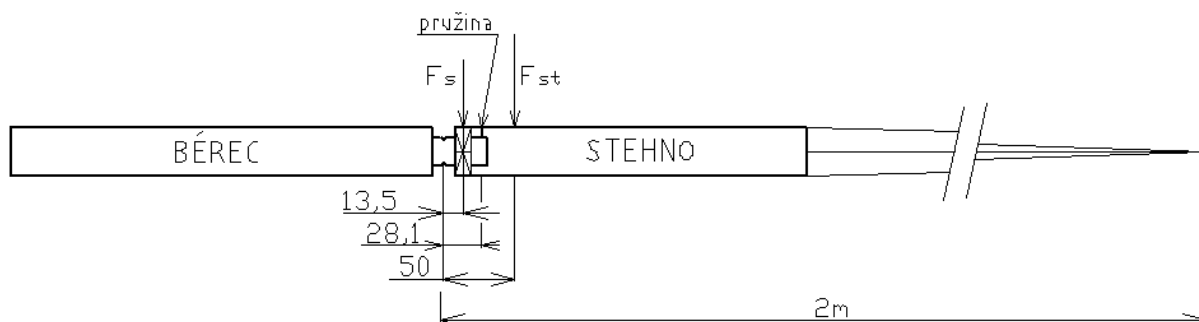
Pruty jsou na jednom konci uchyceny k uzlům horního víčka *PID5* a sbíhají se do uzlu číslo 10847, který je od středu kolene ve vzdálenosti 2000mm. Pro prvky *BEAM* byla použita samostatná property, *PID25*. Aby bylo zavěšení dostatečně tuhé a bylo spolehlivě eliminováno jejich prohýbání, mají definován příčný průřez 300mm². *PID*, které bylo původně použito pro pomocné prvky ve středu kolene, viz obr. 80, má definován průřez 40mm² a z hlediska tuhosti a průhybu zavěšení by tak nemuselo vyhovět.



Okrajová podmínka *BOUNC* definovaná ve společném uzlu prutů je nastavena tak, aby bylo simulováno zavěšení a stehnu zabráněno posuvu ve směru osy z. Jak ukazuje obr. 94, je fixován pohyb ve směru 3, tedy posuv ve směru osy z viz tab. 8. Lokální souřadný systém *IFRAM* definován nebyl, okrajová podmínka se svou orientací tedy vztahuje ke globálnímu souřadnému systému.

Obr. 94 – Funkce [BOUNC].

Působící síla je znázorněna na obr. 92. Směrnice požaduje, aby její působíště leželo 50mm od středu kolene, jak ukazuje obr. 93, kde je síla označena jako teoretická stříhová, tedy F_{st} . Protože stejně jako v případě ohybové zkoušky není u impaktoru v tomto místě žádný uzel, bylo působíště stříhové síly F_s přesunuto do jiného místa, přičemž je s touto změnou následně počítáno ve všech krocích tak, aby nedošlo k ovlivnění výsledků certifikace. Silovým působením je třeba zajistit relativní pohyb mezi horní trubkou impaktoru a spojovacími elementy. Proto byla síla zavedena do středu *RBODY*, kterým je uchyceno spodní víčko horní trubky. Vzdálenost řídicího uzlu této vazby a tedy i působíště síly od středu kolenního kloubu je 13,5mm. Naopak posuv stříhem je měřen přímo ve středu kolene. V modelu došlo nejen ke změně působíště stříhové síly, ale také místa, kde je snímána její velikost. K měření její velikosti byla s výhodou použita právě pružina, jejíž chování je ověřováno touto certifikační zkouškou. Síla je snímána ve vzdálenosti 28,1mm jak ukazuje obr. 93.

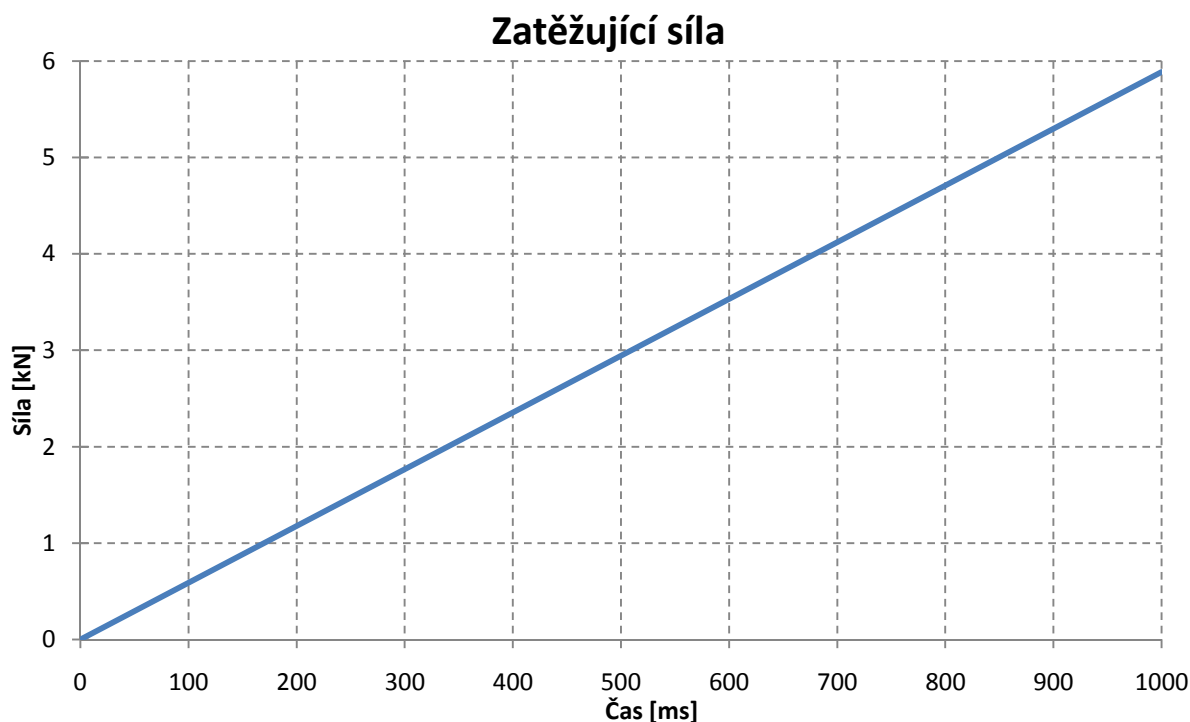


Obr. 93 - Schéma průběhu stříhové zkoušky.

Ze všech výše uvedených parametrů a požadavků vyplývá několik závěrů. Není příliš důležité, jak bude definován průběh zatěžující stříhové síly. Zásadní je, aby velikost posuvu stříhem v kolenní odpovídala požadované hodnotě při jisté působící síle, přičemž velikost této síly musí být přepočítána do místa, kde má být podle požadavků směrnice. Posuv stříhem je měřen přímo ve středu kolene, pomocí entit *THLOC*. Síla je měřena na pružině, jejíž vzdálenost od středu kolene je 28,1mm. Proto pokud chceme zjistit sílu, jaká by při daném posuvu stříhem působila ve vzdálenosti od středu kolene 50mm, je v postprocessingu nutné velikost síly ze souboru THP násobit koeficientem odpovídajícím poměru obou vzdáleností.

$$n_s = \frac{r_{SSK}}{r_{SS}} = \frac{2000-28,1}{2000-50} = \underline{1,011} \quad (6)$$

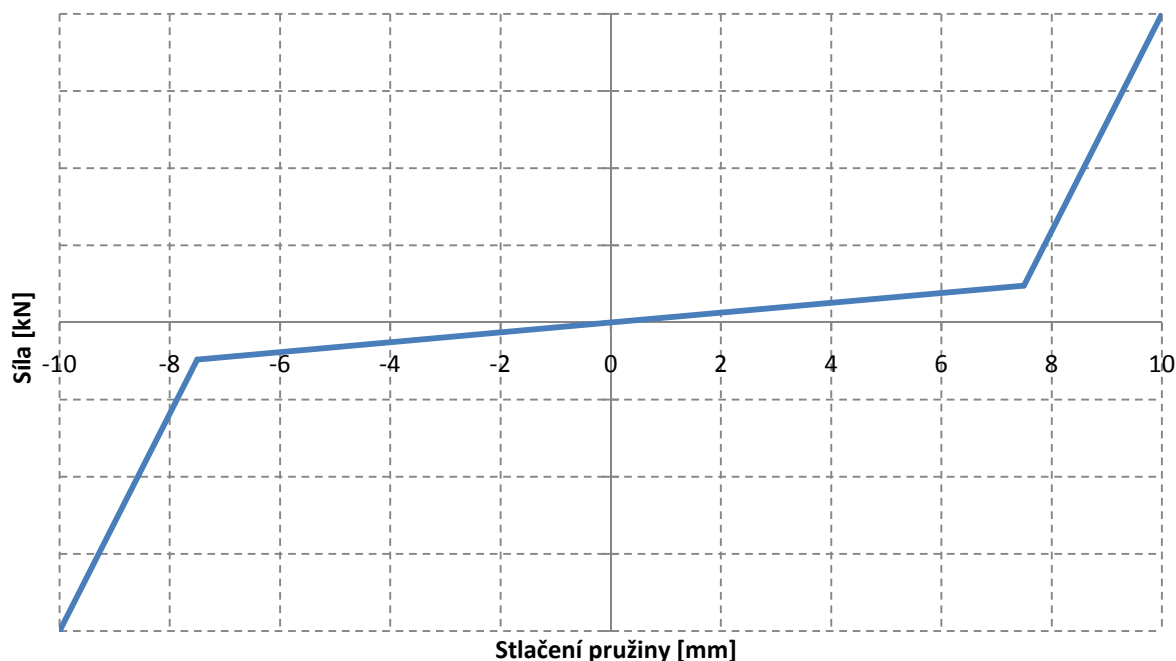
Tuhost pružiny, kterou má mít ve směru posuvu, lze na základě výše uvedených parametrů snadno stanovit a to přímo z požadavků směrnice. Zatěžující síla byla tentokrát definována jako lineárně rostoucí, s maximem na hodnotě 5,8868kN a v čase 1 sekundy. Průběh je na obr. 95.



Obr. 95 – Průběh stříhové zatěžující stříhové síly [FUNCT19].

Tuhost pružiny v ostatních směrech je opět možné stanovit více méně libovolně. V případě tohoto impaktoru byla tuhost stanovena vysoká, čímž se podařilo nasimulovat také vedení při posuvu stříhem a zabránit tak nežádoucím posuvům v kolenním kloubu. Přípustná deformace je pouze ve směru, který svou konstrukcí umožňuje listová pružina. Tuhost pružiny pro posuv do bočních směrů je na obr. 85. Průběh tuhosti pružiny ve směru posuvu stříhem je jako funkce reakční síly v závislosti na stlačení definována dle obr. 96. Stejně jako v případě tuhosti pomocné pružiny pro měření síly je průběh kvůli stabilitě výpočtu definován pro oba směry, tedy stlačení i roztahení pružiny. Aby zejména při dynamickém namáhání nedošlo ke kontaktu mezi spojovacími elementy a trubkou, vzrůstá skokově tuhost pružiny. Toto je možné reálně dosáhnout například dosednutím závitů pružiny s jemnějším stoupáním.

Tuhost pružiny pro posuv stříhem



Obr. 96 – Tuhost pružiny pro posuv stříhem [FUNCT16].

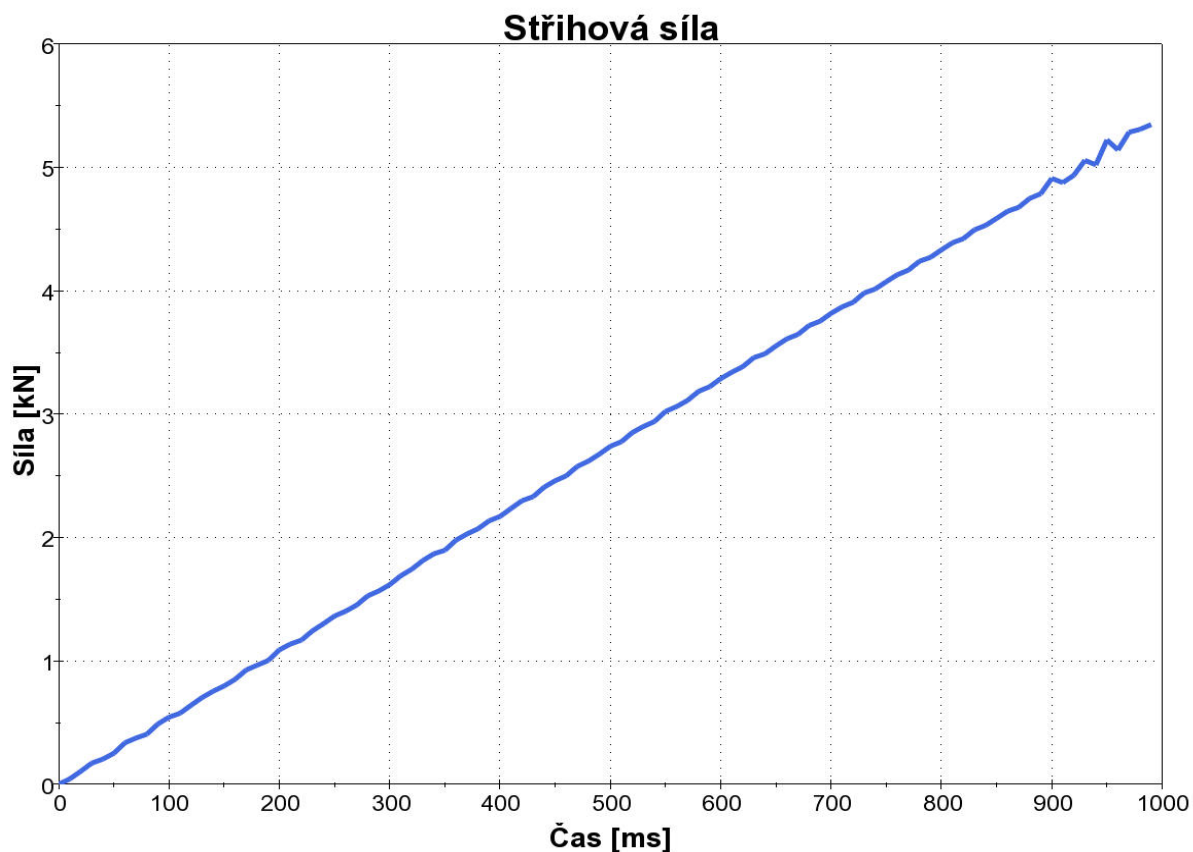
Střihová síla, která byla měřena v průběhu simulace, je znázorněna na obr. 98. Při porovnání grafů na obr. 95 a obr. 98 je pak možné si všimnout rozdílu ve velikostech maximálních hodnot definované zatěžující síly a síly snímané na impaktoru v závěru simulace. Toto je dáno právě rozdílem mezi místem působíště síly a místem, kde je síla měřena. Síla je měřena v místě pružiny, tedy od bodu zavěšení horní části impaktoru na delším rameni a proto má menší velikost.

Jak zde již bylo uvedeno, prvek typu *SPRING* může mít v materiálovém modelu prostřednictvím křivek definovány také vlastnosti tlumiče. Ty se projeví pouze při dynamické certifikaci a dynamickém zatěžování impaktoru. Proto byly při simulaci této statické certifikační zkoušky tlumicí vlastnosti potlačeny. Reálné provedení tlumiče je na obr. 87.

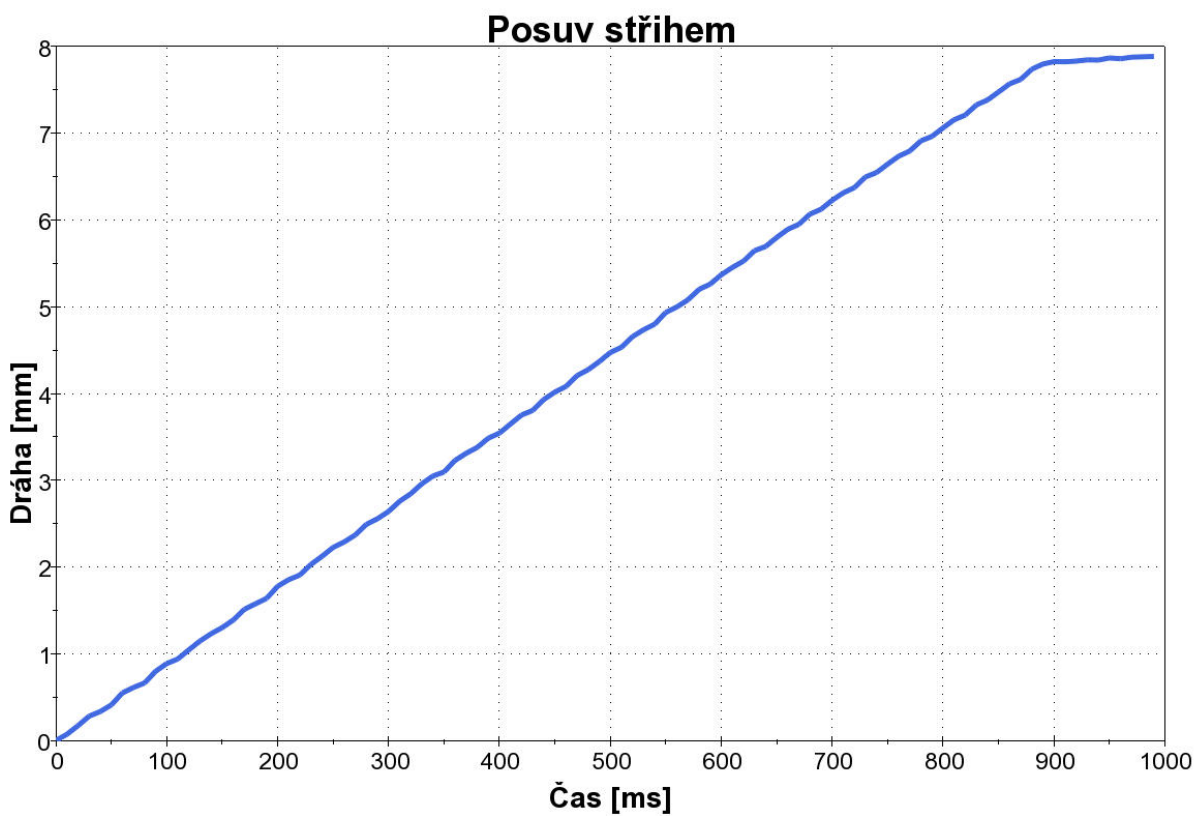
Směrnicí je dáno, že certifikační zkouška může být ukončena po dosažení posuvu stříhem 8mm, nebo velikosti zatěžující síly 6kN. V případě simulace bylo dříve dosaženo mezního posuvu stříhem. Toto je na obr. 99. Výsledný průběh posuvu stříhem v kolenu a zatěžující síly, po korekci na odlišnosti modelu je znázorněn včetně dovolených mezí na obr. 100.



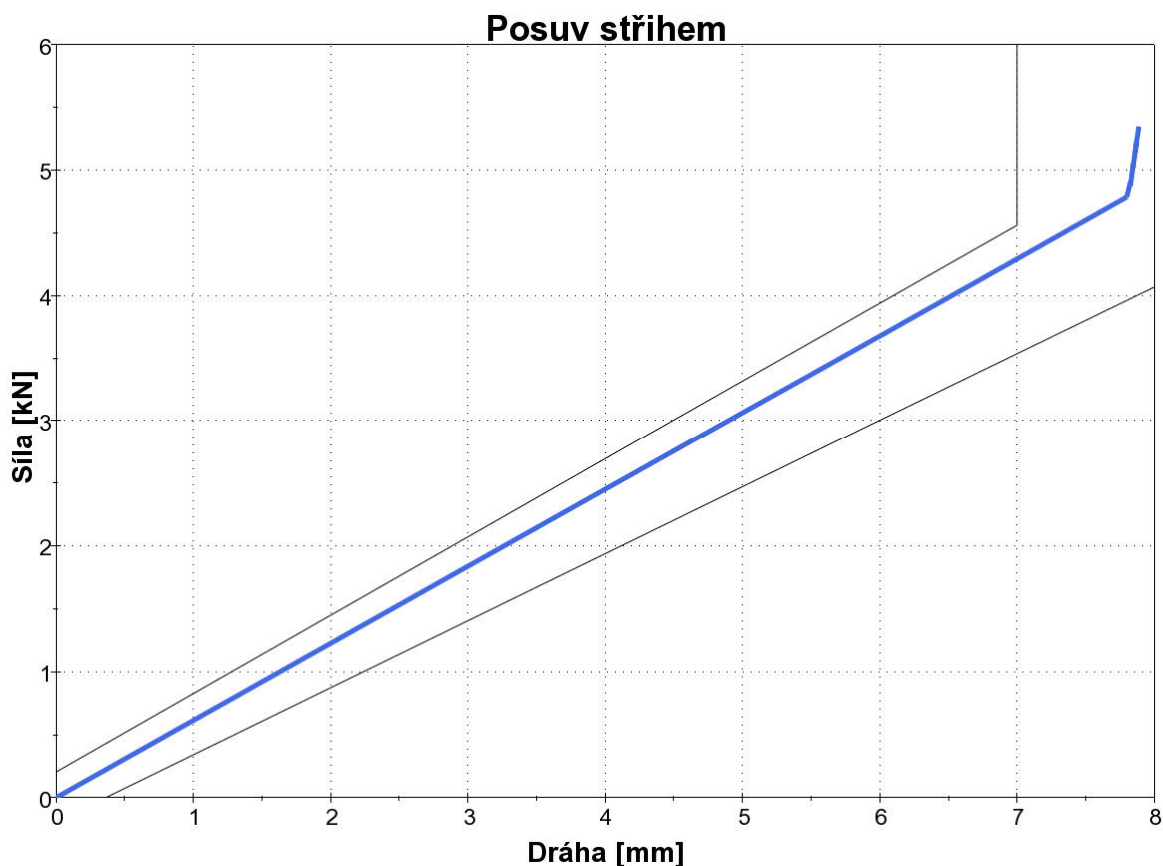
Obr. 97 - Tlumič pro posuv stříhem. [31]



Obr. 98 - Reálný průběh střihové síly.



Obr. 99 - Posuv stříhem v průběhu zkoušky.



Obr. 100 - Posuv střihem kolene a působící síla.

Z průběhu je zřejmé, že naladit pružinu dle požadavků směrnice se podařilo s vysokou přesností.

Modelování kvazistatických dějů je u explicitních výpočtových metod vždy spojeno s problémy. V následující tab. 8 jsou proto stručně shrnuty základní parametry z průběhu obou simulací, zejména pak délka simulací a počet výpočetních operací.

ZKOUŠKA	DÉLKA	ČASOVÝ KROK	POČ. OPERACÍ	MASS SCALE	ALGORITMUS
OHYBEM	2 s	$0,57 \cdot 10^{-6}$ s	3 508 700	0,17kg (2,7%)	Double precision
STŘIHEM	1 s	$0,57 \cdot 10^{-6}$ s	1 754 300	0,17kg (1,5%)	Double precision

Tab. 8 - Průběh simulací statických zkoušek.

Aby se při velkém množství výpočetních kroků potlačil vliv numerických chyb a zaokrouhlování, byl pro výpočet použit algoritmus Pam-Crash Double precision. Tento parametr ovlivňuje počet desetinných míst, na které je brán zřetel při zaokrouhlování. Proti běžně používanému algoritmu Single precision je pak počet desetinných míst dvojnásobný. Pro kontrolu byl proveden výpočet simulací pro dvojnásobné časy, výsledky se nijak nelišily.

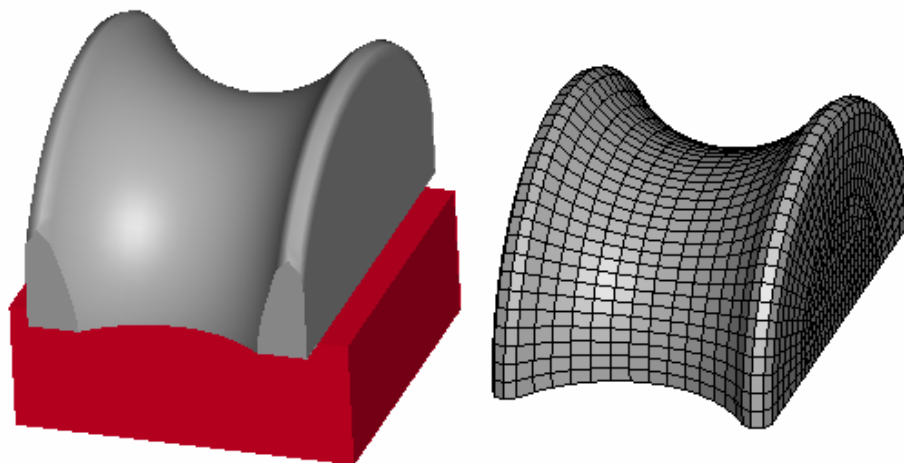
Při statických simulacích, se nijak neprojevují setrvačné účinky struktury. Proto nebylo nutné impaktor přesně navažovat, jak je tomu v případě dynamické certifikace. Neprojeví se také například účinky tlumících členů, jak bylo zmíněno v případě pružiny pro

posuv stříhem. Protože rychlosti deformací jsou malé, neprojevuje se také dynamické zpevnění materiálu. Z toho důvodu byla u obou simulací deaktivována funkce *STRAINRATE*.

3.2.3 Dynamická zkouška

Tato certifikační zkouška se již provádí s impaktorem kompletním, tedy včetně pěnového obalu. Uspořádání je na obr. 20 a obr. 21. Ve vodorovné poloze do impaktoru naráží zkušební těleso. Směrnice definuje jeho rozměry, materiál a hmotnost.

3.2.3.1 Nárazové těleso



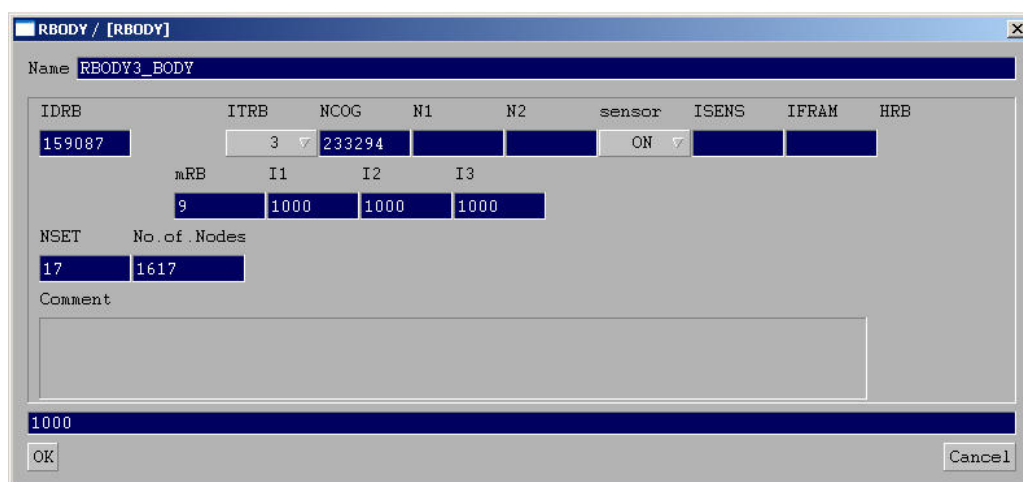
Obr. 101 - Certifikační nárazové těleso.

Provedení a rozměry certifikačního nárazového tělesa jsou na obr. 19. Nejdůležitější částí je oblouk, který má poloměr 66mm, což odpovídá průměru impaktoru 132mm. Na obr. 101 vpravo je znázorněn tento základní tvar, který byl také použit při dynamické certifikaci impaktoru. Směrnice dále umožňuje odchýlení se od tvaru v několika parametrech. Všechny tyto odchylky jsou na obr. 19 označeny číslem poznámky a platí pro ně:

Poznámky:

- Sedlový nadstavec lze vyrobit jako celý kruh a následně rozříznout na dva díly dle obrázku.
- Odstraněním šrafovaných oblastí lze získat alternativní tvar viz obr. 19.
- Povolena odchylka všech rozměrů je $\pm 1\text{mm}$.

Požadovaná hmotnost tělesa, $9 \pm 0,05\text{kg}$ musí být celková, tedy včetně poháněcího příslušenství, se kterým těleso do impaktoru naráží. Zvláštní požadavek I je kladen také na drsnost povrchu. Pro potřebu simulace byl použit pouze základní tvar tělesa, což přineslo nejen snížení počtu elementů sítě, ale také její zjednodušení. Byla vytvořena pouze slupka shellových elementů a vyztužena pomocí RBODY. Tentokrát byl použit typ ITRB 3, jehož definice může obsahovat přímo hmotnost a momenty setrvačnosti daného dílu. Této vlastnosti zde bylo využito a nárazové těleso má definovanou požadovanou hmotnost 9kg. Definice RBODY proběhla pomocí SETu definovaného na celé property nárazového tělesa. Definované parametry jsou na obr. 102. Definována byla hmotnost mRB 9kg. Na povrchu nárazového tělesa byl definován také elementový set, který bude dále sloužit k definici kontaktu mezi ním a impaktorem.



Obr. 102 - Dialogové okno funkce [RBODY].

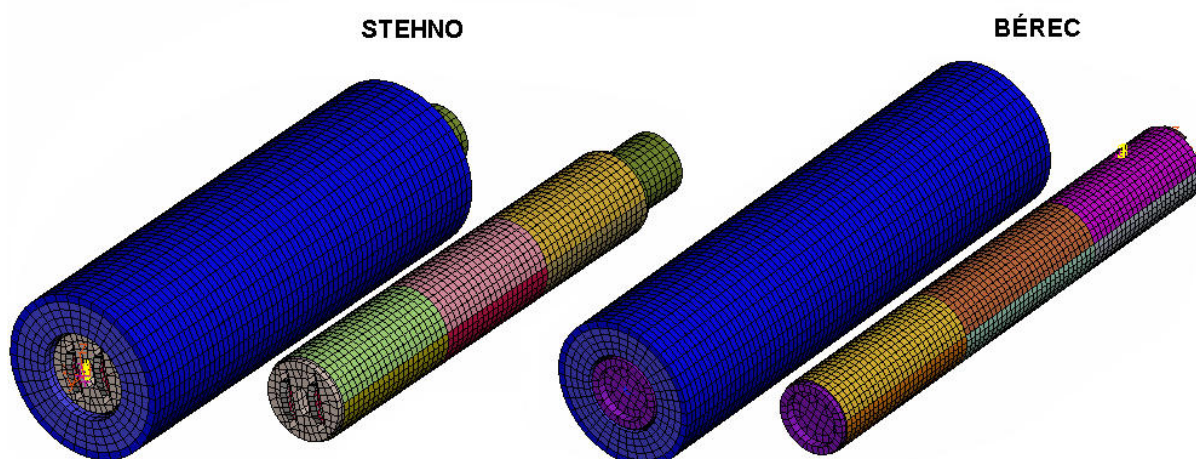
Model nárazového tělesa byl ve formě *.inc souboru načten k sestavě impaktoru. Pomocí funkce transformací pak bylo provedeno vzájemné polohování certifikačního tělesa a impaktoru tak, jak požaduje směrnice viz obr. 21.

3.2.3.2 Definování hmotnostních parametrů impaktoru

V části zabývající se statickými certifikačními zkouškami bylo uvedeno, že pro potřeby dynamické certifikace je nutné, aby měl impaktor požadované hmotnostní parametry. Model impaktoru je tedy nutné před simulací navázat. Program Pam-Crash používá k navažování speciální proceduru *MASSTRIM*, s jejíž pomocí lze proces navažování modelu částečně automatizovat. Ansa bohužel nemá tuto funkci zapracovanou a bylo proto nutné ovládat proceduru přímo prostřednictvím textového souboru modelu. Protože směrnice definuje hmotnostní parametry impaktoru zvlášť pro stehno a bérec, probíhalo také navažování modelu postupně pro obě tyto části. Byly vytvořeny dílčí modely, na kterých probíhalo navažování.

Proces navažování probíhá umístováním hmotných bodů *NSMASS* do skupiny uzlů modelu. Skupiny uzlů jsou přitom rozděleny podle *PID* a každá skupina uzlů může obsahovat pouze body se stejnou hmotností. Výsledkem procesu navažování je soubor, který obsahuje seznam všech navažovaných struktur. Obsahuje elementární hmotnost, která je do uzlů dané části přiřazena a jí odpovídající *PID*. Vždy je třeba mít na modelu odstatečný počet dílů, na které bude algoritmus navažovat. Zejména pak v případech, kdy je rozdíl mezi počátečními a konečnými hmotnostmi parametry velký. Z tohoto důvodu bylo nutné u obou částí impaktoru rozdělit trubky na několik částí. Přesto, že má stěna konstantní tloušťku, je po délce rozdělena pomocí *PID* na 3 úseky, každý úsek dále na dvě poloviny. Navážení tak může probíhat na každou část trubky samostatně, algoritmus má k dispozici větší počet částí a tím vzroste pravděpodobnost úspěšného dokončení navažování modelu. Rozdělení obou trubek impaktoru je znázorněno na obr. 103.

Navážování může probíhat buď pouze na polohu těžiště, nebo také na velikost momentů setrvačnosti. Ty jsou vždy počítány vzhledem k aktuální poloze těžiště. V případě impaktoru se nepodařilo korektně navázat obě charakteristiky najednou, a navažovalo se pouze na polohu těžiště. Celkovou hmotností se pak iteračním způsobem podařilo naladit momenty setrvačnosti obou částí. Chybějící hmotnost pak byla vložena do těžiště, čímž nedošlo k ovlivnění jeho polohy, ani dosažené velikosti momentů setrvačnosti.



Obr. 103 - Poloviny impaktoru připravené pro navažování.

Na obr. 104 je příklad nastavení karty *MASSTRIM* pro navázení stehna impaktoru. Karta je aktivována klíčovým slovem *MSTRM*. Následuje celková hmotnost, které má být po navázení dosaženo. Následující tři hodnoty, udávají velikosti momentů setrvačnosti kolem souřadných os. Na druhém řádku jsou uvedeny polohy těžiště impaktoru vzhledem ke globálnímu souřadnému systému. Parametr *accrcy* udává přesnost, po jejímž dosažení je iterace ukončena. Parametr *alfa* stanovuje horní hranici pro navázení každé property. V případě, kdy se navažuje pouze na polohu těžiště (*rot_trt* = 0), je výchozí hodnota parametru *alfa* = 1,5. Doporučená hodnota je od 1 do 2. Pokud se navažuje i na velikosti momentů setrvačnosti (*rot_trt* = 1) pak má koeficient *alfa* výchozí hodnotu 10.

Pokud je parametr *out* = 1, po ukončení procesu navažování je exportován textový soubor s názvem *nsmasinclu.dat*, který obsahuje informace o velikosti navázení jednotlivých částí a po přejmenování na **.inc* je možné tento soubor importovat do modelu. V případě přepnutí parametru *out* = 0, je výpočet pouze ukončen. Výsledné parametry modelu po navázení lze získat z výstupního souboru výpočtu **.out*. Exportovaný soubor obsahuje soupis navážených entit, rozdělených podle *PID*, jejichž pořadové číslo je posunuto od *PID* konkrétní navažované části modelu o hodnotu *offset*.

```

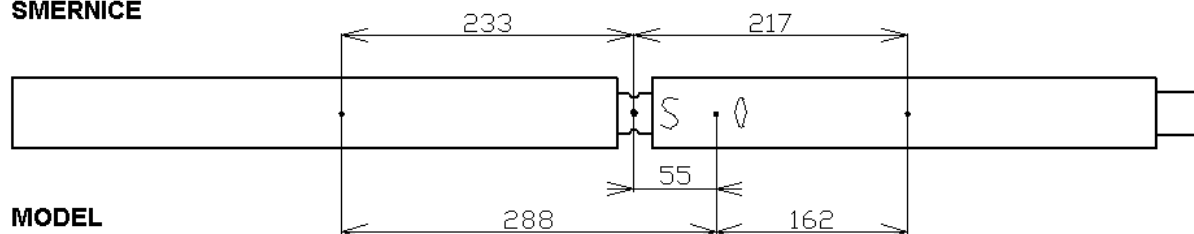
$          object_mass  object_iner_XX  object_iner_YY  object_iner_ZZ
MSTRM /    5.6766      0.1270e+06      0.6900e+04      0.1270e+06
$          obj_COG_X    obj_COG_Y      obj_COG_Z
          0.9929e-02    -0.1620e+03      0.9610e+01
$          accrcy_par   alfa rot_trt    out  offset
          1.0e-06      10.      0        1    1000
NAME      up
          PART 2 3 13 17 18 30 32
          END

```

Obr. 104 - Karta *MASSTRIM*.

Před spuštěním každého výpočtu většinou probíhá kontrolní fáze, při které je prověřen celý model a všechny definované prvky. Tato fáze, tzv. *DATACHECK* se aktivuje v hlavičce výpočtu a po ní může být výpočet buď ukočen, nebo naopak spuštěn. Při *datachecku* probíhá také proces navažování. Výchozí hodnoty pro momenty setrvačnosti a souřadnice těžiště byly tedy získány spuštěním *datachecku* ještě před aktivací karty navažování. To znamená, že proces navažování vyžaduje funkční a odladěný výpočtový model.

Sestava impaktoru je umístěna v prostoru tak, že střed kolene je ve vzdálenosti 55mm od počátku souřadného systému. Poloha impaktoru byla zachována z CAD modelu jeho sestavy. Z toho vyplývá, že navažování polohy těžiště bylo u obou částí impaktoru na jinou vzdálenost, než je uvedeno přímo v požadavcích směrnice. Situace je znázorněna na obr. 105.

SMĚRNICE

Obr. 105 - Počátek souřadného systému, vůči středu kolene.

Poloha těžiště stehna, je tedy pro potřeby navázení a v rámci globálního souřadného systému 162mm. U bérce je vzdálenost těžiště 288mm. Požadované hmotnosti jsou definovány směrnicí a momenty setrvačnosti jsou výpočtem stanoveny v těžišti dané části.

Důležité je si uvědomit, že navázení modelu na přesně definovanou hmotnost nemusí znamenat, že bude správně navážený vstupovat také do výpočtu. Již v kapitole 3.1.4 byla zmíněna vlastnost, kdy Pam-Crash přidává hmotnost na elementy, u nichž není splněn požadavek na dodržení minimálního časového kroku. Toto zajišťuje funkce *MASS SCALING*.

T O T A L M A S S = 0.860004E+01

CENTER OF GRAVITY :

XC : 0.3504E-02
YC : -0.1620E+03
ZC : 0.6343E+01

ROTARY INERTIAS (TENSOR) :

XX : 0.1270E+06
YY : 0.4829E+04
ZZ : 0.1266E+06
XY : -0.6354E+01
YZ : -0.1793E+04
ZX : -0.8158E+00

PRINCIPAL INERTIAS :

I1 : 0.1271E+06
I2 : 0.1266E+06
I3 : 0.4802E+04

PRINCIPAL AXES :

0.1000E+01	-0.1460E-02	0.5203E-04
-0.3055E-04	0.1471E-01	0.9999E+00
-0.1460E-02	-0.9999E+00	0.1471E-01

Po odladění karty MASSTRIM byl výstupní soubor připraven pro import do modelu. Protože navažování proběhlo u impaktoru pouze na část hmotnosti, bylo nutné doplnit zbylou část vždy do těžiště. Hmotnost je u stehna i bérce uchycena pomocí *RBODY* k okolním uzlům. O výsledcích navázení je možné se přesvědčit opět ve výstupním souboru výpočtu po provedení datachecku. V jeho závěru jsou uvedeny hmotnostní parametry, se kterými model vstupuje do výpočtu. Právě zde musí přesně odpovídat požadavkům. Pro případ stehna je část výstupního souboru uvedena na obr. 106.

Obr. 106 - Navázení stehna.

V tab. 9 je uveden přehled výsledků navažování pro obě části impaktoru. Pam-Crash pracuje s jednotkami [kg, mm, ms], proto jsou textové hodnoty momentů setrvačnosti $\cdot 10^6$.

Poznámka:

Ansa umožňuje také zjištění hmotnostních parametrů modelu, nezahrnuje do nich ale hmotnost *MASS SCALE*, která je přivázena elementům kvůli časovému kroku.

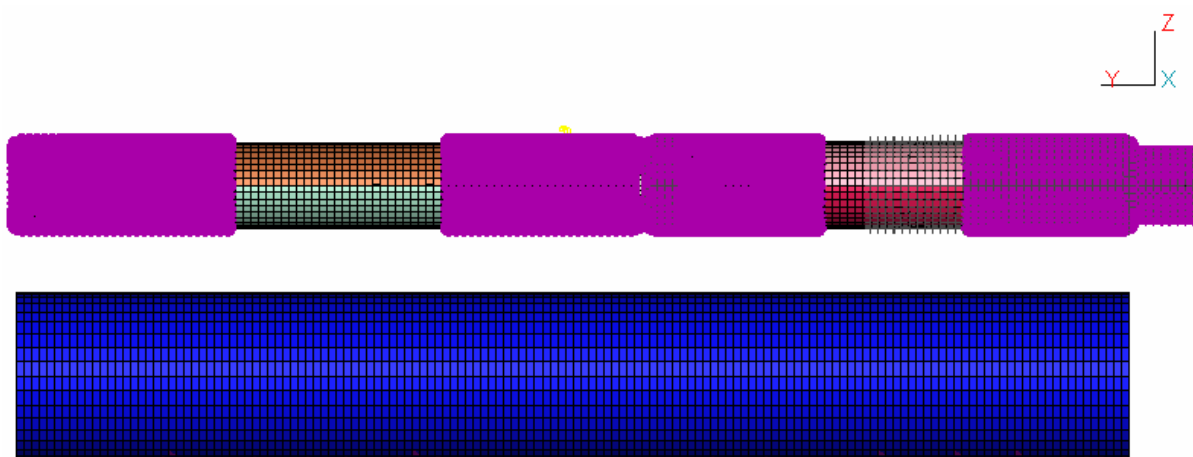
	STEHNO			BÉREC		
	POLOHA TĚŽIŠTĚ	HMOTNOST	MOMENT SETRVAČNOSTI	POLOHA TĚŽIŠTĚ	HMOTNOST	MOMENT SETRVAČNOSTI
JEDNOTKA	[m]	[kg]	[km*m ²]	[m]	[kg]	[kg*m ²]
INITIAL MASS	0.056	2.976	0.044	0,284	3,304	0,078
MASSTRIM	0.162	5.676	0.127	0,288	4,434	0,12
NSMASS	0.164	8.476	0.123	0,29	4,753	0,117
MASS SCALE	0.162	8.6	0.127	0,288	4,799	0,12
2006/368/ES	0.162	8.6	0.127	0,288	4,8	0,12

Tab. 9 - Parametry navažování modelu.

Poznámka:

Všechny hmotnostní parametry byly odečteny z výstupních souborů pomocných výpočtů navažování. Parametry modelu před finálním navážením *MASS SCALE* byly zjištěny z programu Ansa jako finální hmotnosti modelů, protože navážení *MASS SCALE* kvůli časovému kroku Ansa nezobrazuje. V posledním řádku tabulky 9 jsou shrnuty také požadavky příslušné směrnice [21].

Momenty setrvačnosti jsou v tabulce vyčísleny vzhledem k ose x. Tuto hodnotu limituje také směrnice [21]. Stejně tak poloha těžiště je vyčíslena ve směru osy y. Jak je patrné z tabulky, navážení impaktoru proběhlo korektně. Výsledek navažování je na obr. 107.



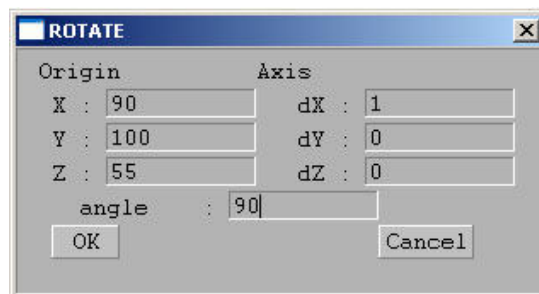
Obr. 107 - Impaktor s hmotnými body po navážení [NSMASS].

3.2.3.3 Sestavení zkoušky

Po navážení impaktoru a připravení certifikačního nárazového tělesa, byly obě části načteny a následovala definice všech zbylých parametrů, potřebných pro spuštění dynamické certifikace.

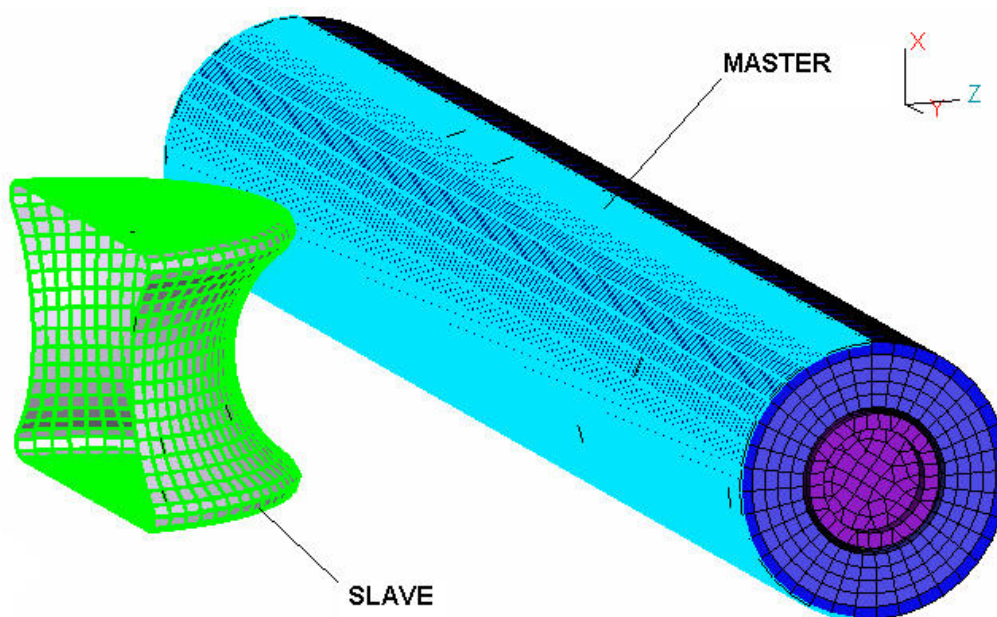
Impaktor je po navážení kompletní a připravený k certifikaci, případně nárazovým zkouškám. Certifikační těleso je naváženo také. Zbývá tedy jejich vzájemné napolohování definice kontaktu, okrajových a kinematických podmínek.

Polohování nárazového tělesa vůči impaktoru, bylo provedeno pomocí funkce transformací. Panel ovládacích prvků transformací je v Anse umístěn ve spodní části, mezi panelem selekcí a možnostmi zobrazení, viz obr. 43. Pomocí funkcí *TRANSLATE* a *ROTATE* bylo nárazové těleso (po označení všech jeho elementů) postupně posouváno a natáčeno ve směru a kolem os globálního souřadného systému tak, aby jeho střed narážel do bérce přesně ve vzdálenosti 50mm od středu kolena, jak ukazuje obr. 21 a jak požaduje směrnice. V případě rotací je možné kromě úhlu otočení a osy rotace, zvolit také počátek, kolem kterého bude těleso rotovat, viz obr. 108. Pokud jsou již v modelu definovány některé entity, jako například okrajové podmínky, je nutné, aby bylo při transformacích aktivováno jejich zobrazení. Pokud tomu tak nebude, dojde k transformaci tělesa, a definované okrajové podmínky zůstanou v uzlu, ve kterém byly definovány původně.



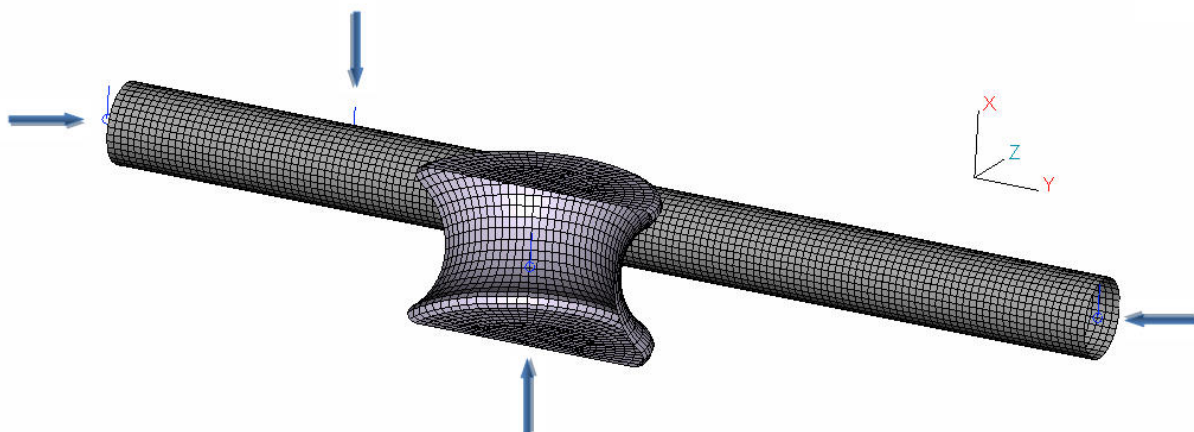
Obr. 108 - Transformace [*TRANSL*].

Dále byl definován vzájemný kontakt mezi impaktorem a certifikačním nárazovým tělesem. Jedná se o kontakt typu 33, tedy symetrický. Definice byla provedena pomocí dvou elementových setů. Set master byl zvolen jako slupka na povrchu pěnovky impaktoru, obepínající polovinu jeho obvodu, ze strany nárazu certifikačního tělesa. Stejný set elementů bude následně použit také pro potřeby simulace nárazové zkoušky, k definici kontaktu mezi impaktorem a krytem nárazníku automobilu. Set slave obsahuje elementy certifikačního nárazového tělesa. Kontaktní tloušťka mezi oběma povrchy byla zvolena stejně jako v případě předešlých kontaktů, h_{cont} 0,5mm. Součinitel smykového tření *frict* byl zvolen 0.3. Sety obou součástí jsou znázorněny na obr. 109.



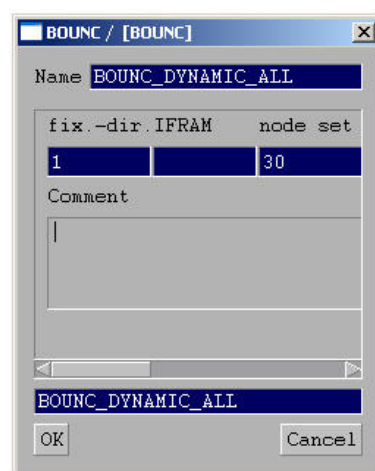
Obr. 109 - SETy pro kontakt nárazového tělesa.

Po definici kontaktu následuje zadání okrajových podmínek. Směrnice stanovuje průběh dynamické certifikace na obr. 21 a 22, kdy je impaktor zavěšen na ocelových lankách dostatečné délky (minimálně 2m). Tento závěs napodobuje při dostatečně malé úhlové výchylce pohyb impaktoru ve vodorovné rovině. Při simulaci byla tedy použita okrajová podmínka *BOUNC* tak, aby byl impaktoru umožněn pouze pohyb v rovině rovnoběžné s vektorem rychlosti, kterou do impaktoru naráží certifikační těleso. Na obr. 110 je znázorněno, jakým způsobem jsou okrajové podmínky definovány. Pro přehlednost byly odstraněny některé části impaktoru, jako například víčka nebo pěnovka.



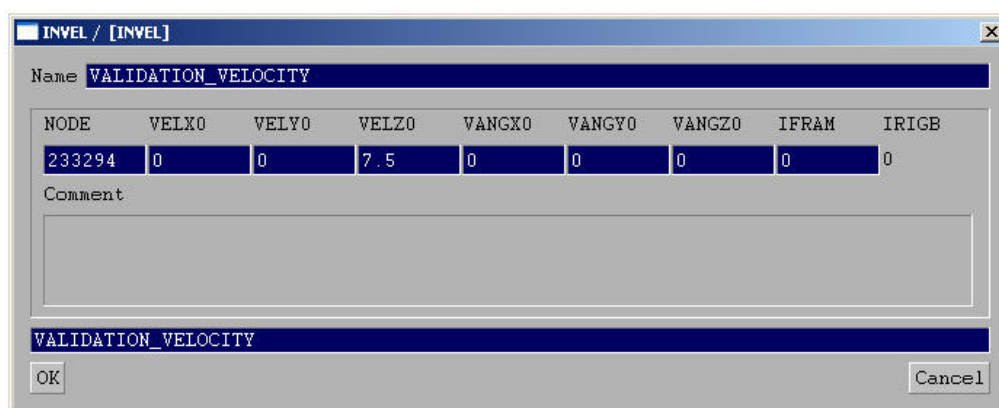
Obr. 110 - Okrajové podmínky [*BOUNC*] při dynamické certifikační zkoušce.

Pro umístění okrajových podmínek byly vybrány středy horní a spodní vazby *RBODY*, kterými jsou připevněna víčka. Případné silové působení ve vazbách je pak díky definici *RBODY* do několika řad elementů rovnoměrněji rozneseno do struktury. Aby bylo zabráněno rotaci impaktoru kolem vlastní osy, byl na přední straně stehna vybrán do *SETu* ještě jeden bod (šipka shora). Také certifikační nárazové těleso bylo upevněno a to v řídicím uzlu vazby *RBODY3*. Ve všech těchto bodech je zabráněno posuvu ve směru osy *x*, což je znázorněno na obr. 111. Orientace je vzhledem ke globálnímu souřadnému systému, který je na obr. 110 znázorněn také.



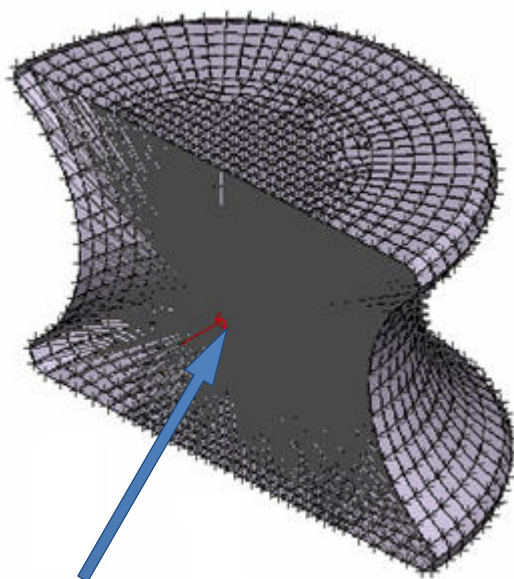
Obr. 111 - Funkce [*BOUNC*].

Dalším krokem byla definice rychlosti pro nárazové těleso. Směrnice požaduje, aby bylo vystřeleno vodorovně, s počáteční rychlostí 7,5m/s. Dovolená tolerance je $\pm 0,1$ m/s. Ansa umožňuje pro Pam-Crash rychlost definovat dvěma způsoby. Prvním z nich, který byl také použit v tomto případě, je pomocí funkce *INVEL*. Ta slouží právě k definici počáteční rychlosti a simuluje tak vystřelení tělesa. Rychlost definované velikosti je tělesu udělena pouze na počátku výpočtu a dále je závislá na účincích okolního prostředí nebo vazbách. Definuje se jednou číselnou hodnotou pro uzel, nebo *SET*, přičemž definovat lze složky rychlosti translační nebo rotační a samozřejmě také lokální souřadný systém. Dialogové okno pro definici počáteční rychlosti je na obr. 112. Certifikačnímu nárazovému tělesu byla tedy definována počáteční rychlost 7,5m/s ve směru osy *z*, s působišťem ve středu *RBODY3* (uzel 233294). Výsledek je na obr. 113.



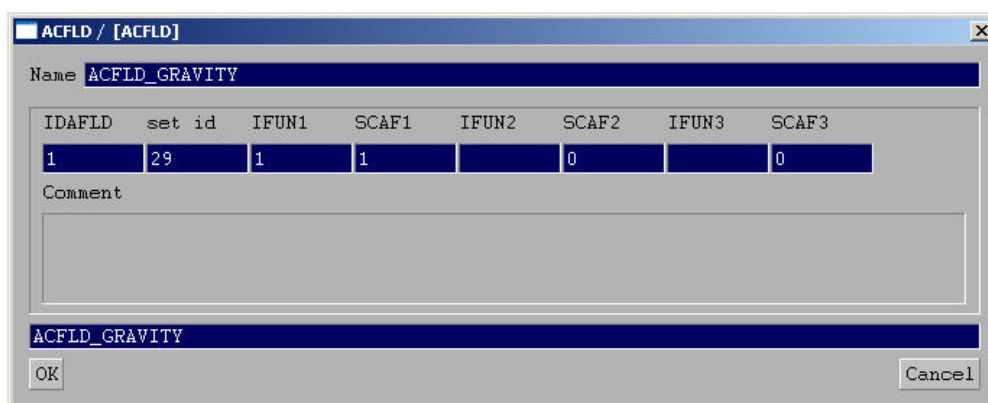
Obr. 112 – Funkce [INVEL].

Další možností pro udělení rychlosti tělesu je definice pomocí volby *T3DBC*. Zde je možné aplikovat složky translačních a rotačních posuvů, rychlostí a zrychlení. Číselné hodnoty jsou definovány vždy číslem křivky, která reprezentuje průběh dané veličiny v čase. Samozřejmostí je možnost definice lokálního souřadného systému, nebo měřítka pro danou veličinu. Takto definovaná rychlost může mít z definice pomocí křivky konstantní velikost po celou dobu výpočtu.

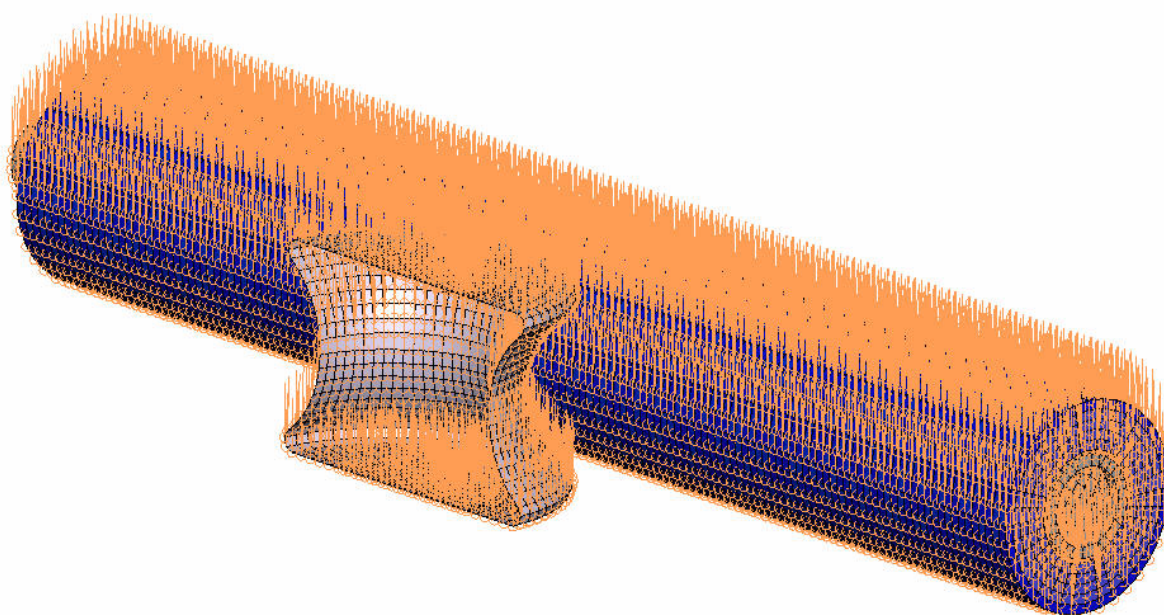


Obr. 113 - Počáteční rychlost nárazového tělesa.

Dalším krokem je definice gravitačního zrychlení. V Anse probíhá obdobně jako u kinematických nebo silových účinků. Aplikuje se tedy ve zvoleném uzlu nebo *SETu* a velikost je v čase definován prostřednictvím čísla odpovídající křivky. K definici je určena funkce *ACFLD*. Dialogové okno je obdobné jako v případě počáteční rychlosti, viz obr. 114. Gravitační zrychlení je zde specifikováno ve směru osy x, křivkou číslo 1. Vzhledem k tomu, že Pam-Crash pracuje standardně s jednotkami kg, mm, ms, je velikost definovaného gravitačního zrychlení $9,81 \cdot 10^{-3} \text{ mm/ms}^2$. Tato velikost je křivkou stanovena po dobu 1s. Doba, po kterou probíhá simulace dynamické certifikační zkoušky je 0,1s. Soustava certifikačního nárazového tělesa a impaktoru po definici gravitačního zrychlení je na obr. 115.



Obr. 114 - Funkce [ACFLD].

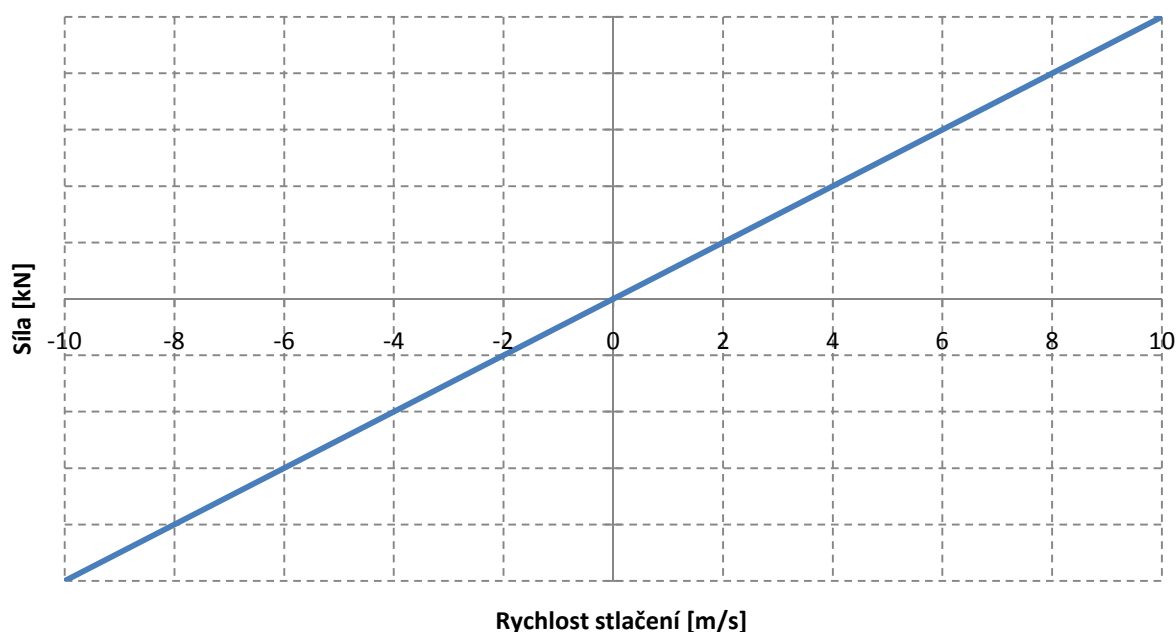


Obr. 115 - Gravitační zrychlení při dynamické certifikační zkoušce.

Po definici všech výše zmíněných podmínek mohla být simulace certifikační zkoušky spuštěna. I přesto, že některé části impaktoru byly dimenzovány a následně optimalizovány pomocí statických certifikačních zkoušek, není to ještě záruka, že impaktor splní všechny stanovené požadavky. Již při popisu statické certifikační zkoušky stříhem zde bylo uvedeno, že v koleni impaktoru je vložen tlumicí prvek, jehož účinky se ale projeví až při dynamickém zatěžování. Proto je například tlumení jedním z parametrů, který bylo třeba optimalizovat s ohledem na chování impaktoru při dynamické certifikaci. Z umístění a funkce tlumiče je zřejmé, že velikostí jeho tlumení dojde k ovlivnění zejména posuvu stříhem v koleni a tak tomu také bylo. Tlumič je viskózní, s lineární charakteristikou viz obr. 116.

Pro prvek *SPRING* (PID27) je definice tlumících vlastností součástí parametrů materiálového modelu. Pro odpovídající směr stlačení nebo roztahení jsou zadány čísla křivek, které dané vlastnosti tlumiče reprezentují v závislosti na rychlosti stlačení nebo roztahení. Na obr. 116 je tedy znázorněn průběh tlumící síly. Podobně jako v případě tuhosti je průběh definován pro kladnou i zápornou hodnotu rychlosti, tedy stlačení nebo roztahení.

Tlumení pro posuv stříhem



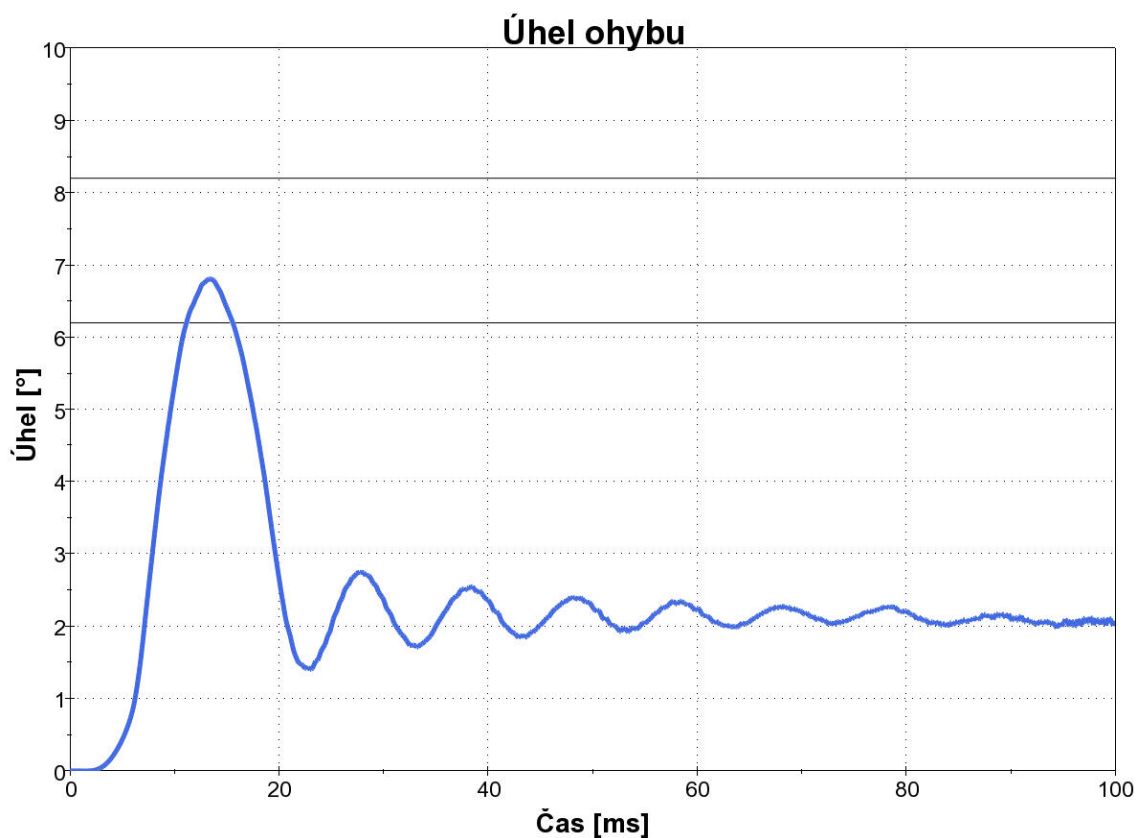
Obr. 116 – Tlumení pro posuv stříhem [FUNCT17].

Tlumení má, jak zde bylo uvedeno, zásadní vliv na posuv stříhem v kolenu. Nepřímo ale také ovlivňuje zrychlení, které je měřeno na bérce. Certifikační nárazové těleso je při zkoušce směřováno na bérce impaktoru, těsně pod koleno. Pokud je tlumící síla vyšší, pak se dynamický účinek nárazu více přenáší kromě bérce také na stehno a impaktor je urychlován jako celek. Při konstantní kinetické energii, kterou má certifikační nárazové těleso, pak musí dojít ke snížení zrychlení na bérce. Tento předpoklad se při opakovaně prováděných simulacích s různými parametry impaktoru potvrdil.

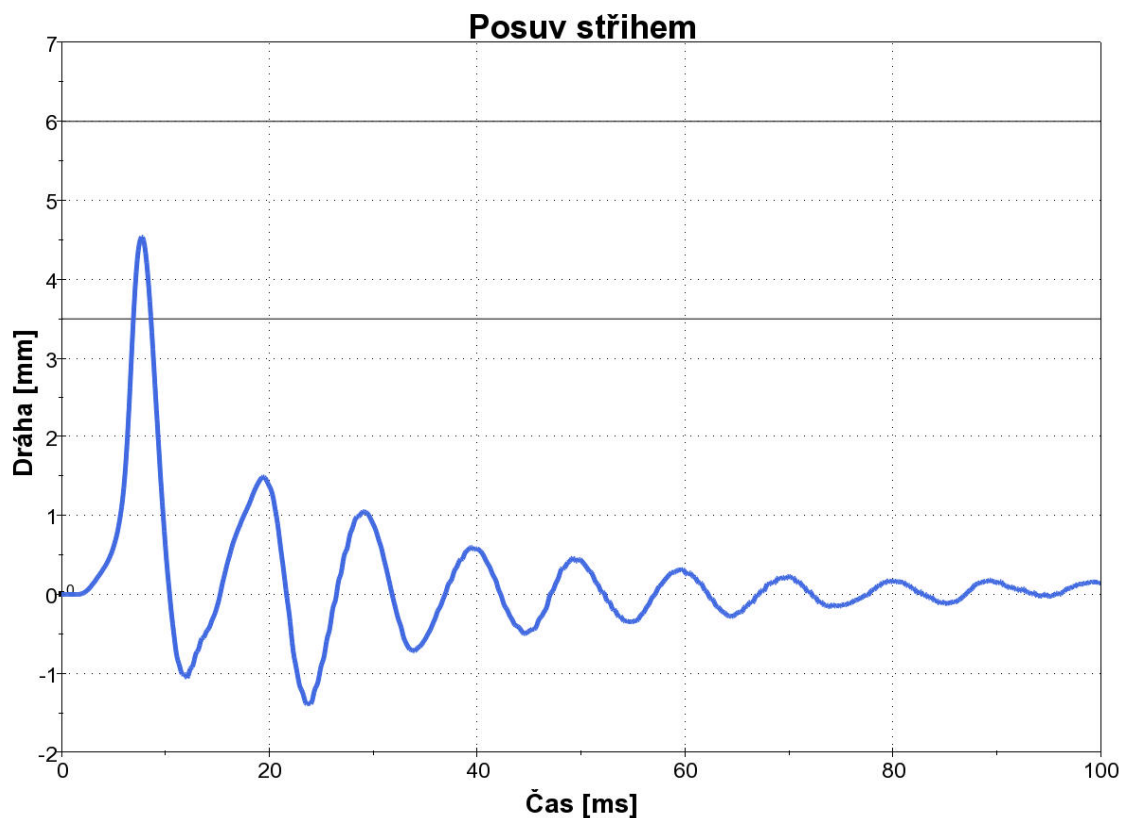
Ve snaze sladit vlastnosti a chování impaktoru se ukázalo, že parametrem, který poměrně významně ovlivňuje dynamický úhel ohybu impaktoru, je tloušťka listové pružiny. Ta je umístěna ve stehnu impaktoru. Opět bylo provedeno několik simulací s různými tloušťkami a tento vliv se potvrdil. Konečná tloušťka byla stanovena na 2mm, viz tab. 5, PID24.

Směrnice při dynamické certifikaci impaktoru vyžaduje splnění celkem tří parametrů, viz obr. 22. Při nárazu dosahují všechny tyto veličiny krátkodobě svého maxima a poté se mají tendenci ustálit na konstantní hodnotě. Zpravidla oscilují a vlivem tlumení se jejich amplituda postupně snižuje. Směrnice definuje pro každou veličinu dovolený rozsah, ve kterém se může nacházet první dosažená špičková hodnota. Všechny tři parametry, tedy posuv stříhem, dynamický úhel ohybu a zrychlení jsou uvedeny na následujících obrázcích.

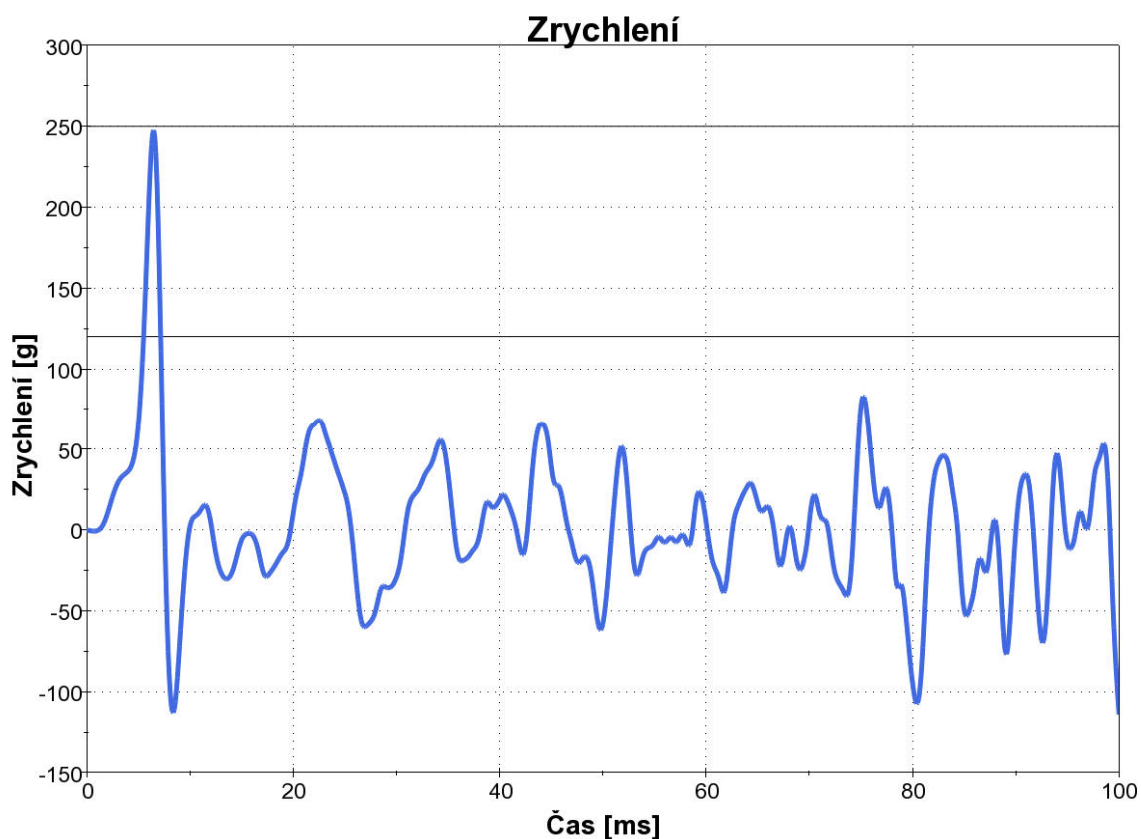
Grafy byly vytvořeny stejně jako u stat. certifikačních zkoušek a nárazové zkoušky v softwaru Meta. Posuv stříhem a úhel ohybu jsou získávány z měřících entit *THLOC* ve středu kolene, kdy jsou vzájemně odečítány hodnoty posuvu ve směru osy z (posuv stříhem), nebo rotaci kolem osy x (úhel ohybu impaktoru). V případě zrychlení je hodnota snímána stejným způsobem, používá se ale filtrace CFC 180, která je také součástí předpisu pro certifikační zkoušky. Stejná filtrace se pak provádí také při nárazových zkouškách.



Obr. 117 - Úhel ohybu impaktoru při dynamické certifikační zkoušce.



Obr. 118 - Posuv stříhem v koleni při dynamické certifikaci.



Obr. 119 – Zrychlení na bérce při dynamické certifikační zkoušce.

3.2.4 Výsledné parametry impaktoru

Úkolem všech certifikačních zkoušek je sjednocení vlastností impaktoru s požadovaným standardem bez rozdílu toho, zda se jedná o impaktor skutečný nebo jeho model sloužící k výpočtům pomocí MKP. Impaktor prošel všemi předepsanými certifikačními zkouškami a splnil požadované hodnoty sledovaných parametrů. Jejich stručný přehled a dosažené hodnoty jsou uvedeny v tab. 10.

ZKOUŠKA		PARAMETR	HODNOTA		VYHOVUJE
STATICKÁ	OHYBEM	ÚHEL	POŽADOVÁNO	93 – 107 J / 15°	ANO
			DOSAŽENO	97,5 J / 15°	
	STŘIHEM	POSUV	POŽADOVÁNO	3 – 4 kN / 6 mm	ANO
			DOSAŽENO	3,7 kN / 6 mm	
DYNAMICKÁ		ÚHEL	POŽADOVÁNO	6,2° - 8,2°	ANO
			DOSAŽENO	6,8°	
		POSUV	POŽADOVÁNO	3,5 – 6 mm	ANO
			DOSAŽENO	4,5 mm	
		ZRYCHLENÍ	POŽADOVÁNO	120 – 250 g	ANO
			DOSAŽENO	247,5 g	

Tab. 10 - Parametry impaktoru.

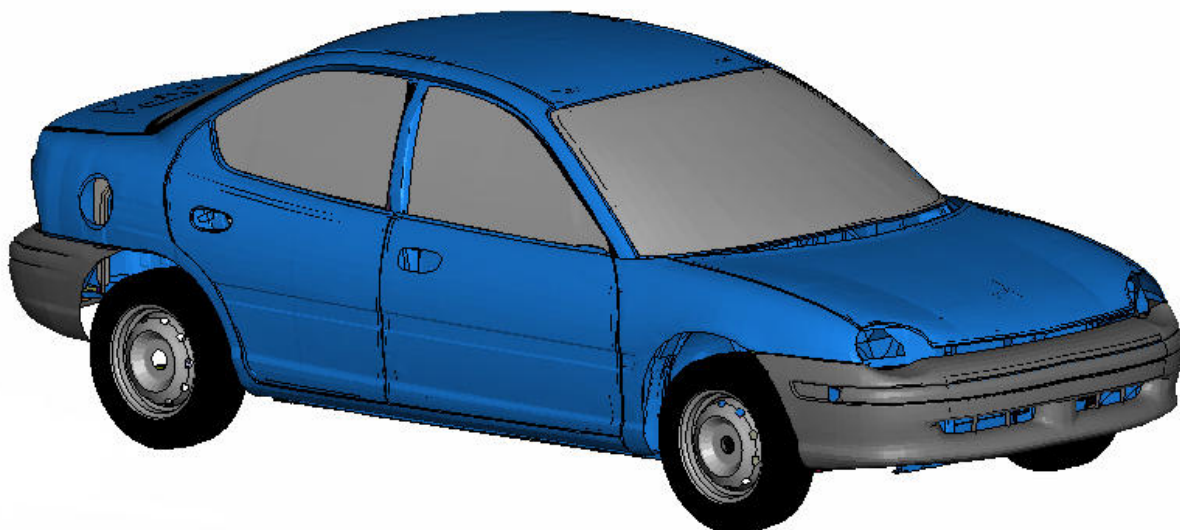
Na okraji dovoleného rozmezí se nachází pouze hodnota zrychlení. Tu by bylo možné ovlivnit zvýšením tlumící síly v koleni, mohlo by tak ale dojít k ovlivnění posuvu stříhem.

4 Přední část automobilu

Pro potřebu simulace nárazu impaktoru, je nutné připravit přední část automobilu. K tomuto účelu byl požit model vozidla Chrysler Neon.

4.1 Chrysler Neon

Jedná se o čtyřdveřový sedan s pohonem předních kol. Dodáván je s jediným zážehovým motorem objemu 2,0l. První kusy sjely z výrobní linky již v roce 1995 a právě tento nejstarší model je k dispozici pro provedení nárazové zkoušky. V roce 2000 následoval facelift. Konstrukteři se snažili vyrobit nejtišší vůz ve své třídě a použili netradiční technologii, kdy je před lakováním na některé díly karoserie instalována speciální pěna, která se při vypalování roztahuje a vyplní prostor kolem sebe. Jejím použitím došlo nejen ke snížení hluku v kabině, ale také k nárůstu tuhosti karoserie. Od roku 2000 se automobil prodává v nezměněné podobě, cena se na českém trhu pohybuje kolem 450 000,- Kč.



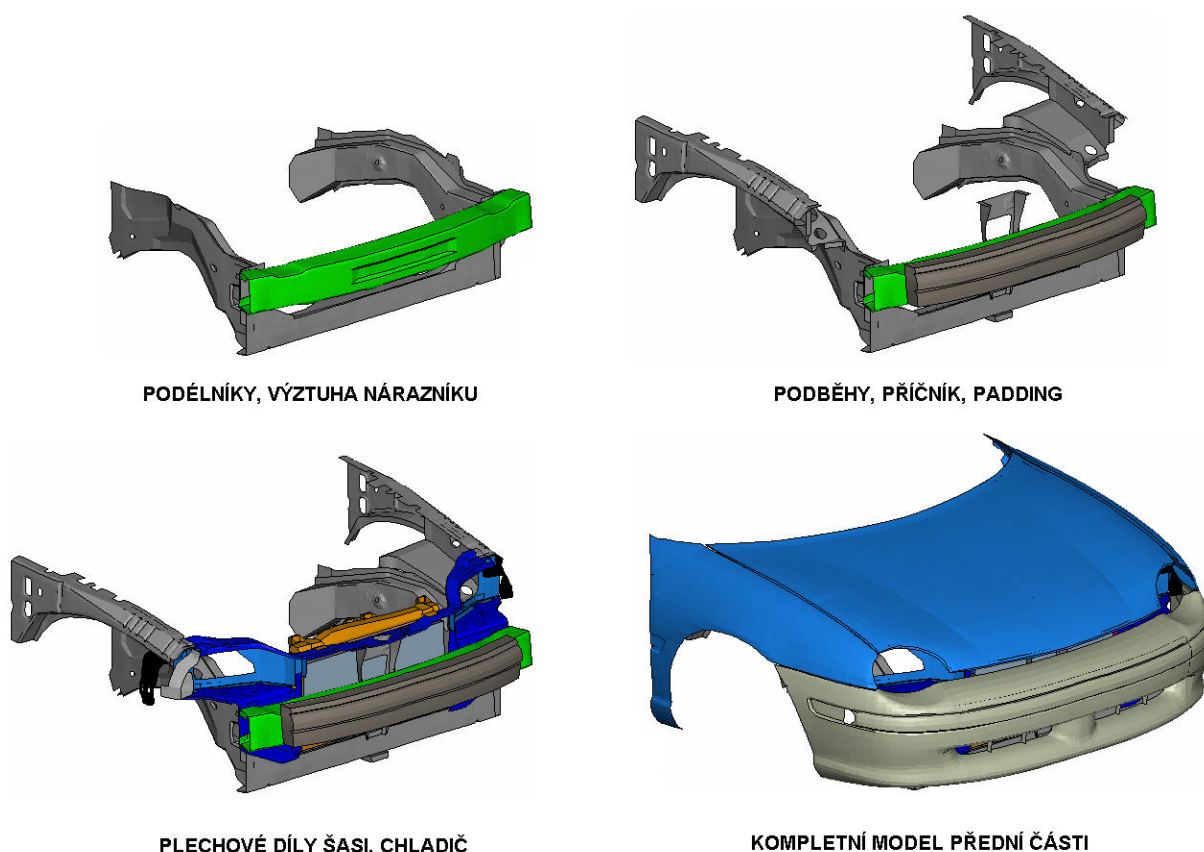
Obr. 120- Chrysler Neon.

Celý model je tvořen 277 000 elementy. Pro potřebu simulace nárazové zkoušky, bude stačit vypreparovat z modelu pouze jeho přední část. Důraz musí být kladen nato, aby absence některého z odstraněných dílů neovlivnila chování přední části automobilu. Například nesmí být odstraněny díly, které slouží k uchycení krytu nárazníku, jeho výztuhy nebo paddingové pěny. Preparace modelu má přitom jediný účel a to snížení počtu elementů a tím také zkrácení výpočtového času simulace.

4.2 Preparace a příprava pro simulaci

4.2.1 Výběr použitých komponentů

Součásti zahrnuté do simulace nárazu impaktoru byly vybírány postupně od podélníků až ke krytu nárazníku. Postup výběru je znázorněn na obr. 121. Samozřejmou součástí jsou podélníky, které tvoří základní nosný prvek. Pro připevnění blatníků je třeba zachovat také podběhy. Zachován byl chladič včetně dílů jeho uchycení, paddingová pěna a všechny pohledové díly karoserie s krytem nárazníku.



Obr. 121 - Postup preparace přední části automobilu.

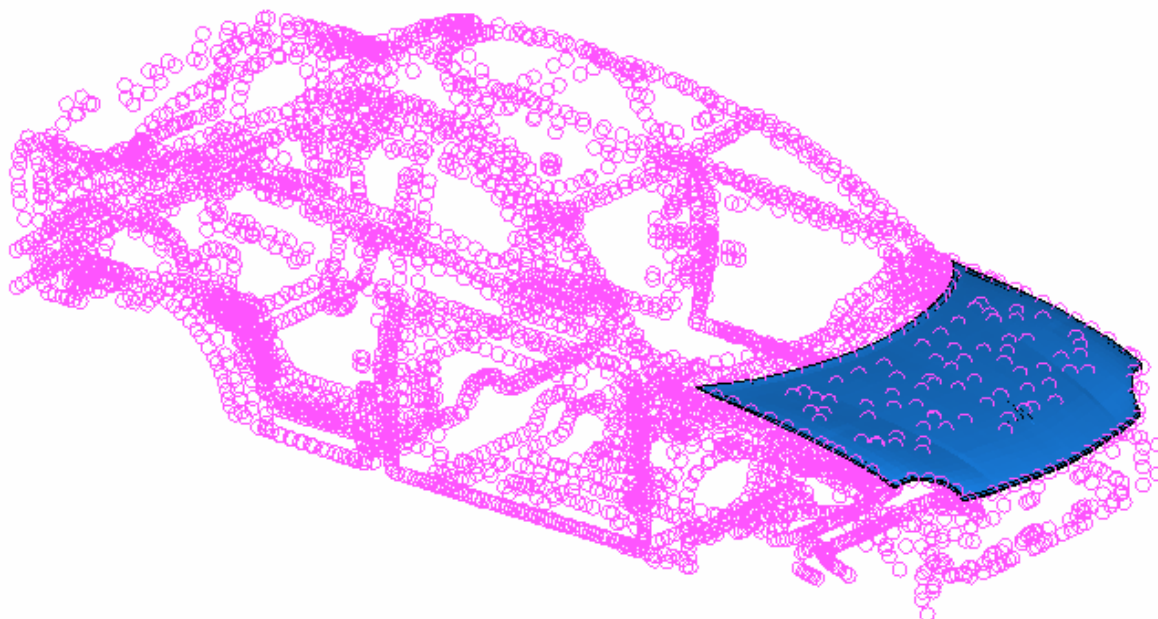
Součástí modelu bohužel nejsou světlomety, směrová světla ani okrasná lišta krytu nárazníku. Přesto, že se jedná o vnější pohledové díly, lze jejich absenci tolerovat a to zejména s ohledem na skutečnost, že model slouží pouze k simulaci nárazové zkoušky, nikoli k získání přesných referenčních hodnot parametrů ochrany chodců. Preparovaná část karoserie je tvořena 44 457 elementy, což je přibližně 16% z původního počtu.

4.2.2 Svaření plechových dílů

Tam, kde jsou provedeny na reálném vozidle, modelují se svary také v FE modelu. V případě použitého vozidla byl modelován pouze jeden typ svaru, postup jeho realizace zde bude popsán. U modelů vozidel soudobé konstrukce se svary dělí do několika skupin v závislosti na použité technologii a liší se pak také způsob, jakým jsou realizovány na FE modelu.

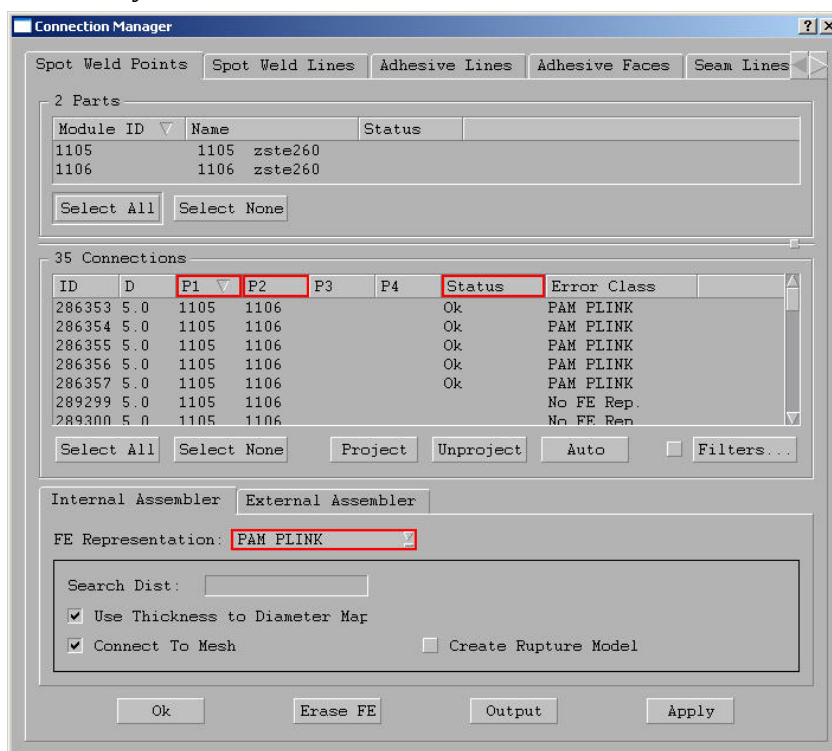
Informace o poloze svaru je většinou přenášena z 3D CAD modelu ve formě textového souboru, který obsahuje minimálně informaci o poloze svaru. Dále může obsahovat informaci o *PID* nebo názvech dílů, které spojuje, materiálu svaru, průměru bodového svaru aj. Potom lze svařování modelu provádět automatizovaně, pomocí k tomu určených nástrojů.

U použitého modelu je k dispozici textový soubor *.vip, který obsahuje souřadnice polohy bodových svarů. Soubor lze načíst do Ansy *FILE* → *READ SPOTS* → *VIP*. Po načtení tohoto souboru se v modelu objeví všechny bodové svary, reprezentované entitou *WELD SPOT*. Obr. 122. Načtené bodové svary jsou geometrické entity.



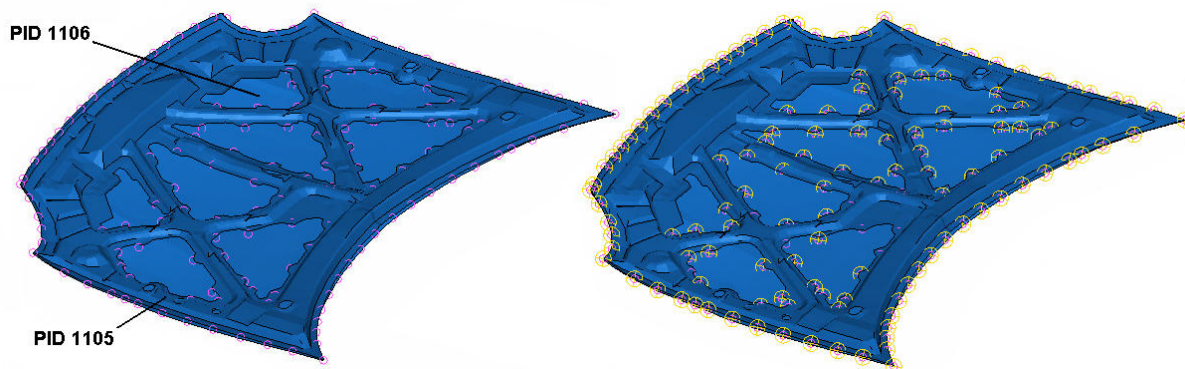
Obr. 122 - Bodové svary načtené ze souboru [VIP].

Nejdříve je tedy nutné z množství bodů vybrat pouze ty, které budou dále použity k realizaci bodových svarů. Postup svařování zde bude popsán pro případ přední kapoty, která je také na obr. 122. Skládá se z vnějšího pohledového plechu *PID* 1106 a výztuhy kapoty *PID* 1105. Samotná realizace svaru se pak provádí pomocí volby *REALIZE* v panelu *WELD SPOTS*, umístěného v *DECKu* mesh. Otevře se dialogové okno Connection manageru, viz obr. 123. U vybraných bodů se specifikuje *PID* spojovaných součástí a nutné je také specifikovat typ spojovací entity, v našem případě prvek *PAM PLINK*. Pokud proběhne svaření dílů korektně, je status bodových svarů označen OK.



Obr. 123 - Realizace bodových svarů [REALIZE].

Bodové svary, mají vlastní *PID* a materiálový model *PAM LINK 302*. Charakteristiky v tomto případě odpovídají ocelovému materiálu. *PID* je specifické pro svary podle jejich průměru a podle počtu dílů, které spojují. Ve všech bodech nemusí svaření proběhnout korektně, situace je znázorněna na obr. 123. V takovém případě je vhodné nejdříve zkontrolovat polohu svarového bodu, zpravidla je třeba jej posunout blíže k jednomu ze svařovaných dílů.

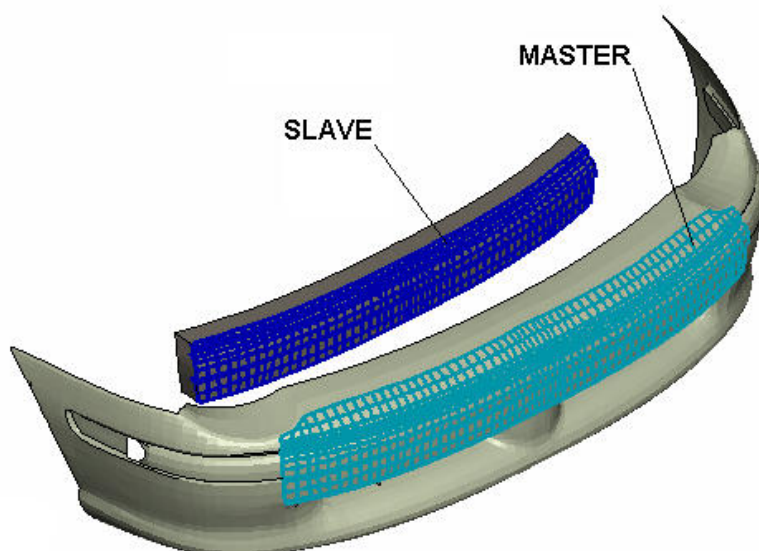


Obr. 124 - Kapota před a po svaření.

Po úspěšném svaření všech komponentů přední části, byla provedena kontrola spojení. Tu lze provést s pomocí funkce *CHECK* → *CONNECTIVITY*. Díly, které v modelu nejsou spojeny pomocí svarů, je třeba upevnit jiným způsobem. Například šroubové spoje byly nahrazeny pomocí *RBODY*. V místě, kde je otvor pro šroub, je umístěn element se specifickým *PID*. Uzly protilehlých elementů na spojovaných dílech jsou pak použity pro vazbu *RBODY*.

Pokud je model kompletně svařen a jsou definovány všechny spoje, následuje definice kontaktů. Zvláštní pozornost je pak třeba věnovat právě přední části v oblasti nárazníku, kam dopadá impaktor nohy. Kontakty jsou definovány například mezi krytem nárazníku a paddingovou pěnou. Pěna je k výztuže nárazníku připevněna vazbou *TIED*. Všechny plechové díly jsou pak ve společném *SETu* pro selfcontact. Tento typ kontaktu byl použit i v konstrukci impaktoru. Elementům, které jsou jeho součástí, je zabráněno skrz sebe vzájemně prostoupit. U složitějších sestav je použití selfcontactu jednodušší a rychlejší než definice jednotlivých kontaktů ručně. Nevýhodou je vyšší náročnost na výpočet. Naproti tomu například v oblasti nárazníku můžeme kontaktní entity definovat přesně.

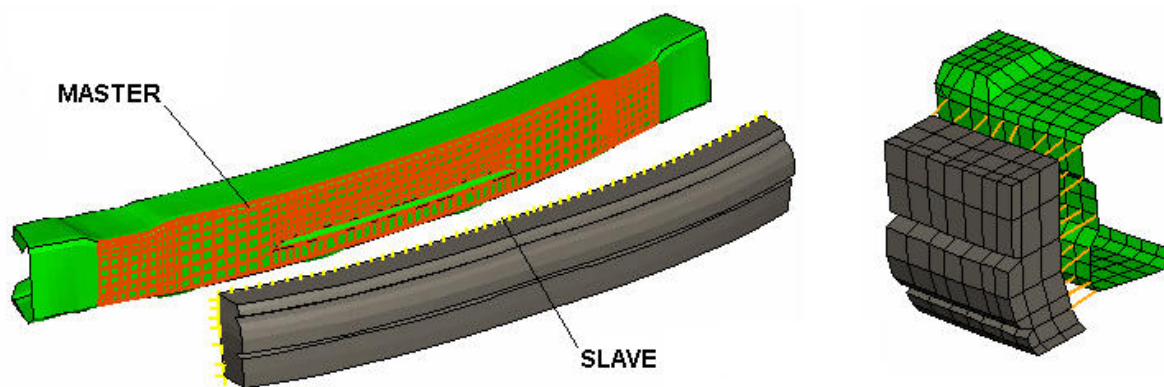
Byl použit typ kontaktu 33, vybrané *SETy* jsou na obr. 125. Kontaktní tloušťka h_{cont} 0,5mm, součinitel smykového tření $frict$ 0.3.



Obr. 125 - Kontakt 33.

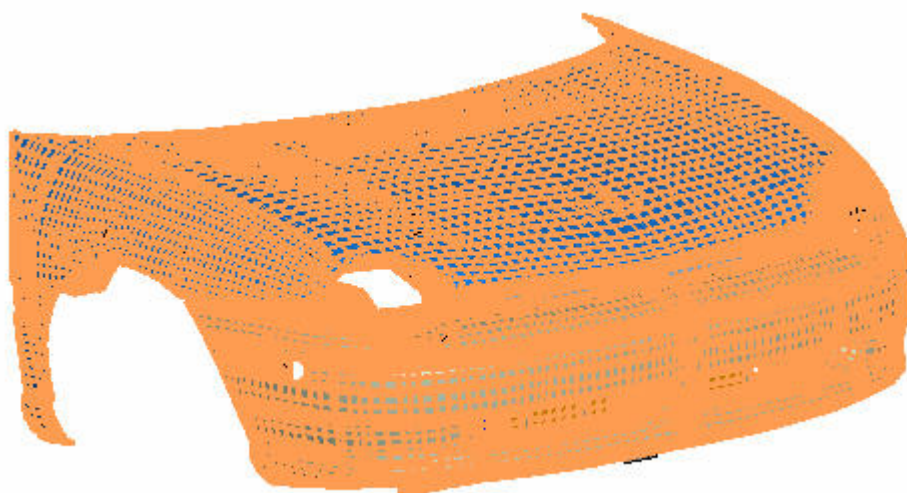
V případě uchycení paddingové pěny k výztuze nárazníku, byla použita vazba typu *TIED*. Ta představuje jakýsi kompromis mezi kontaktem a svarovým spojem. Podobně jako u kontaktu je definice založena na výběru dvou setů, master a slave. Set master je tvořen elementy a slave uzly. Pokud *TIED* funguje správně, vytvoří se mezi uzly obou setů soustava prvků, tzv. *LINK*ů, jejichž materiál odpovídá definici v kartě odpovídajícího materiálového modelu. Prvky se mezi uzly obou setů vytváří automaticky, v property *TIEDu* je definována vzdálenost, na kterou jsou vyhledávány okolní uzly pro vytvoření vzájemné vazby, parametr r_{dist} . Pokud není definována reakční vzdálenost dostatečně velká, některé uzly mohou zůstat nesvázané. Materiálový model se používá podobný jako u svarů, *PAM LINK 301*. Obecně může mít vlastnosti jakéhokoli materiálu, zde byly definovány vlastnosti oceli, aby se vytvořilo pevné spojení obou součástí.

V uvedeném případě se vzdálenost střednice výztuhy nárazníku od povrchu pěny pohybuje v rozmezí od 7 do 25mm. Vzdálenost r_{dist} byla stanovena na 25mm.



Obr. 126 – Vazba typu [TIED].

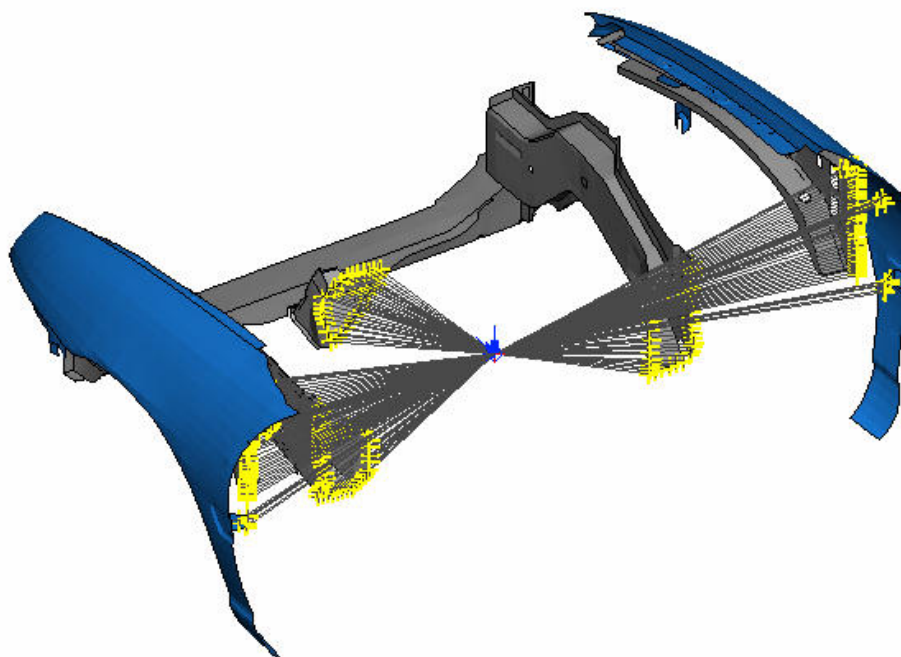
Na závěr byly všechny díly vybrány do *SETu* pro selfcontact, viz obr. 127. Ten zabrání penetracím dílů, ke kterým by mohlo docházet například v důsledku dynamického zatížení při nárazu impaktoru. Počáteční penetrace modelu byly zkontrolovány funkcí *CHECK* → *PENETRATION* → *PROPERTY THICKNESS*. Penetrace střednicových ploch jsou tak kontrolovány s ohledem na tloušťku definovanou v jim odpovídající property.



Obr. 127 - SET pro kontakt 36 [Selfcontact].

4.2.4 Upevnění modelu

Při nárazu impaktoru musí být model přední části automobilu upevněn v prostoru. K tomuto účelu byla použita vazba *RBODY*. V řídicím uzlu je vložena okrajová podmínka *BOUNC*. Vazba byla definována za pomoci setu uzlů. Jejich výběr musí přitom reflektovat na reálnou stavbu modelu, uchycení přední části by tedy mělo být pouze v odpovídajících místech. Do setu byly vybrány okrajové uzly obou podélníků a podběhů. V těchto místech se konstrukce napojuje na karoserii vozidla a vazba je zde zcela opodstatněná. Aby nedocházelo ke kmitání blatníků, byly vybrány také uzly v oblasti držáků pro jejich přišroubování. K motoru je z přední strany přišroubována také výztuha, o kterou se opírá příčnick. Protože motor není součástí modelu, a výztuha má důležitý vliv na tuhost přední části automobilu, byly do setu vybrány také její uzly. Selektce je znázorněna na obr. 128.



Obr. 128 - Uchycení přední části automobilu [*RBODY*].

V řídicím uzlu byla definována okrajová podmínka, která model zafixuje ve směru všech tří souřadných os. Okrajová podmínka je reprezentována modrým symbolem, viz obr. 128. Dialogové okno definice okrajové podmínky je například na obr. 82, nebo obr. 111. Číslo řídicího uzlu je 342156. Fixovány jsou všechny posuvy a rotace, tedy *fix. –dir. 123456*.

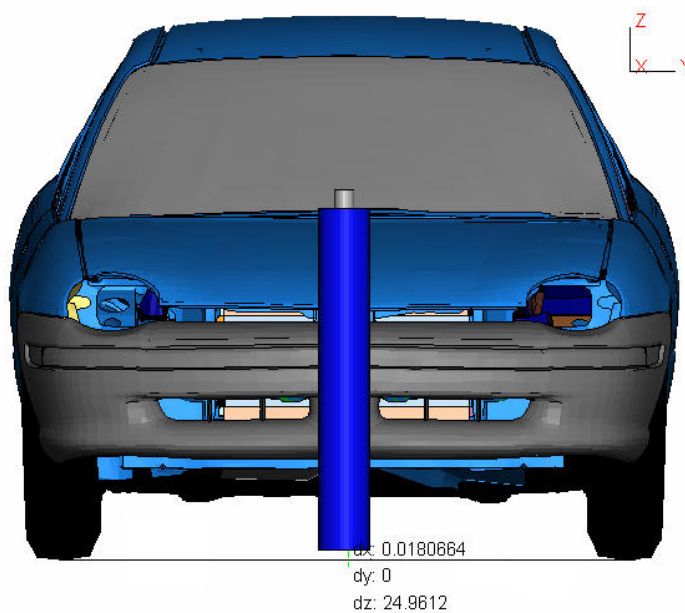
Takto předpřipravený model přední části automobilu byl exportován ve formátu Pam-Crash. Oba soubory (přední části automobilu a impaktoru) se následně načtou, čímž vznikne jejich sestava a po doplnění všech potřebných prvků a parametrů lze simulovat nárazovou zkoušku. Kroky, které je třeba při definici provést, jsou popsány v následující kapitole.

5 Simulace nárazové zkoušky

5.1 Sestava a polohování dílčích modelů

Z modelu impaktoru a přední části automobilu byla nejdříve vytvořena jejich sestava. Import proběhl v pozicích, ve kterých byly oba modely exportovány, tedy v jejich původní poloze vůči globálnímu souřadnému systému. Prvním krokem bylo tedy umístění impaktoru do správné polohy. Pro potřeby polohování je vhodné vytvořit si z celého impaktoru pomocný set. Postupným posouváním a natáčením ve směru a kolem souřadných os byl pak impaktor umístěn do požadované výchozí polohy před zkouškou. Dialogové okno funkce transformací je znázorněno na obr. 108.

Směrnice přesně definuje pouze výškovou souřadnici. Spodní hrana impaktoru má být ve výšce 25mm na úrovni vozovky. Dovolená odchylka je $\pm 5\text{mm}$. Pro základní simulaci nárazové zkoušky byl impaktor v poloze kterou ukazuje obr. 129.



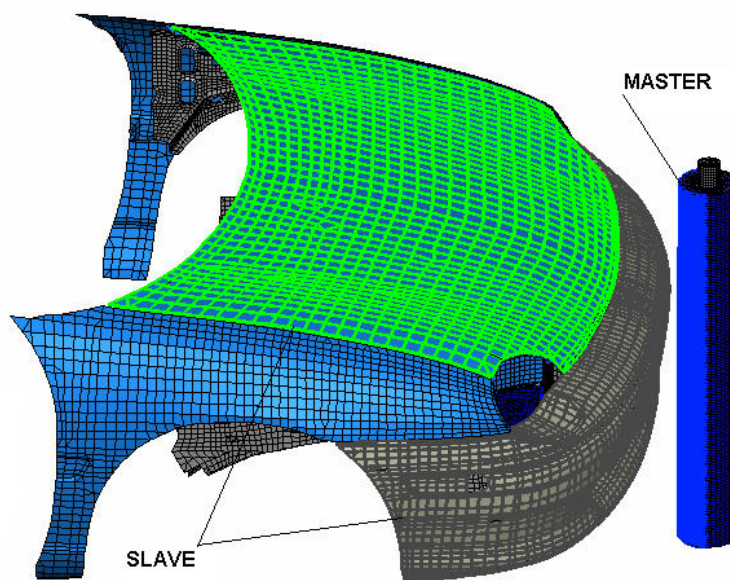
Obr. 129 - Výškové umístění impaktoru.

Výšková souřadnice je v simulaci téměř 25mm. Odchylka 0,04mm je vzhledem k dosažitelné přesnosti na zkušebně zanedbatelná. V této výšce by měl být impaktor v okamžiku kontaktu s nárazníkem automobilu. Předtím se ale pohybuje volně v prostoru, je nutné provádět korekci na vliv gravitačního zrychlení a proto je dosažení přesné výškové polohy bodu dotyku problematické. Po šířce automobilu je polohování věci domluvy mezi výrobcem automobilu a zkušebním orgánem. Zpravidla se provádí nárazy tam, kde jsou pro dopad impaktoru předpokládány nejhorší podmínky. Více o polohování v příčném směru je uvedeno v kap. 1.2.4.4. Na obr. 129 je impaktor umístěn ve výchozí poloze Y0, tedy na střed automobilu.

5.2 Kontakty

V modelech přední části automobilu i impaktoru byly všechny potřebné kontakty definovány. Jejich definice a nastavení se tedy přenáší i do jejich sestavy. A zbývá definovat

kontakty vzájemné. Kontakt byl nejdříve definován mezi impaktorem a krytem nárazníku. Na impaktoru byl využit stejný set, jako v případě dynamické certifikační zkoušky. Na vozidle byl vytvořen nový elementový set, který obsahuje kryt nárazníku. Po prvních simulacích se dále ukázalo jako vhodné, definovat kontakt také pro vnější plech kapoty. Impaktor na kapotu většinou padá a kapotou tak prostupoval do motorového prostoru. Výběr obou setů je znázorněn na obr. 130.

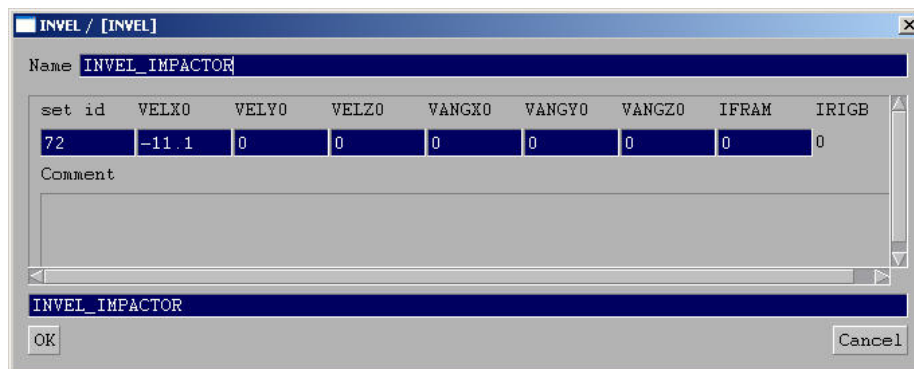


Obr. 130 - Sety pro definici kontaktů nárazové zkoušky.

5.3 Okrajové a kinematické podmínky

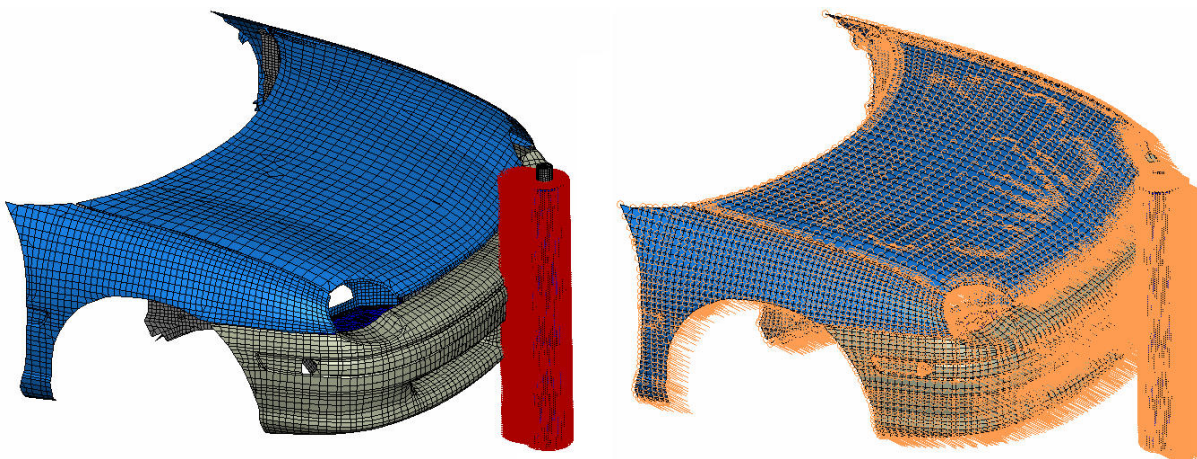
Přední část automobilu je v prostoru pevně uchycena. Potřebná okrajová podmínka v řídicím uzlu *RBODY* již byla definována. Impaktor se před nárazem pohybuje volně v prostoru, není mu tedy omezován žádný ze stupňů volnosti.

Směrnice definuje nárazovou rychlost, kterou se pohybuje impaktor. Její velikost je 11,1m/s s dovolenou odchylkou $\pm 0,2$ m/s. Definice je stejná jako v případě certifikačního nárazového tělesa, které bylo použito při dynamické certifikační zkoušce impaktoru. Byl vytvořen set zahrnující impaktor a pomocí funkce *INVEL* mu byla udělena počáteční rychlost. Dialogové okno je na obr. 131. Protože se impaktor pohybuje v globálním souřadném systému proti směru osy x, je hodnota rychlosti záporná.



Obr. 131 - Funkce [INVEL].

Kromě počáteční rychlosti impaktoru je nutné celé soustavě definovat gravitační zrychlení. Opět obdobně jako v případě dynamické certifikační zkoušky je zrychlení definováno pomocí funkce *ACFLD*, na příslušném setu celé sestavy. Gravitační zrychlení je dáno průběhem v čase, pomocí křivky. Stejně jako v případě dynamické certifikační zkoušky bylo zrychlení definováno pro čas 1s. Definice počáteční rychlosti je zřejmá z obr. 132 vlevo, gravitační zrychlení obr. 132 vpravo.



Obr. 132 - Počáteční rychlost a gravitační zrychlení pro nárazovou zkoušku.

Poznámka:

Při definici kinematických veličin se vždy odvoláváme na set uzlů. Je důležité, vždy dodržet předepsané parametry výběru uzlů pro danou konkrétní veličinu. Například chceme-li definovat okrajovou podmínku v uzlu, který je součástí rbody, je nutné ji umístit do řídicího uzlu příslušného vazby. Naopak zrychlení může být definováno pouze ve slave uzlech rbody. Pokud je do setu vybrán i uzel řídicí, je nutné ho ze setu odstranit.

Jakákoli chyba při definici pak většinou vede k chybovému hlášení již ve fázi *DATACHECKU* a výpočet vůbec neproběhne.

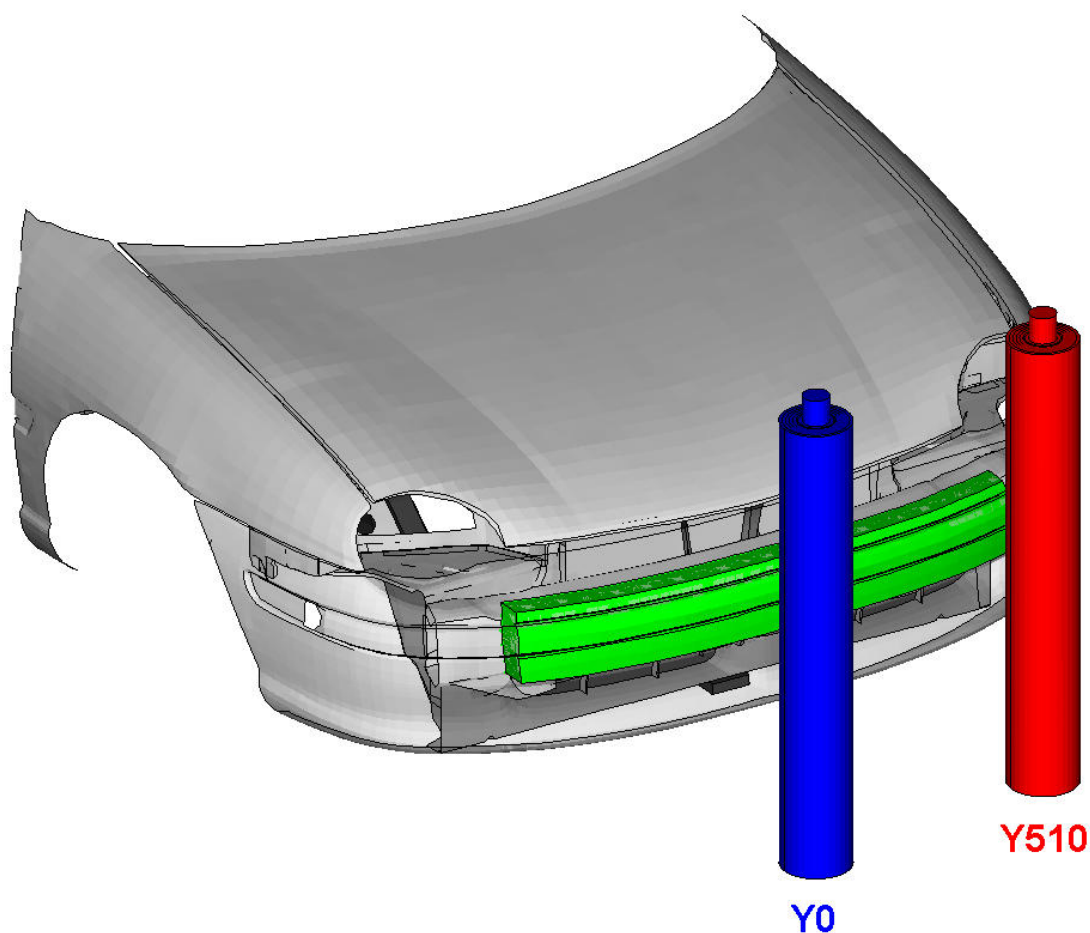
5.4 Simulace

Simulace nárazových zkoušek byly provedeny ve dvou místech. Poloha impaktoru je přitom označována pomocí y souřadnice v globálním souřadném systému. Polohování impaktoru a výběr dopadových míst byly zmíněny v kap. 1.2.4.4 (požadavky směrnice) a kap. 5.1. Téměř vždy se nárazová zkouška provádí v pozici Y0, tedy na střed přední části automobilu. V této pozici byla provedena také první simulace.

Jako nepříznivé dopadové místo pak byla stanovena pozice Y510 viz obr. 133. Osa impaktoru je v místě, kde končí paddingová pěna nárazníku. Skladba přední části automobilu je na obr. 121 a obr. 126. Protože jsou předpokládány odlišné výsledky, byla simulace nárazu provedena v těchto dvou pozicích. Polohování impaktoru je na obr. 133. Přehled základních parametrů z průběhu simulace je v tab. 11.

ZKOUŠKA	DÉLKA	ČASOVÝ KROK	POČ. OPERACÍ	MASS SCALE	ALGORITMUS
NÁRAZOVÁ	100 ms	$0,57 \cdot 10^{-6}$ s	87 700	0,2kg (0,18%)	Single precision

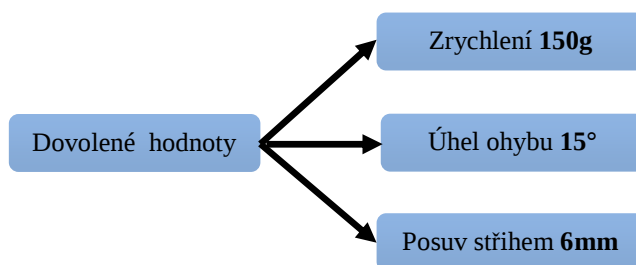
Tab. 11- Průběh simulace nárazové zkoušky.



Obr. 133 - Polohy impaktoru pro simulace.

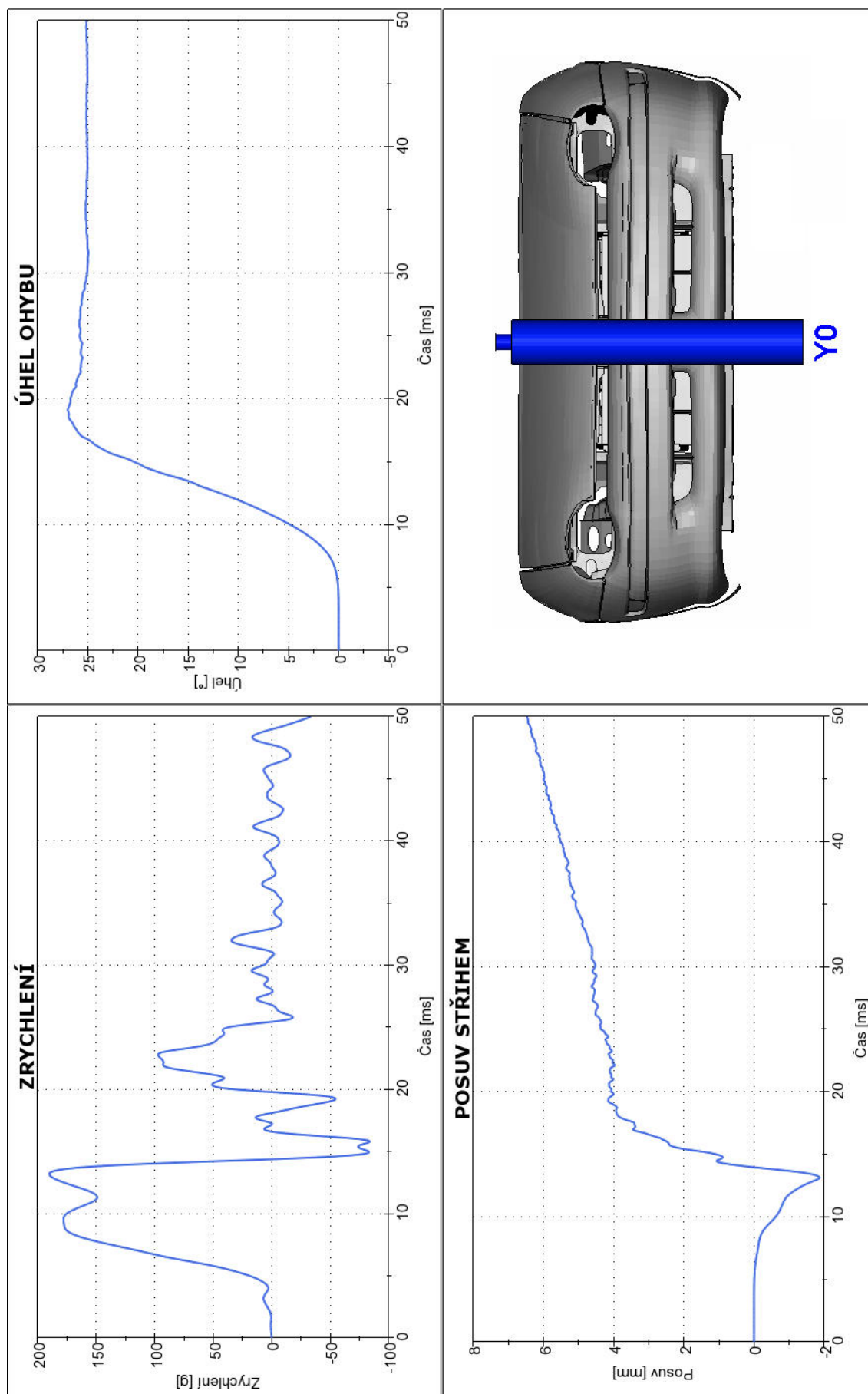
5.5 Vyhodnocení

Dovolené maximální hodnoty sledovaných parametrů vychází z aktuálního protokolu Euro NCAP [17]. Omezení platí pro zrychlení, úhel ohybu a posuv stříhem, přičemž se protokol odkazuje na směrnici EEVC WG17 [28]. Ta vychází z biomechanických parametrů dolní končetiny. Například dovolená hodnota zrychlení 150g pak představuje 27% riziko fraktury bérce. Přehled je na obr. 134.

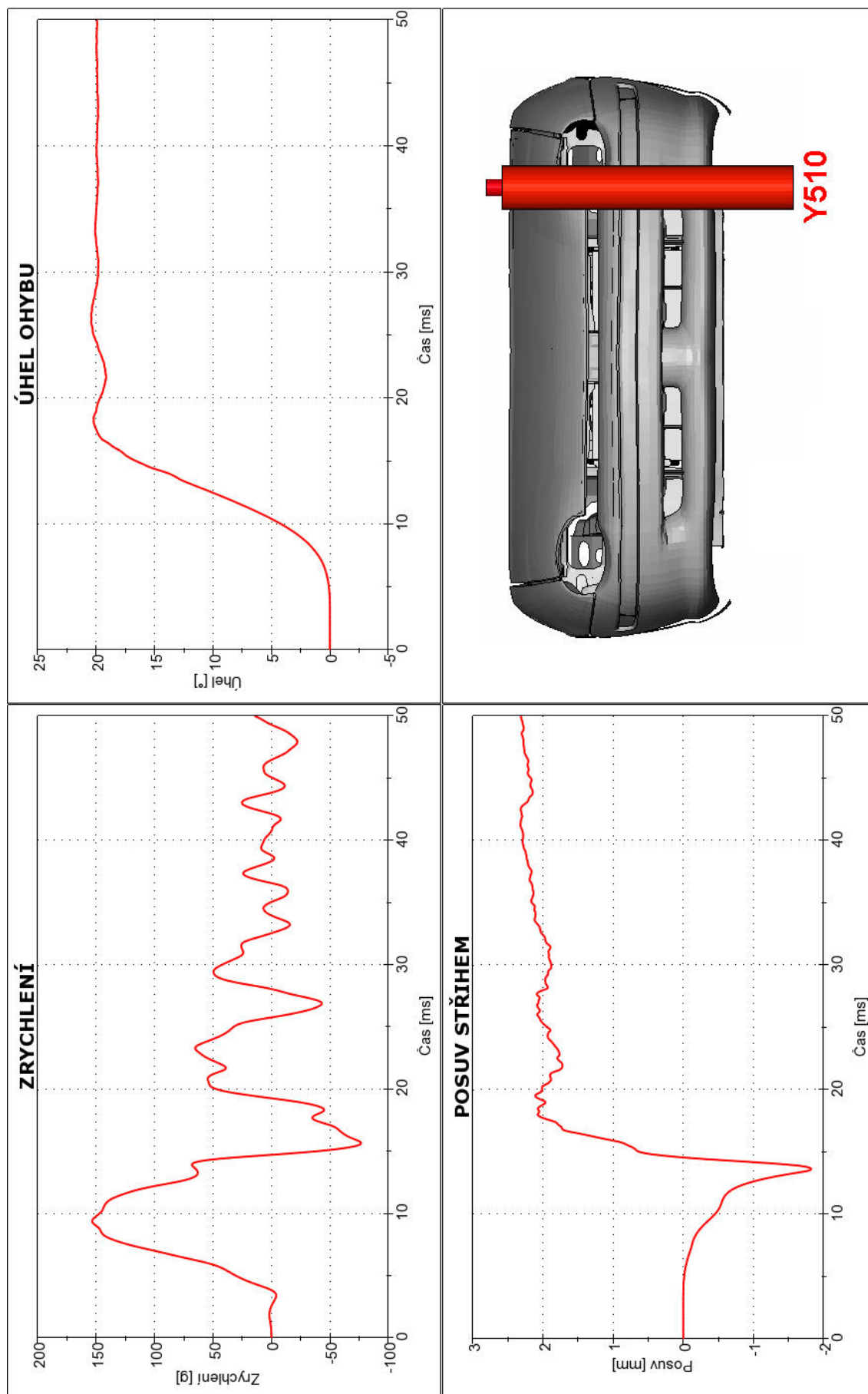


Obr. 134 – Dovolené hodnoty sledovaných parametrů.

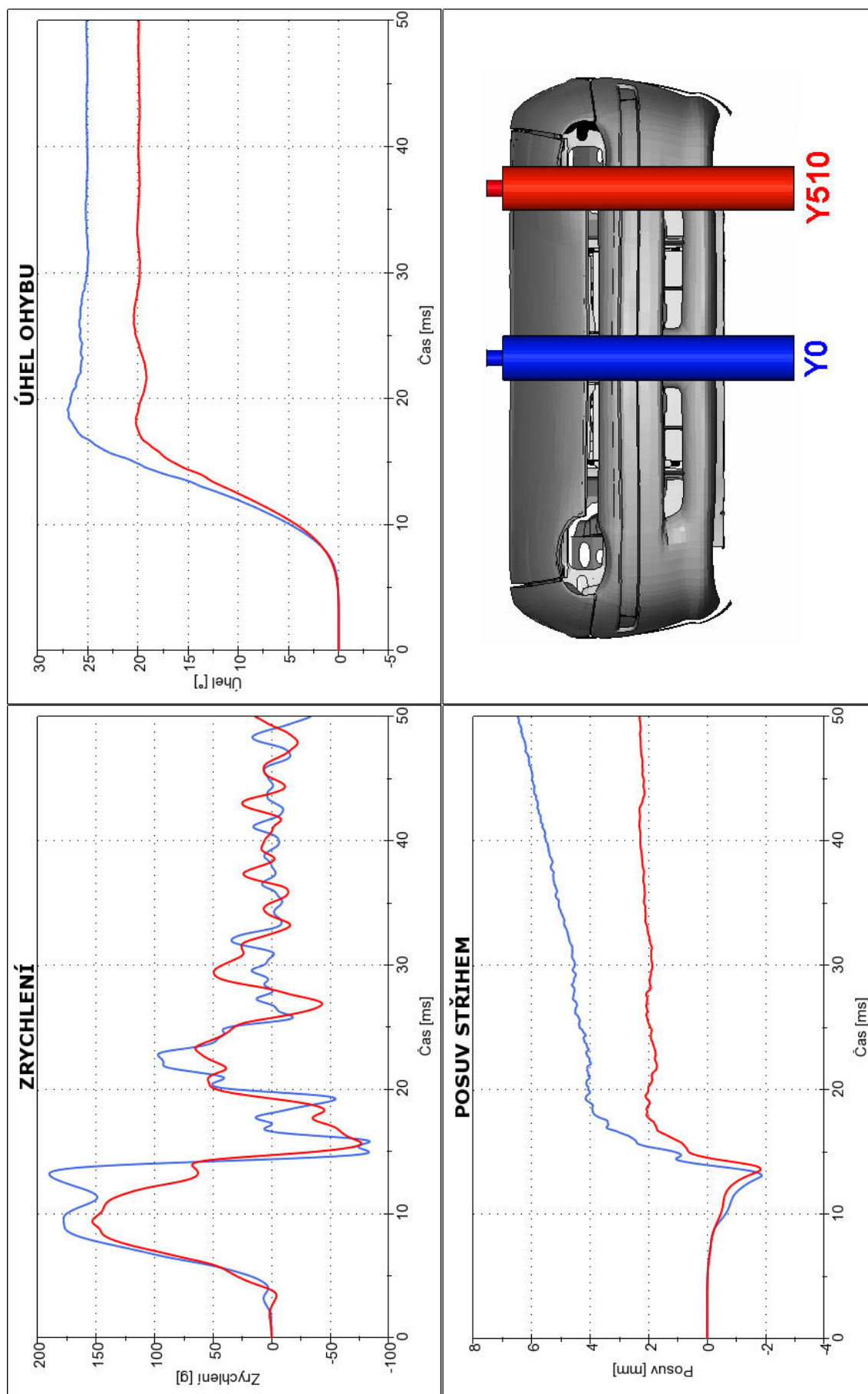
V následujících grafech na obr. 135, 136 a 137 jsou znázorněny průběhy tří parametrů, sledovaných při nárazové zkoušce, nejprve samostatně pro obě dopadová místa a poté jejich vzájemné srovnání.



Obr. 134 - Parametry nárazové zkoušky pro pozici Y0.



Obr. 135 - Parametry nárazové zkoušky pro pozici Y510.



Obr. 136 - Porovnání parametrů nárazových zkoušek.

5.5.1 Pozice Y0

Při nárazu na střední část krytu nárazníku automobilu byl splněn pouze jeden ze tří parametrů a to posuv stříhem v koleni. Hodnota dosahuje přibližně 4mm. Následné zvyšování hodnoty vzájemného posuvu horní a dolní části kolene (od 25ms) je způsobeno tím, že impaktor dopadá stehem na kapotu automobilu. Zrychlení a úhel ohybu výrazně přesahují dovolené hodnoty.

5.5.2 Pozice Y510

Přesto, že se toto dopadové místo jeví jako více nepříznivé, působilo na bérce impaktoru menší zrychlení, než na pozici Y0. Hodnota byla 150g, tedy přesně na dovolené hranici. Je to dáno zejména tím, že impaktor naráží pouze na konec pěnovky, která se tak snáze deformuje. V místě kde není navíc kryt nárazníku vyplněn, se tento jeví jako měkčí. Protože se impaktor do krytu nárazníku zamačká hlouběji, došlo také ke snížení úhlu ohybu. Hodnota 20° ale stále nesplňuje požadavky Euro NCAP. Příznivější hodnoty bylo dosaženo i v případě posuvu stříhem, konkrétně 2mm. Impaktor se ale kvůli nerovnoměrnému rozložení dopadové struktury a díky zakřivení nárazníku začne po jeho povrchu odvalovat. Jedná se o velmi nepříznivý průběh srážky, noha chodce by ve skutečnosti **mohla být** namáhána krutem. Tyto vlivy ale nejsou při nárazové zkoušce sledovány. Druhé dopadové místo lze tedy i přesto na základě sledovaných parametrů považovat za příznivější.

5.5.3 Princip bodového hodnocení

Kromě nárazu dolní končetiny zahrnují zkoušky ochrany chodců také náraz kyčle na hranu kapoty, náraz hlavy dítěte a hlavy dospělého člověka na kapotu viz obr. 5. Zkoušky jsou volitelné, přičemž je ve směrnici Euro NCAP [17] předepsán dovolený počet nárazových zkoušek daného typu a jim příslušný maximální dosažitelný počet bodů. Přehled viz tab. 12.

Typ zkoušky	Počet dopadových míst	Maximální počet bodů
Náraz hlavy dítěte	6	12
Náraz hlavy dospělého	6	12
Impaktor kyčle	3	6
Impaktor dolní končetiny	3	6

Tab. 12 - Zkoušky ochrany chodců Euro NCAP.

Za každou zkoušku, při které jsou splněny všechny požadované parametry, získává automobil 2 body. Dosažené body se sčítají, výsledná hodnota určí počet dosažených hvězdiček v kategorii ochrany chodců. Převodní tabulka je tab. 13.

Dosaženo bodů	Hodnocení
0 až 0,49	☆☆☆☆
0,5 až 9,49	★☆☆☆
9,5 až 18,49	★★☆☆
18,5 až 27,49	★★★☆☆
27,5 a více	★★★★

Tab. 13 - Převodní tabulka.

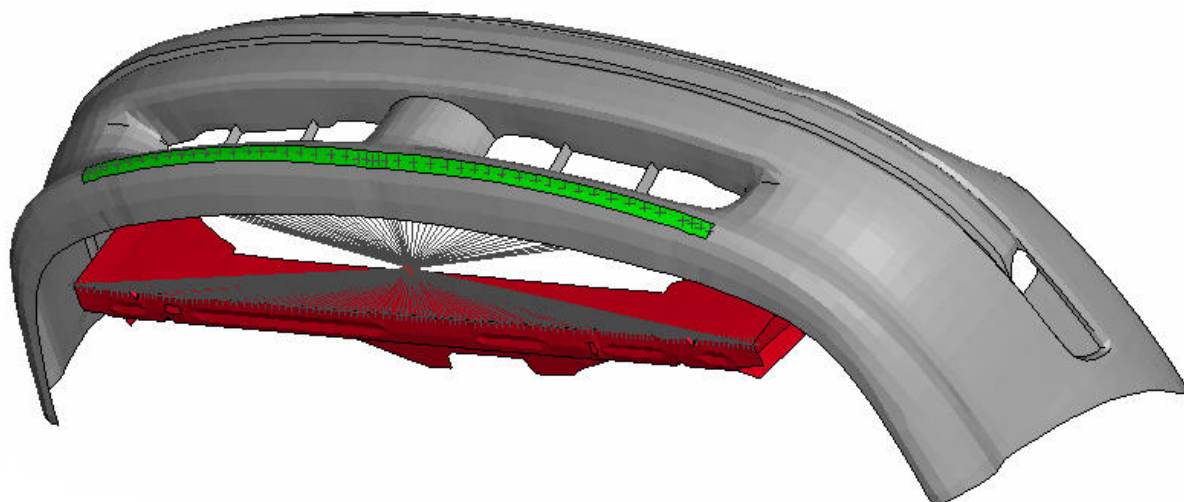
U některých zkoušek (ne u nárazu nohy) je možné udělování poměrného počtu bodů, podle přesně dosažených hodnot jednotlivých parametrů. V tabulce jsou proto desetinná čísla.

6 Modifikace přední části automobilu

6.1 Provedení

Princip funkce používaných pasivních prostředků ochrany chodců byl popsán v kap. 1.3.3. U modelu, který byl k dispozici pro simulace nárazových zkoušek, není kryt nárazníku ve své spodní části nijak uchycen ani vyztužen a při nárazu impaktoru se značně deformuje. Neposkytuje tak impaktoru dostatečnou oporu a ten se více ohýbá. V reálném provozu pak hrozí vtažení nohy chodce pod vozidlo. Proto jednou z úprav provedených na přední části automobilu bylo vyztužení spodní části krytu nárazníku.

K tomuto účelu byla použita vazba *RBODY*. Uzly sítě ve spodní části krytu nárazníku byly svázány s uzly sítě ve spodní části příčnicku. Kryt nárazníku byl nejdříve vyztužen na obvodu, což ale nepřineslo výraznější zlepšení, protože plast nárazníku se stále bortil. Proto byly vyztuženy uzly v oblasti, kde dochází přímo k dotyku impaktoru. Provedení je znázorněno na obr. 137.

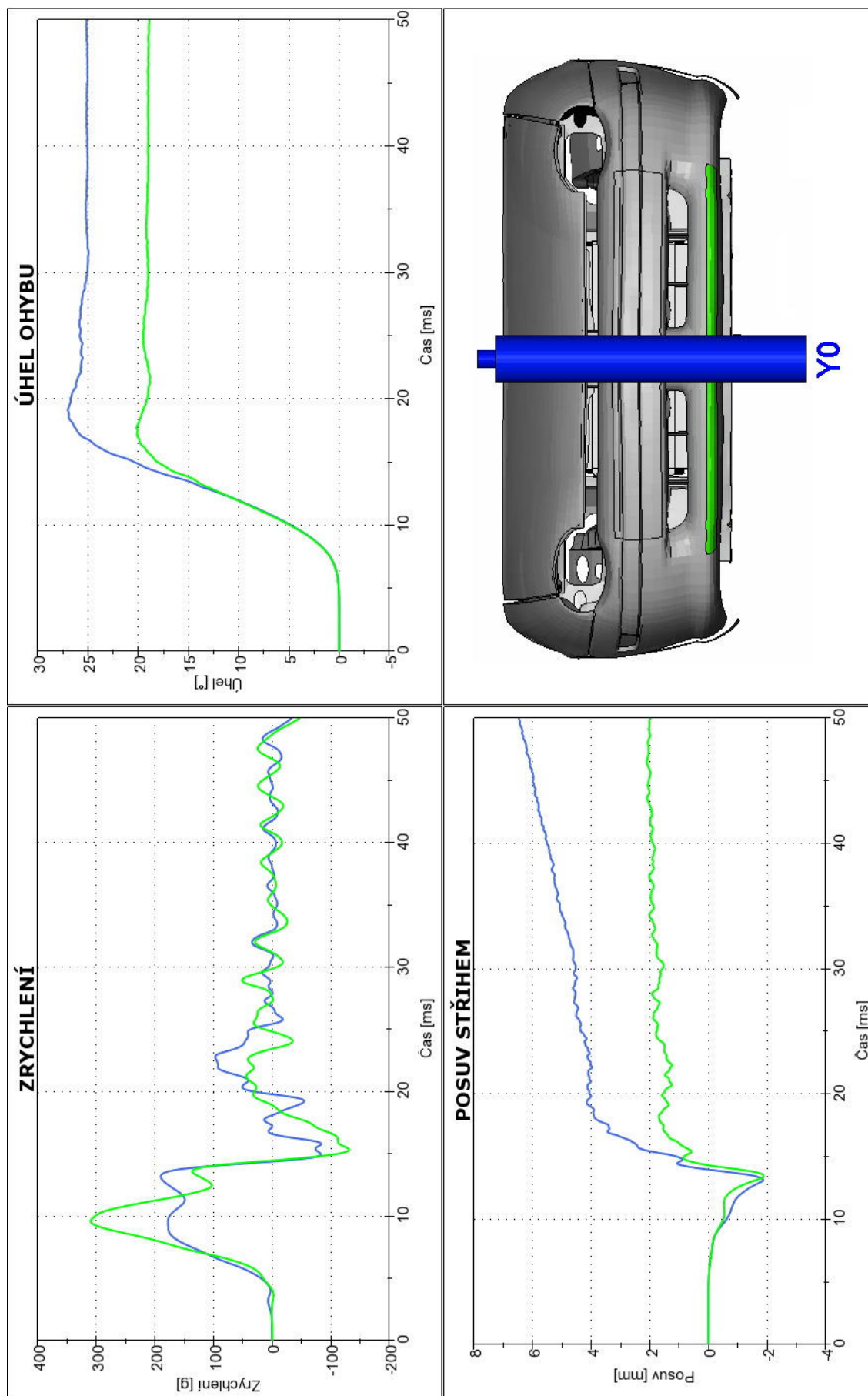


Obr. 137 - Náhrada funkce extenderu u krytu nárazníku.

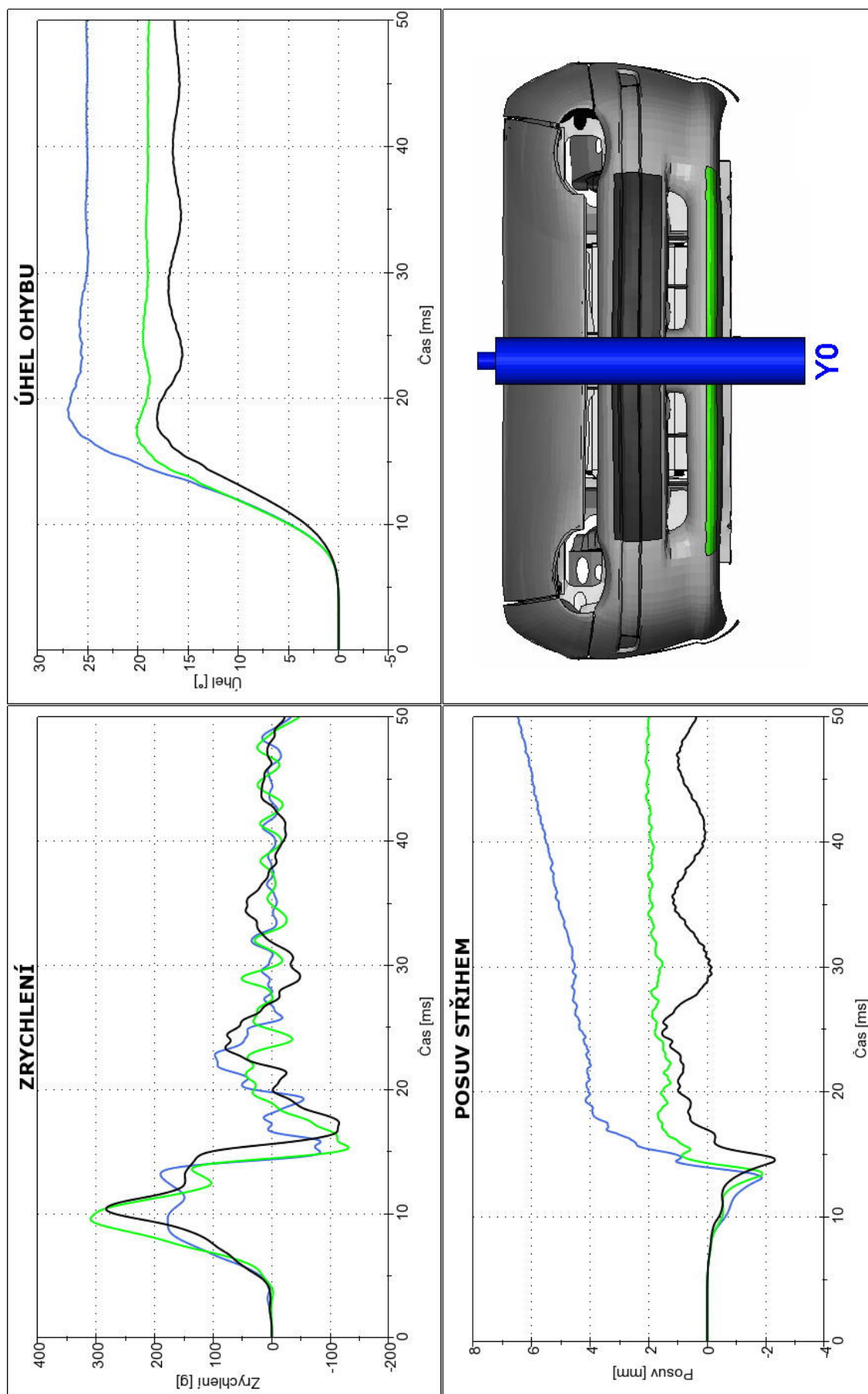
Toto vyztužení spodní části krytu nárazníku (simulující použití **extenderu**) pak již přineslo očekávaný efekt, viz dále. Impaktor je po dopadu ve spodní části odražen, jak ukazuje obr. 142. Působí zde ale velké kontaktní síly, což se projeví mimo jiné nárůstem zrychlení působícího na bérce impaktoru. Proto byla provedena ještě jedna modifikace týkající se materiálu paddingové pěny a to snížení modulu pružnosti ve smyku, modulu objemové pružnosti a napětí na mezi kluzu o 50%. Materiál tak při konstantní kinetické energii dovolí impaktoru delší deformační dráhu a výsledkem je pokles působícího zrychlení. Umístění paddingové pěny je zřejmé z obr. 121.

6.2 Výsledky

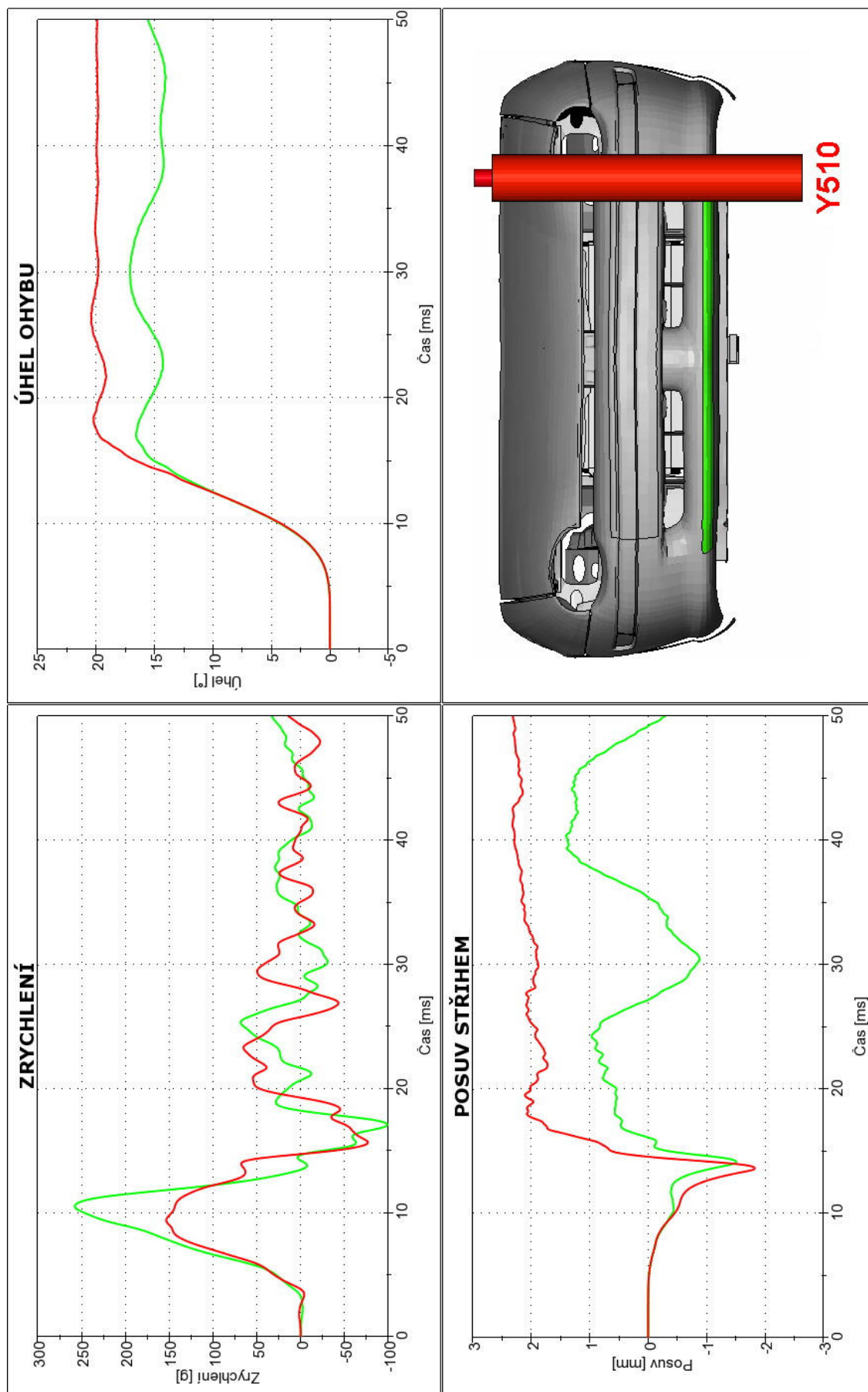
V následujících grafech na obr. 138 až 141 je znázorněn průběh zrychlení, úhlu ohybu a posuvu střihem pro jednotlivé konstrukční úpravy přední části. Barva křivky odpovídá vždy provedené úpravě znázorněné na obrázku, pro možnost porovnání jsou znázorněny také průběhy parametrů sériového provedení. Barvy křivek sériového provedení odpovídají vždy barvě impaktoru a jsou shodné s kap. 5.5. Zhodnocení výsledků následuje na str. 108.



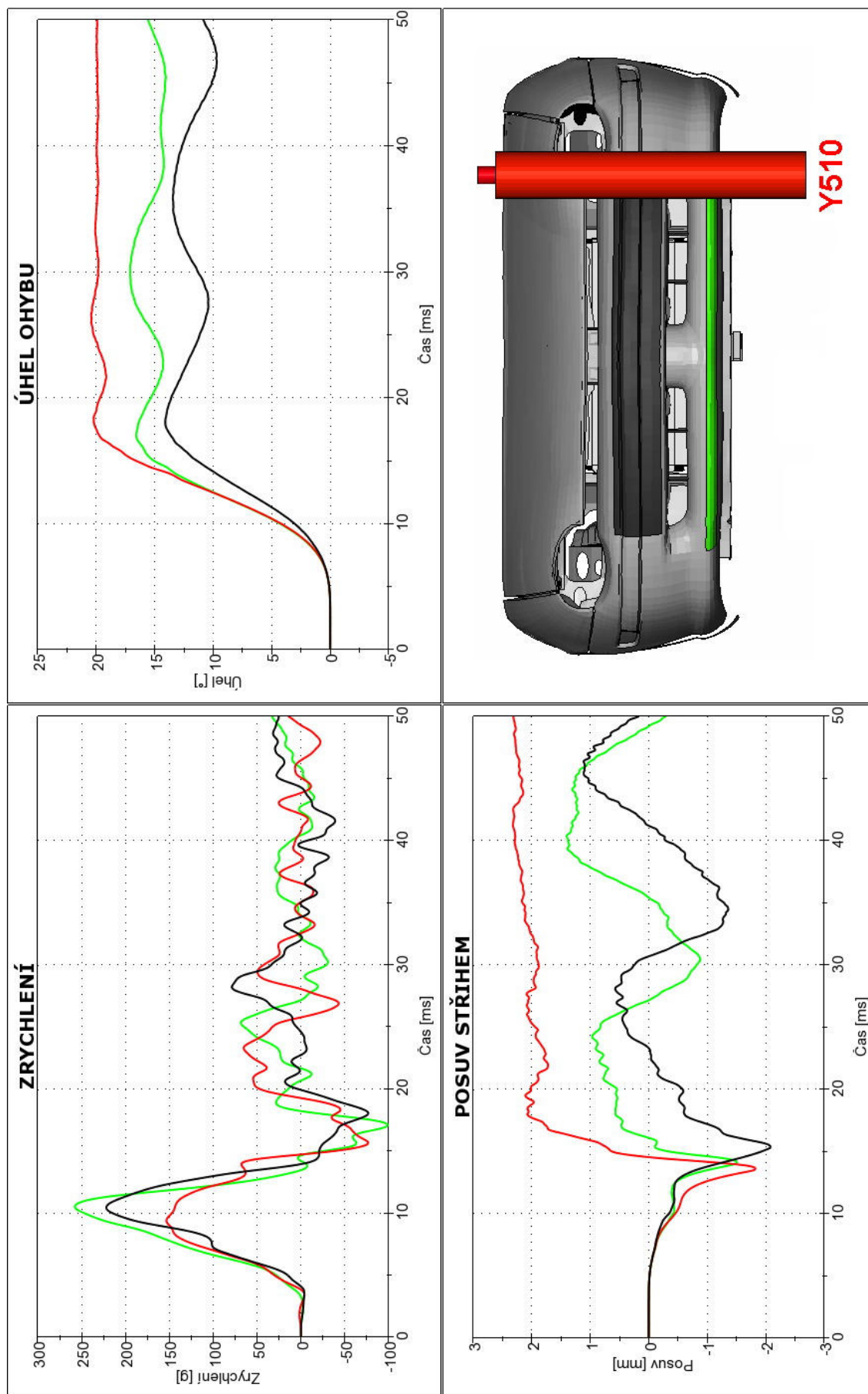
Obr. 138 – Parametry zkoušky pro Y0 s použitím extenderu.



Obr. 139 – Parametry zkoušky pro Y0 s extenderem a měkký paddingovou pěnou.



Obr. 140 - Parametry zkoušky pro Y510 s použitím extenderu.

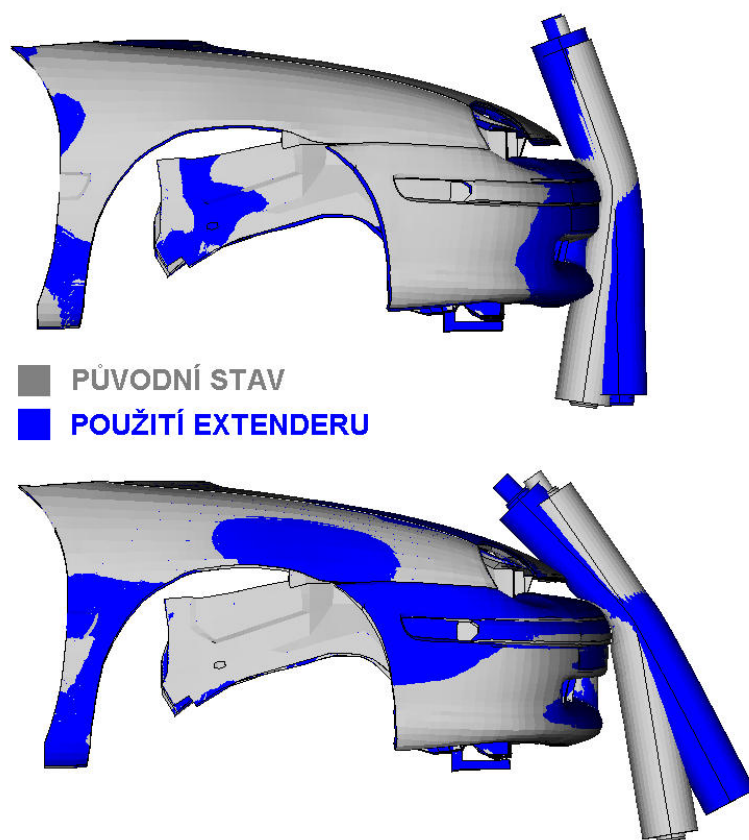


Obr. 141 - Parametry zkoušky pro Y510 s extenderem a měkkí paddingovou pěnou.

Simulace potvrdily u obou provedených úprav vliv, který byl předpokládán. Použitím extenderu došlo na obou souřadnicích ke snížení úhlu ohybu. V pozici Y0 přibližně o 6°, v kombinaci s modifikací materiálu paddingu pak o 8°. V pozici Y510 se úhel ohybu s extenderem snížil o 8° a v kombinaci s modifikovaným paddingem téměř o 12°. Pouze v jednom případě (poslední uvedená kombinace) ale poklesla hodnota úhlu ohybu na přijatelnou velikost, která je v požadavcích Euro NCAP. Jinými slovy, obě provedené úpravy by dopomohly k dosažení 2 bodů za splnění kritéria úhlu ohybu pouze na souřadnici Y510.

Méně očekávaným projevem nasazení extenderu pak bylo snížení velikosti posuvu stříhem v koleni, ke kterému došlo u všech variant. Zlepšení těchto parametrů je však vykoupeno rapidním, 50 až 80% nárůstem působícího zrychlení na bérce, což je důsledek vysokých kontaktních sil, působících na impaktor při nárazu na tuhý extender. Nárůst zrychlení je tak vysoký, že nebyl vykompenzován ani měkčí paddingovou pěnou.

Pokud by se například při vývoji prováděla optimalizace dílu extenderu, určitě by ladění probíhalo s ohledem na tři základní parametry. Jak bylo uvedeno již v kap. 1.3.3, extender musí být dostatečně tuhý, aby byl schopen nohu chodce podrazit. Situace, kdy nebyl extender dostatečně tuhý, nastala v případě, že byl vazbou *rbody* vyztužen okraj krytu nárazníku. Plast se deformoval a neposkytoval dostatečnou oporu. Toto bylo zmíněno v kap. 6.1. Naopak v momentě vyztužení přímo přední části krytu nárazníku již bylo dosaženo potřebného efektu, ale provedení je naopak příliš tuhé a velmi vysokými kontaktními silami by téměř určitě způsobilo zlomeninu bérce. Důležitou roli ve vývoji a případně následné výrobě hraje v neposlední řadě také cena.



Pro zajímavost je zde uvedeno srovnáním kinematiky dopadu impaktoru a deformace krytu nárazníku. Na obr. 142 je srovnán stav provedení bez a s použitím extenderu. V horní části je u původního provedení patrná větší deformace krytu nárazníku v oblasti jeho spodní hrany (čas 19ms), naopak na obrázku spodním lze vidět značný rozdíl v trajektorii impaktoru (čas 40ms). Při použití extenderu je impaktor nohy ve spodní části odražen.

Obr. 142 - Srovnání kinematiky impaktoru.

7 Závěr

V souladu se všemi požadavky příslušných a k dnešnímu dni platných předpisů, byl sestaven impaktor dolní končetiny chodce. Požadavky stanovené prostřednictvím certifikačních zkoušek byly splněny a impaktor byl dále použit pro nárazové zkoušky na přední část automobilu.

Ohybová statická certifikační zkouška byla simulována po čas 2 sekund a dle požadavků provedena pro maximální úhel ohybu impaktoru 22° . Pohlcené množství 97,5J splňuje požadavky směrnice, která definuje rozmezí od 93 do 107J. Statická certifikační zkouška stříhem byla simulována po dobu 1 sekundy a výsledný průběh posuvu stříhem na zatěžující síle z obr. 100, splňuje také požadavky směrnice. Při dynamické certifikaci, jsou rozhodující tři hlavní parametry, stejné jako při nárazové zkoušce. U všech bylo při certifikaci dosaženo požadované velikosti, přehled je uveden v tab. 10. Zrychlení měřené na bérce impaktoru se svojí hodnotou přiblížilo maximu, požadavkům směrnice ale vyhovuje.

Při nárazových zkouškách na přední část automobilu nebyly z hlediska parametrů ochrany chodců dosaženy uspokojivé výsledky. Dosažené výsledky pro obě dopadová místa jsou na obr. 136, dovolené hodnoty pak na obr. 134. Na obou dopadových místech byla významně překročena dovolená hodnota dynamického úhlu ohybu, v poloze Y0 bylo překročeno také maximální dovolená hodnota působícího zrychlení. Vzhledem k tomu, že model impaktoru splnil všechny požadavky certifikačních zkoušek, lze nepříznivé výsledky přisoudit zejména konstrukci přední části automobilu. Přesto, že součástí modelu nebyly některé z pohledových dílů jako například kryty světlometů, blinkry, nebo okrasná lišta krytu nárazníku, nedá se předpokládat, že by jejich doplnění výrazně pozitivně výsledky ovlivnilo. Koncepte přední části automobilu pochází z roku 1995, kdy ještě nebyla ochrana chodců věnována velká pozornost a lze právě toto považovat za hlavní příčinu neuspokojivých výsledků. Přesto, že ani dnes není ochrana chodců středem pozornosti konstruktérů, jsou automobilky stále se zpřísnujícími předpisy nuceny se touto problematikou zabývat a konstrukci v některých směrech přizpůsobovat odpovídajícím požadavkům. Svoji roli zde pak určitě hraje také konkurenční boj automobilek ve spojení s hodnocením Euro NCAP.

Vysoké hodnoty dynamického úhlu ohybu jsou způsobeny zejména nedostatečnou oporou impaktoru v jeho horní části a také velmi poddajnou spodní hranou krytu nárazníku. Tuhé dopadové místo je pouze v oblasti výztuhy nárazníku, tj. ve výšce kolene a impaktor se velmi snadno hýbá. Toto dokazuje provedená modifikace, kdy byl kryt nárazníku ve spodní části vyztužen. Tato úprava se na obou dopadových souřadnicích projevila snížením úhlu ohybu minimálně o 5° . Bohužel sebou přinesla drastický nárůst působícího zrychlení, které se nepodařilo kompenzovat ani náhradou materiálu paddingové pěny za měkkí. Hustota byla snížena na polovinu, tedy $0,25\text{kg/m}^3$ a stejně tak modul pružnosti na hodnotu 3MPa.

Pro výraznější zlepšení parametrů ochrany chodců, by bylo nutné optimalizovat konstrukci extenderu ve spodní části krytu nárazníku, prodloužit deformační dráhy v oblasti paddingu a pravděpodobně také zvětšit výšku přední části automobilu tak, aby měl impaktor při dopadu dostatečnou oporu ve své horní části a méně se ohýbal. Tento trend je patrný také u dnes vyráběných vozidel. Příkladem může být například Opel Corsa, na obr. 31.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] BASF. *Optimisation techniques of a lower bumper*. Optimisation techniques of a lower bumper. [online] 2007. [cit. 2008-3-15].
- [2] BETA CAE, Systems S.A. *ANSA 12.0.3 User's Guide*. [s.l.] : [s.n.], 2005. 1024 s.
- [3] BETA CAE, Systems S.A. *BETA CAE Systems S.A.* [online]. 2006 [cit. 2007-12-20]. Dostupný z WWW: http://www.beta-cae.gr/about_us.htm.
- [4] BLAŽÁK, Ing. Ondřej. *Vehicle Body - Passive Safety*. Brno : ÚADI, FSI VUT Brno, 2006. [cit. 2007-3-11].
- [5] Centrum dopravního výzkumu [online]. 2006 [cit. 2007-09-01]. Dostupný z WWW: <http://www.cdv.cz/>.
- [6] China's New Car Registrations. *Energy Efficiency and Renewable Energy*. <http://www1.eere.energy.gov> [online] 2005 [cit. 2007-5-11].
- [7] Citroen, *Système de Capot Actif*. [online]. 2006 [cit. 2007-01-15]. Dostupný z WWW: http://new.citroen.c6.free.fr/securite_capot.html.
- [8] Crash, Impact, Safety. *ESI - Engineering Simulation for Industry*. [online]. 2007 [cit. 2008-1-17]. Dostupný z WWW: <http://www.esi-group.com/products/crash-impact-safety/pam-crash>.
- [9] DUTTON, Trevor. *Finite element models for european testing*. Finite element models for european testing, Dearborn, Michigan. 2004. [cit. 2007-6-10].
- [10] E-A-R, Speciality composites. *CONFOR-CF grade invironmentally friendly foams*. [online] 2006 [cit. 2007-7-7].
- [11] ESI Software Group. *PamCrash - Solver Reference Manual* [s.l.] : [s.n.], 2003. 596 s.
- [12] ESI Software Group. *PamCrash - Solver Notes Manual*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 570s.
- [13] *Euro NCAP : global* [online]. 2004 [cit. 2007-09-01]. Dostupný z WWW: <http://www.euroncap.com>.
- [14] *Euro NCAP : czech* [online]. 2006 [cit. 2007-09-01]. Dostupný z WWW: <http://www.euroncap.cz>.
- [15] Euro NCAP. *Assesment protocol v4.1*. www.euroncap.com. [online]. 2004 [cit. 2007-10-01].
- [16] Euro NCAP. *Pedestrian protocol v4.1*. www.euroncap.com. [online]. 2004 [cit. 2007-09-01].

- [17] Euro NCAP. Pedestrian Testing Protocol. www.euroncap.com. [online]. 2004 [cit. 2007-09-01].
- [18] Evektor s.r.o. *Stress analyses*. [online]. 2006 [cit. 2007-12-20]. Dostupný z WWW: <http://www.evektor.cz/evektor/en/carStressAnalyses.asp>.
- [19] Evropský parlament, Rada. Směrnice 2003/102/ES. *EUR-Lex, Přístup k právu Evropské unie*. [online]. 2003 [cit. 2006-10-02].
- [20] Evropský parlament, Rada. Směrnice 2005/66/ES. *EUR-Lex, Přístup k právu Evropské unie*. [online]. 2005 [cit. 2006-10-03].
- [21] Evropský parlament, Rada. Směrnice 2006/368/ES. *EUR-Lex, Přístup k právu Evropské unie*. [online]. 2006 [cit. 2006-10-05].
- [22] Evropský parlament, Rada. Směrnice 70/156/EHS. *EUR-Lex, Přístup k právu Evropské unie*. [online]. 1970 [cit. 2006-10-01].
- [23] FRÁNEK, Tomáš. *Informace a publicistika z oboru dopravy, se zvláštním zřetelem na dopravu veřejnou*. Dopravní.net. [online] 2007. [cit. 2008-1-2].
- [24] LISTA, Paolo. *Vehicle - pedestrian crash test*. Multibody numerical simulation for vehicle - pedestrian crash test. [online] [cit. 2008-3-28].
- [25] MAROU, James R. *Development of a non-frangible pedestrian legform impactor*. Wright State Univeszity, United States. 1992. [cit. 2006-9-19].
- [26] MCCARTHY, Mike. *Active pedestrian protection*. Active pedestrian protection. [online] 2005 [cit. 2007-12-20].
- [27] McLEAN, Prof. Jack. *The role of travelling speed in car design*. Travelling speed, Pedestrian protection. [online] 1994 [cit. 2008-4-20].
- [28] Report WG17, EEVC Working group. European Enhanced Vehicle-Safety Committee. [online] 1998 [cit. 2006-11-23].
- [29] ROZKOŠNÝ, Jan. Jak vyřešit vzrůstající množství mrtvých na silnicích. *BBC Czech.com* [online]. 2004 [cit. 2007-10-10].
- [30] Se la macchina salva i pedoni Dalla Bosch un grande aiuto. *Se la macchina salva i pedoni Dalla Bosch un grande aiuto*. [online] 2007. [cit. 2008-3-11].
- [31] TRL Online store. *Creating the future of transport*. TRL, Crowthorne House. [online]. 2007 [cit. 2008-3-11]. Dostupný z WWW: <http://www.trl.co.uk/store/legform-impactors.asp?pid=242>.
- [32] WANKE, Thomas; THOMPSON, Grace-Mary; KERKELING, Christoph. *Pedestrian Measures for the Opel ZAFIRA II*. Pedestrian Measures for the Opel ZAFIRA II. [online] 2005. [cit. 2008-3-15].

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

A, B	Označení segmentů při vertikálním dělení nárazníku automobilu pro určení dopadových míst impaktoru nohy.
ACFLD	Acceleration Fields - entita umožňující definici zrychlení
ACC	Acceleration - zrychlení
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil Club – největší automobilový klub na větě se sídlem v Německu
ATTACH	Lokální souřadný systém
BOUNC	Boundary Condition – okrajová podmínka
CAC	Channel Amplitude Class – číslo odpovídající číselnému rozsahu měřidla.
CAD	Computer Aided Design – zaužívaná zkratka pro prostředky počítačové podpory konstruování
CAE	Computer Aided Engineering – zkratka pro postupy konstruování využívající počítačové prostředky.
CAM	Computer Aided Manufacturing - zaužívaná zkratka pro prostředky počítačové podpory výroby
CAN	Controller Area Network – datová komunikační síť navržená firmou Robert Bosch, používaná v automobilech
CCD	Charged Coupled Device – označení snímačů používaných ve fotoaparátech a kamerách
CF 45	Typové označení pro pěnový materiál Confor TM , vyznačuje se modrou barvou, má výborné tlumící vlastnosti
CFC	Channel Frequency Class - filtrace signálu používaná zvláště pro nárazové zkoušky
CFD	Computational Fluid Dynamics - zaužívaná zkratka pro skupinu softwarů, zabývajících se simulacemi proudění a obtékání
CONLO	Concentrated Nodal Loads - entita umožňující definici silové působení
Confor TM	Obchodní název polyuretanového pěnového materiálu, používaného v průmyslu
DATACHECK	Prověření integrity výpočtového souboru
DECK	Panel ovládacích prvků pro přípravu a stavbu simulací v programu Ansa.
Double precision	Algoritmu výpočtu Pam-Crash, používaný pro simulace s velkým počtem výpočetních iterací
DSY	Formát souboru, do kterého se v průběhu výpočtu ukládají deformační stavy sítě
EEVC	European Enhanced Vehicle-safety Committee – evropská komise zabývající se bezpečností silniční dopravy
EHS	Evropské hospodářské společenství
ES	Evropské společenství, původně EHS, dnes Evropská unie
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme – nezávislé konsorcium zabývající se srovnáváním prvků pasivní bezpečnosti vozidel
EuroSID	Euro Side Impact Dummy – označení figuríny, používané při simulaci bočního nárazu
FE	Finite Element – souhrnné označení pro prvky a části výpočtové

	metody konečných prvků
FIA	Federation Internationale De L'Automobile – mezinárodní automobilová federace
FUNCT	Function – zkratka používaná pro názvy funkcí v programu Ansa
HIC	Head Injury Criterion – kritérium vyjadřující míru zatížení hlavy při vystavení zrychlení/zpomalení
Hybrid III	Označení typu figuríny, používané při simulaci čelního nárazu
IFRAM	Číslo lokálního souřadného systému
INVEL	Initial Velocity – entita umožňující definici počáteční rychlosti tělesa
ISO	International Standardisation Organisation – mezinárodní organizace pro standardizaci, vydávající stejnojmenné předpisy
ITRB	Označení typu vazby Rigid Body
LINK	Obecný název prvku používaného pro Pam-Crash
MASS SCALING	Proces zvyšování hmotnosti elementů sítě za účelem dodržení požadované velikosti časového kroku
MASS TRIM	Proces automatického navážení modelu pomocí NSMASS na potřebné hmotnostní parametry
MBS	Multi Body Systems – zaužívaná zkratka pro skupinu softwarů, zabývajících se simulacemi dynamických jevů
MESH	Panel ovládacích prvků pro síťování v programu Ansa
MID	Material ID - zkratka pro označení materiálu v programu Ansa
MKP	Metoda konečných prvků
MSTRM	Klíčové slovo pro zavedení funkce automatického navažování modelu
N, N1, N2, N3	Body používané k definici orientace lokálního souřadného systému
NMS	Number of Master Set – identifikační číslo setu při jeho použití v kontaktu jako master
NSMASS	Non-Structural Mass – hmotné body používané k dovážení modelu
NSS	Number of Slave Set - identifikační číslo setu při jeho použití v kontaktu jako slave
PID	Property ID – zkratka pro označení vlastností prvků v programu Ansa
PLINK	Pam-Link – prvek používaný při svařování
Postprocessing	Proces zahrnující práce vyhodnocení výsledků po výpočtu metodou konečných prvků
Preprocessing	Proces zahrnující přípravné práce pro výpočet metodou konečných prvků
RBODY	Rigid Body – vazba používaná při stavbě modelů pro Pam-Crash
RBODY3	Rigid Body 3 - vazba používaná při stavbě modelů pro Pam-Crash s definicí hmotnostních parametrů
SET	Skupina prvků libovolně definovaná, sloužící k usnadnění práce a definicím v programu Ansa
Single precision	Běžně používaný algoritmus výpočtu pomocí Pam-Crash
Solver	Algoritmu provádějící výpočet metodou konečných prvků
STRAINRATE	Dynamické zpevnění materiálu
T3DBC	Translational 3D Boundary Condition – entita umožňující definici kinematických okrajových podmínek

THLOC		Time History Local Coordinate Systém – entita používaná ke snímání kinematických veličin v průběhu výpočtu
THP		Time History Plot – formát souboru, do kterého se ukládají data v průběhu výpočtu pomocí Pam-Crash
TIED		Speciální typ kontaktu, simulující například lepený spoj
TOPO		Panel ovládacích prvků pro práci s geometrickými entitami v programu Ansa
U1, U2, U3		Označení segmentů při horizontálním dělení nárazníku automobilu pro určení dopadových míst impaktoru nohy.
WG17		Working Group 17
accrcy		Přesnost požadovaná při automatickém navažování modelu
alfa		Koeficient udávající maximální násobek zvýšení hmotnosti daného prvku
fix.-dir.		Označení směru, jemuž je pomocí BOUNC odebrán stupeň volnosti
frict	[-]	Friction – hodnota reprezentující velikost součinitele smykového tření při definici kontaktu
offset		Posun pořadového čísla property hmotných bodů od navažované property
out		Parametr automatického navažování, rozhoduje, zda je exportován výsledek navažování
rot-trt		Volba určující způsob navažování (pouze poloha těžiště, těžiště a momenty setrvačnosti)

10 Seznam použitých veličin

α	[°]	Úhel ohybu impaktoru
Δt	[s]	Časový krok
ρ	[kg*m ⁻³]	Měrná hmotnost materiálu
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
F_{Omax}	[N]	Skutečná maximální ohybová síla
F_{Otmax}	[N]	Teoretická maximální ohybová síla
L_{el}	[m]	Délka hrany elementu
c	[m*s ⁻¹]	Rychlost zvuku
d_{15}	[m]	Dráha působíště ohybové síly při úhlu ohybu 15°
h_{cont}	[mm]	Kontaktní tloušťka – Použití při definici kontaktů
mRB	[kg]	Hmotnost vazby Rigid Body 3
n_O	[-]	Koeficient pro přepočet velikosti ohybové síly
n_S	[-]	Koeficient pro přepočet velikosti střihové síly
r_{dist}	[m]	Vzdálenost uzlů, na které proběhne automatické lepení pomocí TIED
r_{OS}	[m]	Délka ramena působíště ohybové síly v simulaci
r_{OSK}	[m]	Skutečná délka ramena působíště ohybové síly
r_{SS}	[m]	Délka ramena působíště střihové síly v simulaci
r_{SSK}	[m]	Skutečná délka ramena působíště střihové síly